

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе  
(МГРИ)

---



# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ТОМ II

XVI

Международной научно-практической конференции  
«Новые идеи в науках о Земле»

---

XVI

International Scientific and Practical Conference  
«NEW IDEAS IN EARTH SCIENCES»

6 - 7 апреля 2023 г. | April 6 - 7, 2023

Москва | Moscow

УДК 082 +[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Новые идеи в науках о Земле : в 7 т. Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (к 105-летию МГРИ) - М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023.

Т. 2 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: : Геология, поиски, разведка и подсчет запасов месторождений углеводородов, минералогия, геохимия и петрография / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. - М. :Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023. - 484 с.

ISBN 978-5-907594-13-5

УДК 082 +[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

ISBN 978-5-907594-13-5 (Том 2)  
ISBN 978-5-907594-11-1

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023

**Оглавление:**

Секция №5. Минералогия, геохимия и петрография.....	13
Турмалин золоторудных проявлений Улуг-Саир и Хаак-Саир, Тува. Бакшеев И.А.* (МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, baksheev@geol.msu.ru), Кужугет Р.В. (ТувИКОПР СО РАН, rkuzhuget@mail.ru) .....	13
Фазообразование и растворимость твердых фаз в системе CuO-CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O-NH <sub>4</sub> Cl. Бубликова Т.М.* (ИЭМ РАН, tmb@iem.ac.ru), Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН, setkova@iem.ac.ru), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН, balvlad@iem.ac.ru).....	18
Идентификация глинистых пород методом синхронного термического анализа. Будыкина Т.А.* (ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты (МЧС России)», tbudykina@yandex.ru), Л.В. Гандурина (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», gand2@yandex.ru).....	22
Кристаллохимическая роль двухвалентного железа в кристаллической структуре нефелина из Ловозерского щелочного массива. Вайтиева Ю.А.* (ЦНМ КНЦ РАН (г. Апатиты), yulia.vaitieva@yandex.ru), Аксёнов С.М. (ЦНМ КНЦ РАН (г. Апатиты), aks.crys@gmail.com), Михайлова Ю.А. (ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты), mikhalova@geoksc.apatity.ru), Пахомовский Я.А. (ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты)).....	26
Минеральные ядра брахиопод <i>Estonirhynchia Estonica</i> из венлокских отложений острова Сааремаа (Эстония). Волкова Е.А.* (ФГБОУ ВО «Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», 2 курс, Eavolkova@yandex.ru), Качалина М.Д. (ФГБОУ ВО «Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», 2 курс, kachalina.mariya@gmail.com), Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент Комаров В. Н., ФГБОУ ВО «РГГРУ имени Серго Орджоникидзе» .....	30
Перекалибровка уравнения Moore с соавторами (1998) для расчёта предела насыщения расплава водой Гнучев Я.Ю.* (МГУ, gnuchevyakov@mail.ru), Бычков Д.А. (МГУ, dmibychkov@gmail.com), Коптев-Дворников Е.В. (МГУ, ekoptevmail@gmail.com) .....	34
Изучение криогенеза в России и его значение для освоения зоны распространения вечной мерзлоты. Горячев И.А.* (МГРИ, ilya.goryachev.02@inbox.ru), Максимова И.В.* (МГРИ, maximovaiv@mgru.ru).....	38
Идентификация турмалинов Малханского месторождения методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Гришкевич А.С.* (ИРНТУ, adelina.grishkevich@mail.ru), Дегтярева А.В. (ИРНТУ, reulake@gmail.com), Анисимова А.А. (ИРНТУ, aleksanisimova@mail.ru) .....	42
«Изучение реакции подземных вод Азербайджана на сильные землетрясения в приграничной с Ираном области». Гулиева Ш.О.* (РЦСС при НАНА, seismogeochemistry@mail.ru), Кудрявцева Е.Н. (РЦСС при НАНА, seismogeochemistry@mail.ru), Керамова А.А. (РЦСС при НАНА, seismogeochemistry@mail.ru) .....	46
Кислотные метасоматиты в рудообразовании месторождения Урталик (Узбекистан, Чармитанское рудное поле). Джуманиязов Д.И.*, Мусаев А. (Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева, г.Ташкент, Узбекистан, denisbey@list.ru).....	50
Особенности изменения некоторых железосодержащих минералов кимберлитов. Зинчук Н.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я) - nnzinchuk@rambler.ru) .....	54
Об особенностях ксенолитов мантийных пород в кимберлитовых трубках. Зинчук Н.Н.* (ЗЯНЦ АН РС (Я) - nnzinchuk@rambler.ru), Зинчук М.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я) – nnzinchuk @rambler.ru .....	59

Петрохимические особенности кимберлитовых трубок «Архангельская» и «им. Карпинского-1» (Архангельская алмазоносная провинция). Зыкова Е. Д. (МГРИ, eisigefinsternis@gmail.com), Должанская Т. Ю. (МГРИ, dolzhanskaiati@mgri.ru) .....	64
Лобановит из Хибинского щелочного массива: история открытия и новые данные. Ильин Г.С.* (ФИЦ КНЦ РАН, g.ilin@ksc.ru), Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, nikchukanov@yandex.ru), Лисицин Д.В. (ФБУ «Музей Самоцветы», dima@mineralogist.ru), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН, dima@iem.ac.ru), Вайтиева Ю.А. (ФИЦ КНЦ РАН, yulia.vaitieva@yandex.ru), Аксенов С.М. (ФИЦ КНЦ РАН, aks.crys@gmail.com).....	67
Необычно богатый железом согдианит из месторождения Дара-й-Пиоз (Таджикистан). Канева Е.В.* (ИГХ СО РАН, kev604@mail.ru), Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН, r.shendrik@gmail.com), Радомская Т.А. (ИГХ СО РАН, taniaojigova@mail.ru), Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН, obel@igc.irk.ru) .....	71
Формационные типы оруденения, связанного с интрузиями. Каримова Ф.Б.*, Ахунджанов Р. (Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева, г.Ташкент, karimova@mail.ru) 75	75
Изоскейпы (карты распределения) биодоступного стронция <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr для ряда регионов России. Киселева Д.В.* (ИГГ УрО РАН, kiseleva@igg.uran.ru), Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН, УГГУ), Окунева Т.Г. (ИГГ УрО РАН), Солошенко Н.Г. (ИГГ УрО РАН), Панкрушина Е.А. (ИГГ УрО РАН), Рянская А.Д. (ИГГ УрО РАН).....	79
Кызатинский каледонский гранитоидный комплекс – типичны представитель аляскитовой формации. Ф.К. Диваев* (divaev2749@mail.ru), Б.Р. Мамиров (b.mamirov.geol@mail.ru), П.Б.Хажобаев (farhodxajibaev@gmail.com), Р.Т. Узоков (rustam_uzoqov94@mail.ru), Б.И. Гайбуллаев (gaybullayevbehruzbe0710@gmail.com) ГУ «Институт минеральных ресурсов» (ИМР), Министерство Горнодобывающей Промышленности и Геологии РУз, Ташкент, Узбекистан .....	83
Алмазы Горного музея: история формирования, научная и образовательная ценность коллекции. Дирксен А.* (Горный университет, dxnalex16@gmail.com), Гаврильчик А. К. (Горный университет, gavrilchik_AK2@pers.spmi.ru), Васильев Е. А. (Горный университет, Vasilev_EA@pers.spmi.ru) ....	87
Новые данные о симметрии, кристаллической структуре и особенностях распределения катионов в ташелгите CaMgFe <sub>2</sub> +Al <sub>9</sub> O <sub>16</sub> (OH). Зарубина Е.С.* (ФИЦ КНЦ РАН, zarubina-gems@yandex.ru), Расцветаева Р.К. (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, rast.crys@gmail.com), Русаков В.С. (МГУ, rusakov@phys.msu.ru), Николаев А.Г. (КФУ, anatolij-nikolaev@yandex.ru), Аксенов С.М. (ФИЦ КНЦ РАН, aks.crys@gmail.com).....	91
Первая кольцевая структура в докембрийских метаморфитах Центрального Памира. Литвиненко А.К.* ( ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, akl1954@yandex.ru), Одинаев Ш.А. (Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной АН Таджикистана; Институт геохимии Гуанджоу, Китайской АН, e-mail.: Sharif.Geolog@mail.ru) .....	96
Блёклые руды золото–серебряного эпитермального проявления Телевеем, Чукотка. Малышева Д.С.* (Геологический ф-т МГУ, dariamaliSheva@yandex.ru), Власов Е.А. (Геологический ф-т МГУ), Вигасина М.Ф. (Геологический ф-т МГУ) .....	100
Палеогеотерма и глубинные разрезы под кимберлитовыми телами Алакит-Мархинского кимберлитового поля (Сибирский кратон). Милаушкин М.В.* (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) milaushkin1997@mail.ru) Мальковец В.Г. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) vladimir.malkovets@gmail.com) Гибшер А.А. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) n.gibsher@gmail.com) Яковлев И.В. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) yakistar2020@mail.ru) .....	103
О природе благороднометалло-графитогосной минерализации сопредельных территорий Северо-Востока Китая и юга Дальнего Востока России. Молчанов В.П.* (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, vpmol@mail.ru), Сун Фенгуй (Цилиньский университет, КНР).....	107

- Петрографические особенности баженовских отложений. Нестерова Л.Л.\* (Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ, L\_Nesterova@ugrasu.ru), Бабарыкин В.В. (Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ, v\_babarykin@ugrasu.ru) ..... 111
- Минералого-геохимические особенности нефелина в Хибино-Ловозёрском (Кольский полуостров) и Вишневогорском (Южный Урал) щелочных комплексах. Никитин Е. К.\* (РГГРУ, kanonenfutteri@yandex.ru), Ширяева П.В. (РГГРУ, polsha000000@gmail.com), Смирнов А.А. (РГГРУ, smirnovaa@mail.ru), Должанская Т.Ю. (РГГРУ, dolzanskaya@rambler.ru) ..... 115
- Изменчивость минералов и минеральных парагенезов по разрезу фундамента Омолонского массива (Северо-Восток РФ). Левин Б.\* , Израиль, ber-levin@rambler.ru ..... 119
- Принцип Кюри - два разных подхода к его интерпретации и применению. Левин Б.\* , Израиль, ber-levin@rambler.ru ..... 123
- Турмалин из мариоловых пегматитов Пакистана. Левская А.М.\* (Институт Наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, st076488@student.spbu.ru), Пономарева Н.И. (Институт Наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, n\_ponomareva@mail.ru), Бочаров В.Н. (РЦ Геомодель, Научный Парк СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, regbvn@gmail.com) ..... 127
- Вторая находка тунгстенита в магнезиальных скарнах месторождения Кухилал, Юго-Западный Памир. Литвиненко А.К.\* (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, akl1954@yandex.ru), Якушина О.А. (ФГБУ «ВИМС», yak\_oa@mail.ru), Лузин-Левинант М.П. (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, maximluzin@gmail.com) ..... 131
- Петрографическая характеристика рудовмещающих пород участка Майский (Узбекистан). Печерский Р.Д.\* (ГУ «ИМП», Ташкент, russell.4ay@gmail.com), Сайитов С.С. (ГУ «ИМП», Ташкент, sardorsayitov@gmail.com) ..... 135
- Токкоит в Sr-Ba-Ca-карбонатитах Мурунского массива (СЗ Алдан, Россия). Радомская Т.А.\* (ИГХ СО РАН, taniaojigova@mail.ru), Канева Е.В. (ИГХ СО РАН, kev604@mail.ru), Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН, r.shendrik@gmail.com), Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН, obel@igc.irk.ru), Митичкин М.А. (ИГХ СО РАН) ..... 139
- Белое масло из остаточного продукта гидрокрекинга медицинского назначения с заданными свойствами индукции регенерации. Рева Г.В.\* (Дальневосточный федеральный университет, RevaGal@yandex.ru), соавтор Рева И.В. (Дальневосточный федеральный университет, avers2@yandex.ru), соавтор Гульков А.Н. (Дальневосточный федеральный университет, alexdvgtu@mail.ru), соавтор Никитина А.В. (Дальневосточный федеральный университет, rabota\_oos@mail.ru), соавтор Автомонов Е.Г. (Дальневосточный федеральный университет, avtomonov.eg@dvfu.ru), соавтор Hua Xiang, (Shandong Qingyishan Petrochemical Co., Ltd. xiang.h@gubkin.ru) соавтор Yunqiang Zhao (Shandong Qingyishan Petrochemical Co., Ltd. xiang.h@gubkin.ru) ..... 143
- Геохимия клинопироксена из габброидов хребта Шака (Южная Атлантика). Румянцева Н.А.\* (Санкт-Петербургский горный университет; Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, rummyancevanat@gmail.com) ..... 147
- Фторидная модель образования кремнезема в базальтах при формировании агатов – новая концепция. Савва Н.Е. (ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, e-mail: nsavva7803@mail.ru) ..... 151
- Вещественный состав руд и рудовмещающих пород участка Северный в Зиаэтдинском рудном поле (Узбекистан). Сайитов С.С.\* (ГУ «ИМП», Ташкент, sardorsayirov@gmail.com), Цой В.Д. (ГУ «ИМП», Ташкент, vtsoi@inbox.ru), Булин С.Е. (ГУ «ИМП», Ташкент, bulin.sergey.evgenovich@gmail.com), Расулов Ш.М. (ГУ «ИМП», Ташкент,

shohruhrasulov2019@gmail.com), Печерский Р.Д. (ГУ «ИМР», Ташкент, russell.4ay@gmail.com), Халиков О.А. (ГУ «ИМР», Ташкент, okiljon.xalikov@mail.ru) ..... 155

Внемантийные генетические типы алмаза и перспективы камчатской алмазоносной провинции России. Силаев В. И. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, silaev@geo.komisc.ru), Карпов Г. А. (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, karpovga@kscnet.ru), Аникин Л. П. (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, alp@kscnet.ru), Филиппов В.Н. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН), Васильев Е.А. (Санкт-Петербургский Горный университет, simphy12@mail.ru), Сухарев А. Е.\* (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, sukharev@geo.komisc.ru), Хазов А. Ф. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, khazov@geo.komisc.ru) ..... 159

Тонко вкрапленная аксессуарная благороднометалльная минерализация рудопрооявления Верхнее – Золотое (Приморье). Сластиников В.В.\* (ООО «Теллур Северо-Восток», v\_slastnikov@mail.ru).. 163

Изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в речной воде Южного Урала. Окунева Т.Г. \* (ИГГ УрО РАН, okunevatatjana@mail.ru), Киселева Д.В. (ИГГ УрО РАН), Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН) ... 167

Новая версия возникновения уникальной формы алмаза «Матрёшка» из коллекции компании «АЛРОСА». Павлушин А.Д.\* (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, pavlushin@diamond.ysn.ru), Коногорова Д.В. (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, diana-perm@mail.ru) ..... 171

Изотопное исследование свинца в самородной меди и медных рудах различных генетических типов месторождений и создание базы данных сырьевых источников металлов в древности. Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН, УГГУ), Солошенко Н.Г. \* (ИГГ УрО РАН, nats\_igg@mail.ru), Киселева Д.В. (ИГГ УрО РАН), Клейменов Д.А. (УГГУ, Уральский геологический музей) ..... 175

Определение параметров метаморфизма гранулитов острова Поньгома-Наволоок, Беломорский подвижный пояс (Республика Карелия). Стрельников М.В.\* (ИГЕМ РАН, sva240319600@yandex.ru), Козловский В.М. (ИГЕМ РАН, bazily.koz@gmail.com) ..... 179

Минеральные включения и кристаллохимические особенности кианитов Карелии и Южного Урала. Узбеков А.И. \* (ИГиНГТ, КФУ, 18almaz.uz@gmail.com), Нуриева Е.М. (ИГиНГТ, КФУ, evgeniya-nurieva@yandex.ru), Николаев А.Г. (ИГиНГТ, КФУ, anatolij-nikolaev@yandex.ru), Низамова А.В. (ИГиНГТ, КФУ, aiguly96@mail.ru), Гареев Б.И. (ИГиНГТ, КФУ, bulat@gareev.net), Баталин Г.А. (ИГиНГТ, КФУ, batalinga@yandex.ru), Андриюшкевич О.Ю. (ИГиНГТ, КФУ, gemmaol@bk.ru)..... 183

Термальная и петрохимическая эволюция Атбашинского эфлогит-глаукофансланцевого комплекса (Южный Тянь-Шань). Федькин В.В.\* (Институт экспериментальной минералогии им. ак. Д.С.Коржинского РАН, vfedkin@iem.ac.ru), Котова Л.С. (Институт геологии им. ак. А.А.Адышева Киргизской АН, vfedkin@iem.ac.ru) ..... 186

Типы рудовмещающих пород участка Древний. Халиков О.А.\* (ГУ «ИМР», Ташкент, okiljon.xalikov@mail.ru), Сайитов С.С. (ГУ «ИМР», Ташкент, sardorsayirov@gmail.com) Расулова А.В. (ГУ «ИМР», Ташкент, alinarasulova1986@gmail.com), Абдувоитов А.К. (ГУ «ИМР», Ташкент, azimjon.abduvoitov96@gmail.com), Асроров А.А. (ГУ «ИМР», Ташкент, asrorovazamat603@gmail.com)..... 190

Вещественный состав и микроструктуры кварцевых палеогеновых песчаников сосновской толщи востока Русской плиты. Хамада Н.\* (Казанский (Приволжский) федеральный университет, nadia.m.hamada@gmail.com), Зорина С.О. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, svzorina@yandex.ru), Никашин К.И. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, kostya97@inbox.ru), Афанасьева Н.И. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, p-afanasieva@rambler.ru)..... 194

О природе окраски некоторых сложных силикатов щелочных пород. Шендрик Р. Ю.\* (ИГХ СО РАН, r.shendrik@gmail.com), Канева Е. В. (ИГХ СО РАН, kev604@mail.ru), Радомская Т.А. (ИГХ СО РАН, taniaojigova@mail.ru)..... 198

Сравнительная минералого-геохимическая характеристика латеритных бокситов фанерозоя и докембрия на примере месторождений Индии, Гвинеи, Сибири, КМА и Монголии. Слуккин А.Д.* , Боева Н.М., Шипилова Е.С., Макарова М.А., Внучков Д.А., Мельников Ф.П. (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, boeva@igem.ru), Жегалло Е.А., Зайцева Л.В. (Палеонтологический институт РАН) .....	202
Секция №6. Геммология и технология художественной обработки материалов. ....	206
Изучение внутренних особенностей природного цимофана. Александрова А.Е.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, nastasya.aleksandrova.98@bk.ru), Романова Е.И. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, romanovaei@mgri.ru) .....	206
Перспективы облагораживания жадеита методом гидротермальной перекристаллизации. Ахметшин Э.А. (РХТУ им. Д. И. Менделеева, 4966945@mail.ru), Терехова А.Б.* (РХТУ им. Д. И. Менделеева, nastt2001@mail.ru) .....	211
Перспективы улучшения цветовых характеристик хромдиоксида Инаглинского месторождения. Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 4966945@mail.ru), Купчий К.И.* (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, kкупчий@mail.ru).....	215
Применение аддитивных технологий в изготовлении корпуса блока питания для микродвигателя. Брусов А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г.Москва, brusovaa@mgri.ru) .....	220
История культивирования, морфология и диагностика пресноводного культивированного жемчуга Касуми. Ванданова Д.Б. (МГРИ, vandanovad@gmail.com) .....	224
Южноякутская хрусталоносная провинция. Гадиятов В.Г.* (Воронежский государственный технический университет, gadiatovvg@mail.ru), Калугин П.И. (Воронежский государственный технический университет), Демиденко А.И. (Воронежский государственный технический университет), Хута, Д. (Воронежский государственный технический университет).....	229
Рентгенолюминесценция обыкновенного опала Томского месторождения (Западная Сибирь, Россия). Зырянова Л.А. * (Томский госуниверситет, г. Томск, luizazyryanova@mail.ru), Борозновская Н.Н. (Томский госуниверситет, г. Томск, boroznovskaya@mail.ru), Петрова Е.П. (Томский госуниверситет, г. Томск, ptrvl.elena@yandex).....	233
Эсколаит в сростании с красным корундом в мраморах Кочкарского антиклинория (Южный Урал): проблема источника Al и Cr. Кисин А.Ю. (Институт геологии и геохимии УрО РАН, Уральский государственный горный университет, kissin@igg.uran.ru), .....	237
Сине-фиолетовые алмазы из россыпей Анабара (север Сибирской платформы). Коногорова Д.В.* (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Геологический факультет, diana-96perem@mail.ru), Титков С.В. (ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия, titkov@igem.ru), Павлушин А.Д. (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, pavlushin@diamond.ysn.ru), Бардухинов Л.Д. (Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО) Лаборатория комплексного изучения алмаза, bardukhinovld@alrosa.ru), Гаранин В.К. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Геологический факультет; Минералогический музей им. Ферсмана, vgaranin@mail.ru) .....	241
Создание и использование оправ для нестандартных форм вставок камней в реализации проектов ювелирных изделий. Костенко Ольга Евгеньевна*, (ИРНИТУ, e-mail:lolginger70@gmail.com) .....	244
Анализ внедрения системы прослеживаемости ювелирных изделий и пути ее совершенствования. Куликова А.И.* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), sashka1249@mail.ru) .....	248

Геммология и пробная огранка сапфиров месторождения Стаж-2, Юго-Западный Памир. Литвиненко А.К.* (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, <a href="mailto:akl1954@yandex.ru">akl1954@yandex.ru</a> ), Литвиненко Д.А. (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, <a href="mailto:dariaenglish@yandex.ru">dariaenglish@yandex.ru</a> ).....	251
Канитель как ювелирный материал в декоративной отделке текстильных изделий. Миронова Н. В.* (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: <a href="mailto:n3308780@yandex.ru">n3308780@yandex.ru</a> ), Кирсанова Е. А. (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: <a href="mailto:oimgudt@yandex.ru">oimgudt@yandex.ru</a> ) .....	255
Целесообразность крепления ниточным методом граненых декоративных ювелирных вставок без специальных оправ. Миронова Н. В.* (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: <a href="mailto:n3308780@yandex.ru">n3308780@yandex.ru</a> ), Кирсанова Е. А. (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: <a href="mailto:oimgudt@yandex.ru">oimgudt@yandex.ru</a> ) .....	259
Ювелирные минералы и агрегаты на месторождениях олова. Задачи исследований. Петроченков Д.А*. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), <a href="mailto:p-d-a@mail.ru">p-d-a@mail.ru</a> ), Рогова А.Р. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), <a href="mailto:annasuperroller@mail.ru">annasuperroller@mail.ru</a> ) .....	263
Декоративные коллекционные образцы ювелирных минералов на месторождениях олова. Проблемы и перспективы добычи. Петроченков Д.А*. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), <a href="mailto:p-d-a@mail.ru">p-d-a@mail.ru</a> ), Рогова А.Р. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), <a href="mailto:annasuperroller@mail.ru">annasuperroller@mail.ru</a> ) .....	267
Литературные образы в композиционных решениях медальонов работы русских мастеров начала XX в. (на примере трагедии И.-В. Гёте «Фауст»). Прыгов В.И.* (МГРИ, <a href="mailto:prygovvi@mgri.ru">prygovvi@mgri.ru</a> ) .....	271
Применение инструментальных методов при проведении геммологического исследования культурных ценностей из ювелирных материалов (на примере оклада иконы). Прыгов В.И.* (МГРИ, <a href="mailto:prygovvi@mgri.ru">prygovvi@mgri.ru</a> ) .....	274
Применение различных типов красителей для улучшения цветовых характеристик чароитита. Рогачевская А.В.* (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, <a href="mailto:rogachevskaya.alex@yandex.ru">rogachevskaya.alex@yandex.ru</a> ), Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, <a href="mailto:4966945@mail.ru">4966945@mail.ru</a> ) .....	278
Значение центров NV- в структуре алмазов для геммологии и электроники. Титков С.В. (ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, <a href="mailto:titkov@igem.ru">titkov@igem.ru</a> ) .....	283
К вопросу о геммологических особенностях минералов в авторском ювелирном дизайне. Туев А.А.* (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра ТХОМ, <a href="mailto:Lex.tuev@gmail.com">Lex.tuev@gmail.com</a> ) .....	285
Технология изготовления инталии с элементами геральдики. Черевастова А.Д.* (МГРИ, <a href="mailto:cherevastova@mail.ru">cherevastova@mail.ru</a> ) .....	289
История происхождения традиционных китайских браслетов из нефрита и жадеита. Чжу Шуань* (МПУ), <a href="mailto:835619649@qq.com">835619649@qq.com</a> .....	293
Палеопарк «Путилово»: глина как высококачественный гончарный материал. Сравнение с текущей ситуацией в Китае. Чжу Шуань* (МПУ, <a href="mailto:835619649@qq.com">835619649@qq.com</a> ) .....	297



Изучение геммологических свойств и внутренних особенностей танзанита. Якубович Р.В.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, regina180799@gmail.com), Романова Е.И. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, romanovaei@mgri.ru) .....	301
Секция №7. Геология, поиски, разведка и подсчет запасов месторождений углеводородов .....	306
Сейсмофациальный анализ комплекса верхнего олигоцена и нижнего миоцена блока X Кыулунгского бассейна, Вьетнам. Буй Т.Н.* (Ханойский университет горного дела и геологии, buithingan@humg.edu.vn), .....	306
Источники углеводородов триасовых отложений Восточного Предкавказья. Волкова П.А.* Суюнбаев Т.Н (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, polli12volkova639@gmail.com, tema.bolat.91@mail.ru) .....	310
Условия формирования и распространения «сланцевых» скоплений углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе по результатам численного бассейнового моделирования. Вяткина Е.В.* (МГРИ, liza.vyatkina.2000@mail.ru), Сагдеев Р.Р. (МГРИ, r-sagdeev@mail.ru), Шатыров А.К. (МГРИ, anar.shatyrov@mail.ru) .....	314
Анализ и характеристика эоцен-палеоценовых генерационно-аккумуляционных углеводородных систем Черноморско-Каспийского региона по результатам бассейнового анализа и численного моделирования. Вяткина Е.В.* (МГРИ, liza.vyatkina.2000@mail.ru), Лавренова Е.А. (МГРИ, lavrenovaelena@mail.ru) .....	318
Седиментационное моделирование ачимовских отложений месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Грибанов Д.А.* (Санкт-Петербургский горный университет, danila.gribanov34@gmail.com), Нефедов Ю.В. (Санкт-Петербургский горный университет, nefedov_yuv@pers.spmi.ru), Востриков Н.Н. (Санкт-Петербургский горный университет, s190872@stud.spmi.ru) .....	322
Геологическая характеристика и перспективы нефтегазоносности нижнетриасовых отложений Сарпинского прогиба Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Гутман И.С. (ООО «ИПНЭ», mail@ipne.moscow), Биктагиров В.К.* (ООО «ИПНЭ», biktagirov@ipne.moscow), Рахимова Е.В. (МГРИ, rahimovaev@mgri.ru), Потемкин Г.Н. (МГРИ, potemkingn@mgri.ru), Руднев С.А. (МГРИ, rudnevs@mgri.ru) .....	326
Обзор применения современных каротажных технологий для изучения литологических особенностей строения продуктивных толщ Тюменской области. Ефаров Н. А.* (Российский университет дружбы народов (РУДН), efarov.n@mail.ru) .....	331
Особенности изменения коллекторских свойств терригенных пород по мере их погружения. Захарова А. А. * (РУДН, 1032182416@rudn.ru) .....	335
Оценка перспектив нефтегазоносности ниже-среднеюрского комплекса по результатам бассейнового моделирования Карско-Ямало-Гыданского района газонефтенакопления. Зинатуллина Л.И.* (ИПНГ РАН, zinatullina@ipng.ru) .....	338
Аналитическое моделирование Туркменского сектора Южно-Каспийской впадины. Алланазарова М.А. * (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail: mehrik_allanazarova@mail.ru) .....	342
Геохимическая характеристика органического вещества баженовской свиты на территории Томской области. Кравченко Е.М.* (ФГБУ ВНИГНИ, e.kravchenko@vniigni.ru), Можегова С.В. (ФГБУ ВНИГНИ, mozhegova@vniigni.ru) .....	345
Условия формирования залежей углеводородов Верхнепечорской впадины. Маракова И. А. (УГТУ, imarakova@ugtu.net), соавтор Нуртазаева М.* (УГТУ, mnurtazaeva@ugtu.net), соавтор Попова Е. (УГТУ, eropova@ugtu.net) .....	349

- Литологические и петрофизические свойства песчаных коллекторов оскобинской свиты (венд, южная часть Сибирской платформы. Михайлова А.А.\* (МГРИ, amihajlova697@gmail.com), Агафонова Г.В. (ВНИГНИ) ..... 353
- Применение искусственных нейронных сетей и сейсмических атрибутов для изучения распределения пород-коллекторов позднеолигоценного отложения в Кылулонгском бассейне. Нгуен М.Х.\* (Ханойский университет горного дела и геологии, nguyeminhhhoa@humg.edu.vn), Нгуен З.М. (Ханойский университет горного дела и геологии, nguyenduymuoi@humg.edu.vn), Буй Т.Н. (Ханойский университет горного дела и геологии, buithingan@humg.edu.vn) ..... 358
- Улучшение характеристик карбонатных пород коллекторов путем применения методов рок-типизации пород: на примере Южно-Коншонского бассейна. Нгуен М.Х.\* (Ханойский университет горного дела и геологии, nguyeminhhhoa@humg.edu.vn), Ха К.М. (Petrovietnam Корпорация разведки и добычи, manhq@pver.com.vn) ..... 362
- Ресурсный потенциал северной части Сибирской платформы. Песков Д.В.\* (Санкт-Петербургский Горный Университет, s225010@stud.spmi.ru) ..... 367
- Геологическое моделирование полифациальной системы палеорусел Тюменской свиты с целью оценки запасов углеводородов и определения объектов для дальнейшей доразведки. Полюх Н.А.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, polyukh@mail.ru) ..... 371
- Особенности геологического строения и подсчет запасов нефти залежи пласта А0 Краснооктябрьского месторождения Оренбургской области. Калбак Д. Д. \* (МГРИ, Kalbak2001@mail.ru). Научный руководитель: Потемкин Г.Н. (доцент, к.г.-м.н., МГРИ, gpotemkin@list.ru) ..... 374
- Особенности геологического строения осинского горизонта кембрийской системы на Ичѣдинском нефтяном месторождении. Календарова Л.Р.\* (МГРИ, kalendarovalr@mgri.ru), Потемкин Г.Н. (МГРИ, potemkingn@mgri.ru) ..... 378
- Эмпирические исследования и обработка каротажных данных для эффективности подбора комплекса ГИС (на примере месторождения Джихар, Сирия). Картал Ибрагим\* (МГРИ, ibrahimkartal940@gmail.com), Научный руководитель - Тюкавкина О. В. (д.т.н., профессор, МГРИ, tov.sing@mail.ru) ..... 382
- Геологическая характеристика нижнетолбачанской подсвиты – перспективного нефтегазоносного объекта Непско-Ботуобинской антеклизы. Гутман И.С. (ООО «ИПНЭ», mail@ipne.moscow), Руднев С.А.\* (МГРИ, rudnevs@mgri.ru), Потемкин Г.Н. (МГРИ, potemkingn@mgri.ru), Рахимова Е.В. (МГРИ, rahimovaev@mgri.ru), Биктагиров В.К. (ООО «ИПНЭ», biktagirov@ipne.moscow) ..... 386
- Разработка алгоритма с целью автоматизации расчёта прогноза добычи нефти и газа. Русинович Л.Э.\* (Институт морской геологии геофизики ДВО РАН, larisarusinovich@gmail.com), Русинович В.В. (Институт морской геологии геофизики ДВО РАН, rusv-pro@mail.ru) ..... 390
- Геологическое строение, история и проблемы освоения триасовых отложений вала Сорокина. Сагдеев Р.Р. \* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail: r-sagdeev@mail.ru) ..... 394
- Изучение взаимодействия гидротермального флюида на кремнисто-карбонатную породу Бавлинского месторождения (эксперимент с участием флюидных включений в кварце). Сеткова Т.В.\* (ИЭМ РАН, setkova@iem.ac.ru), Голунова М.А. (ИЭМ РАН, nov@iem.ac.ru), Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН, tmb@iem.ac.ru), Лахова А.И. (КНИТУ, lfm59@mail.ru), Петров С.М. (КНИТУ, petrovsm@fnnh.ru), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН, balvlad@iem.ac.ru) ..... 398
- Обзор геологического строения Предпатомского регионального прогиба для оценки перспектив нефтегазоносности. Сивков Л.Н.\* (МГРИ, leonidsivkovn@yandex.ru) ..... 402

Геодинамическая характеристика размещения скоплений углеводородов в мегарезервуарах осадочного бассейна. Сидорчук Е.А.* (ИПНГ РАН, elena_sidorchuk@mail.ru), Добрынина С.А. (ИПНГ РАН, dobrinini2002@mail.ru).....	406
Статистические особенности распределения фильтрационно-емкостных свойств в отложениях дельтового комплекса. Потемкина Е.Л. (potemkinael@mail.ru), Потемкин Г.Н.* (МГРИ, potemkingn@mgri.ru) .....	410
Характеристика состава углеводородных флюидов в резервуарах нефтегазоносных бассейнов. Пуанова С.А. (Институт проблем нефти и газа РАН, spuanova@gmail.com) .....	414
Нефтяные системы и классификации резервуаров. Пуанова С.А. (Институт проблем нефти и газа РАН, punanova@gmail.com).....	418
Литологическая характеристика и фильтрационно-емкостные свойства карбонатных пород франского яруса (девон, восточная окраина Восточно-Европейской платформы). Рязанов А.Р.* (МГРИ, aleksandr_w9ke@list.ru), Агафонова Г.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия, agafonovagalina@inbox.ru) .....	422
Гагаты в отложениях средней юры юго-восточного Крыма: углестрография и палеоботаника. Стукалова И.Е.* (ГИН РАН, МГРИ, e-mail: iestukalova@mail.ru), Садчикова Т.А. (ГИН РАН, e-mail: tamara-sadchikova@yandex.ru), Наугольных С.В. (ГИН РАН, e-mail: naugolnykh@rambler.ru), Чепалыга А.Л. (ИГ РАН, e-mail: tchepalyga@mail.ru).....	426
Особенности учета условий неопределенности и рисков при проведении геологоразведочных работ на углеводородное сырье. Титова А.А.* (Санкт-Петербургский горный университет, alina.dorofieieva@mail.ru), Меткин Д.М. (Санкт-Петербургский горный университет, vvash2002@yandex.ru).....	430
Особенности строения месторождения "Мустакилликнинг 25 йиллиги". Турсунова А. А. (Ташкентский государственный Технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан, aziza.tursunova.tdtu@gmail.com) .....	434
Химический состав газов нижнемеловых отложений на месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги». Турсунова А. А.* (Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан, aziza.tursunova.tdtu@gmail.com) .....	438
Результаты анализа промыслово-геофизических исследований скважин и определение фильтрационно-ёмкостных свойств коллекторов месторождение Чордарбаза. Холмуродов И.З.* (ГУ «ИГИРНИГМ» г.Ташкент. isroil.kholmurodov@mail.ru) .....	442
Методика и результаты литолого-фациального анализа продуктивного горизонта Ю <sub>2</sub> . Шакиров Р.Р. (ООО «НОВАТЭК НТЦ», Ravil.Shakirov@novatek.ru) .....	446
Методические подходы к оценке геологических рисков на примере отложений тюменской свиты восточного борта Уренгойского месторождения. Шакиров Р.Р. (ООО «НОВАТЭК НТЦ», Ravil.Shakirov@novatek.ru) .....	450
Построение аналитической модели трещиноватости Киринского лицензионного участка. Шатыров А.К. * (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail: anar.shatyrov@mail.ru).....	453
Особенности геологического строения и способы повышения эффективности разработки пласта Дфр2 (Бузулукская впадина). Соседов В.Ю.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», vladik180899@mail.ru), Научный руководитель - Тюкавкина О.В. (д.т.н., профессор кафедры геологии и разведки углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», tov.sing@mail.ru) .....	457

**Определение эффективной пористости по методике адаптивной интерпретации в терригенных коллекторах, вскрытых горизонтальной скважиной, по данным азимутального литоплотностного метода. Сребродольская М. А.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, mary\_roza@bk.ru) ..... 461**

**Прогноз нефтегазоперспективности юрских и палеозойских отложений Барсакельмесского прогиба Устюртского региона. Юлдашева М.Г.\* (ГУ «ИГИРНИГМ», yuldasheva@ing.uz), Гафуров Р.Т. (АО «Узбекгеофизика»), Сабуров Н.Б. (филиал “Устюрт геофизика экспедицияси” АО “Узбекгеофизика»), Мамашарипов Ж.О. (ГУ «ИГИРНИГМ»)..... 465**

**Поиск и оконтуривание залежей углеводородов в юрских терригенных отложениях на месторождениях Устюртского региона. Юлдашева М.Г.\* (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан, yuldasheva@ing.uz), Эшметова Ш.У. (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан, shahnoza\_esh96@mail.ru), Фозилов Р.А. (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан) ..... 469**

**Геологическое изучение юрских отложений на основе комплексирования современных геофизических методов и данных глубокого бурения (Гыданская НГО). Котунов Д.А. (ООО «Газпромнефть-Заполярье», г. Тюмень, Российская Федерация, ИПНГ РАН, г. Москва, Российская Федерация).....473**

**Геологическое строение и проект поисков залежей углеводородов в пределах Ровенского участка недр Саратовской области Калбак Д. Д. \* (МГРИ, Kalbak2001@mail.ru).....477**

**Геологическое моделирование и подсчет запасов нефти залежи пласта Б0 Никольско-Спиридоновского месторождения Калбак Д. Д. \* (МГРИ, Kalbak2001@mail.ru).....481**

*Секция №5. Минералогия, геохимия и петрография*

*Турмалин золоторудных проявлений Улуг-Саир и Хаак-Саир, Тува. Бакшеев И.А.\*  
(МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, baksheev@geol.msu.ru),  
Кужугет Р.В. (ТувИКОПР СО РАН, rkuzhuget@mail.ru)*

**Аннотация**

Впервые изучен химический состав турмалинов ранних кварц-турмалиновых метасоматитовиз проявлений золота Хаак-Саир и Улуг-Саир в Западной Туве. В первом случае метасоматиты заместили гипербазиты и турмалин в них относится к ряду дравит-оксидравит; во втором – метасоматиты развиты по терригенным породам и турмалин в них относится к системе дравит-оксидравит-магнезиофойтит-«оксимагнезиофойтит»-фойтит. Турмалины формировались при дефиците Na и низкой активности фтора в минералообразующем растворе.

**Ключевые слова**

Турмалин, проявления золота, Тува.

**Теория**

Турмалин устойчив в широком интервале условий от низкотемпературных гидротермальных до высокоградных и высокобарических метаморфических и магматических условий. Он развит в магнезиальных скарнах, цвиттерах, грейзенах, кварц-турмалиновых метасоматитах месторождений олова касситерит-силикатно-сульфидной формации, кварц-серицитовых метасоматитах Au-Mo-Cu и Sn порфировых месторождений, аргиллизитах эпитеpmальных месторождений золота, пропилитах плутоногенных месторождений золота и талька, метасоматитах месторождений золота в докембрийских зеленокаменных поясах, метаморфизованных колчеданных месторождений и др.

Общую формулу минералов надгруппы турмалина представляют в следующем виде  $XY_3Z_6[T_6O_{18}][BO_3]_3V_3W$ , где X = Na, Ca, K, вакансия; Y = Fe<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ti<sup>4+</sup>, Li<sup>1+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>; Z = Al, Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, V<sup>3+</sup>; T = Si<sup>4+</sup>, могут входить Al<sup>3+</sup>, B<sup>3+</sup>; V = B<sup>3+</sup>, V = OH<sup>1-</sup>, O<sup>2-</sup>; W = OH<sup>1-</sup>, O<sup>2-</sup>, F<sup>1-</sup> [3]. В настоящее время Международной Минералогической Ассоциацией в надгруппе утверждены 40 минеральных видов [сайт mindat.org].

В настоящей работе описаны турмалины из золоторудных проявлений Хаак-Саир и Улуг-Саир в Западной Туве. Генезис этих проявлений остается дискуссионным. Данные изучения стабильных изотопов (O, S) в кварце и сульфидах, флюидных включений в кварце указывают на участие разнообразных флюидов: магматогенных, метаморфогенных, метеорных. В работе [4] авторы склоняются к отнесению проявлений к оротенным.

## **Краткая геологическая характеристика проявлений**

Проявления Хаак-Саир и Улуг-Саир расположены в 250 км к западу от г. Кызыл. Они приурочены к осевой части горст-антиклинальной структуры, чье ядро сложено венд-раннекембрийскими офиолитами, которые на крыльях тектонически контактируют с ордовикскими конгломератами, песчаниками, алевролитами и силурийскими сланцами, смятыми в линейные изоклинальные складки. Интрузивные породы позднедевонского возраста – это гранодиорит-, гранит-, тоналит-порфирами, слагающие малые тела и дайки.

На проявлениях выделяются метасоматиты двух типов: (1) ранние кварц-турмалиновые и (2) карбонат-кварц-серицитовые (хромистый мусковит, мусковит, парагонит). Первые сопровождаются кварц-турмалиновыми жилами с шеелитом и пиритом, а вторые – кварцевыми жилами с блёклыми рудами, галенитом, халькопиритом, пиритом, арсенопиритом, герсдорфитом, борнитом, самородным золотом, Ag и Au-Ag теллуридами. Кроме того, на проявлениях установлены пострудные кварц-турмалин-хлоритовые прожилки [1, 2].

## **Материалы и методы исследования**

Кварц-турмалиновые метасоматиты проявления Хаак-Саир слагают тела мощностью до 2 м, образованные по серпентинизированным венд-раннекембрийским гипербазитам. Метасоматиты сложены бледно- и светло-зеленоватым игольчатым турмалином, кварцем, хлоритом; аксессуарные минералы представлены апатитом, фосфатами редких земель, рутилом. небольшим количеством светлой слюды, наблюдается апатит. Породы рассечены кварц-турмалиновыми прожилками.

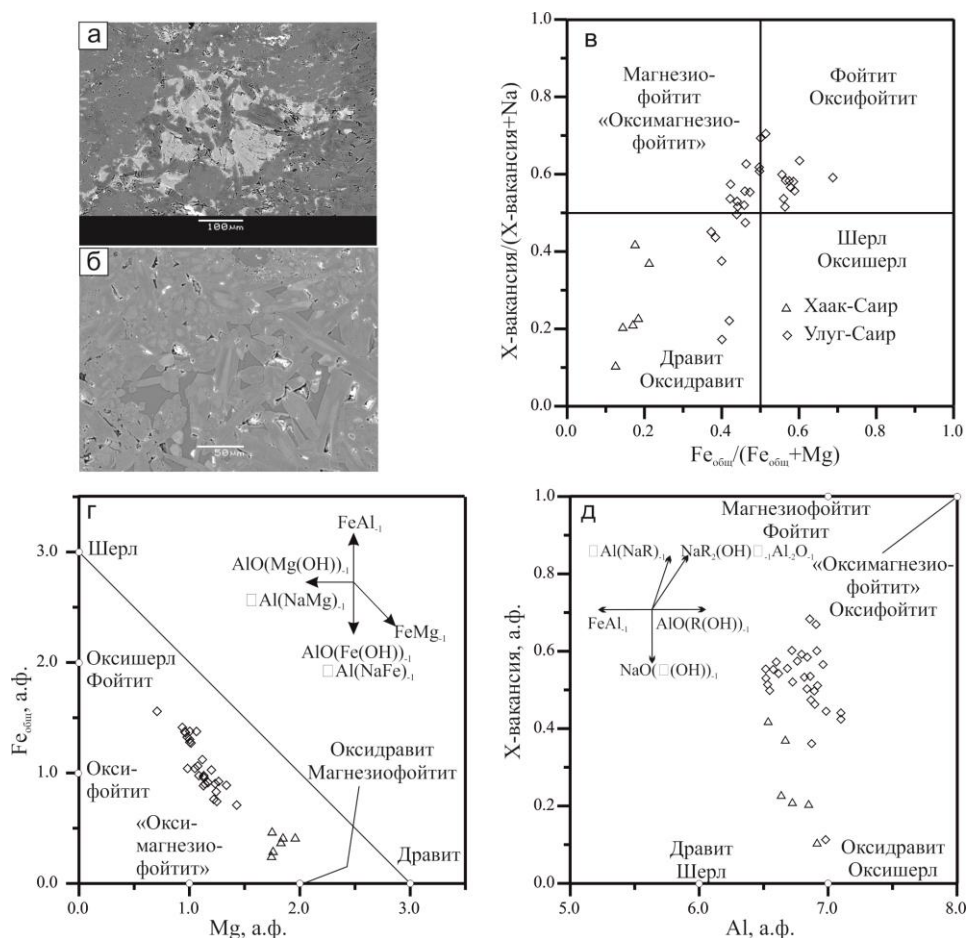
Кварц-турмалиновые метасоматиты проявления Улуг-Саир образуют тела длиной до 10 м и мощностью 3–5 м. Они замещают ордовикские алевролиты и конгломераты и широко развиты в пределах проявления. Обломки метасоматитов наблюдаются в золотоносных кварцевых жилах. Метасоматиты сложены кварцем, турмалином, аксессуарными апатитом, рутилом, очень редко встречаются флоренсит, циркон, шеелит, пирит. Метасоматиты разбиты поздними кварцевыми и кальцитовыми прожилками.

Изображения в отраженных электронах и составы минералов получены на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-6480, оборудованном энергодисперсионной приставкой IncaEnergy-350 в Лаборатории локальных методов исследования на кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, аналитик Н.Н. Кошлякова. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока ~2 нА, диаметр пучка электронов 3 мкм. Погрешность измерения главных и второстепенных элементов составила для оксида 1.5 и 5 отн. %. Для процедуры коррекции использованы ХРР поправки.

## **Результаты**

Турмалин апосерпентинитовых метасоматитов проявления Хаак-Саир слагает слабо плеохроирующие от бесцветного до бледно-зеленого оптически незональные кристаллы длиной до 100 мкм и их агрегаты. На фотографии в отраженных электронах видна слабая зональность (рис. 1а). Минерал образует сростания с Ni-Cr-содержащим клинохлором (Si 2.25–2.77 а.ф., Cr до 0.83 а.ф., Ni до 0.01 а.ф., Fe/(Fe+Mg) 0.25–0.41)

(рис. 1а). В проанализированных кристаллах турмалина содержание Са ниже предела обнаружения электронно-зондовым методом или не превышает 0.02 а.ф. Поэтому оптимальным для первичной классификации турмалина будет график в координатах  $Fe_{общ}/(Fe_{общ} + Mg)$  --  $X-вакансия/(X-вакансия + Na)$  (рис. 1в). Содержание F во всех кристаллах ниже предела обнаружения, поэтому в позиции W преобладают  $O^{2-}$  или  $OH^-$ . Следовательно, поля магнезиофойтита и дравита могут рассматриваться как поля «оксимагнезиофойтита» и оксидравита соответственно. Все составы турмалина попадают в поле дравита–оксидравита (рис 1в). Расчеты показывают, что в позиции W преобладает либо  $O^{2-}$  (0.52–0.99 а.ф.) либо  $OH^-$  (0.62–0.71 а.ф.). Поэтому изученный турмалин в соответствии с работой [3] классифицируется как дравит и оксидравит с существенной долей вакансии в позиции X (0.11–0.42 а.ф.) и низким Са (0–0.02 а.ф.).



**Рисунок 1.** Фотографии в отраженных электронах турмалина проявлений (а) Хаак-Саир, (б) Улуг-Саир. (в-д) Диаграммы, иллюстрирующие состав турмалинов с указанием обменных векторов.

Турмалин из кварц-турмалиновых метасоматитов, заместивших терригенные породы на проявлении Улуг-Саир, представлен оптически незональными кристаллами длиной от первых мкм до 100 мкм, плеохроирующими от бесцветного до бледно-зеленого, и их агрегатами. На фотографии в отраженных электронах видна зональность: более светлая центральная часть и более темная краевая (рис. 1б). В изученных образцах присутствуют шамозит (Si 2.62 а.ф., Fe/(Fe+Mg) 0.67) и сульфиды (пирит, халькопирит). В проанализированных кристаллах турмалина содержание Са (0.01–0.05 а.ф.), а концентрация F предела обнаружения электронно-зондовым методом, что позволяет использовать диаграмму на рис. 1в для классификации.

Составы попадают в поля фойтитового, магнезиофойтитового и дравитового турмалина. Расчеты показывают, что в позиции X доминирует Na (0.51–0.77 а.ф.) или вакансия (0.49–0.68 а.ф.), в позиции Y – Fe (1.04–1.56 а.ф.) или Mg (1.09–1.58 а.ф.), а в позиции W – O<sup>2-</sup> (0.50–0.58 а.ф.) или OH<sup>-</sup> (0.56–1.00). Согласно работе [3], изученные турмалины относятся к дравиту, оксидравиту, магнезиофойтиту, «оксимагнезиофойтиту» и фойтиту. Особенностью состава является примесь V (до 0.02 а.ф.)

Диаграммы на рис. 1г и 1д показывают разницу в схемах замещения в турмалинах описываемых проявлений. Так точки составов турмалина Хаак-Саира находятся параллельно обменным векторам AlO(Mg(OH))<sub>-1</sub> и □Al(NaMg)<sub>-1</sub> (рис. 1г) и грубо параллельно вектору NaO(□(OH))<sub>-1</sub> (рис. 1д). Эти векторы отвечают замещениям Al + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ Mg + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>, X□ + Al ↔ Na + Mg и Na + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ X□ + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>. Коэффициент корреляции между парами Al + <sup>W</sup>O<sup>-</sup> и Mg + <sup>W</sup>OH равен -0.96, а между Mg и Na линейной корреляции нет, поэтому справедливо замещение Al + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ Mg + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>. Итак, в дравите и оксидравите Хаак-Саира проявлены замещения Al + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ Mg + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup> и Na + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ X□ + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>. Точки составов турмалина Улуг-Саира на графике Mg–Fe расположены между векторами AlO(Fe(OH))<sub>-1</sub>, □Al(NaFe)<sub>-1</sub> и FeMg<sub>-1</sub>, которые отвечают замещениям Al + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ Fe + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>, X□ + Al ↔ Na + Fe и Fe ↔ Mg. Коэффициенты корреляции между парами Al + <sup>W</sup>O и Fe + <sup>W</sup>OH, X□ + Al и Na + Fe и Fe и Mg равны -0.97, -0.76 и -0.87 соответственно и все они значимые. На графике в координатах Al—X-вакансия (рис. 1д) четко выраженного одного тренда в расположении точек составов нет. Таким образом, в турмалинах проявления Улуг-Саир проявлены замещения Al + <sup>W</sup>O<sup>2-</sup> ↔ Fe + <sup>W</sup>OH<sup>-</sup>, X□ + Al ↔ Na + Fe и Fe ↔ Mg.

## Выводы

Состав изученных турмалинов в первую очередь определяется составом замещаемых пород – обедненные Fe и Ca серпентиниты и обогащенные этими элементами терригенные породы. Выявлен разный характер химических замещений в турмалине кварц-турмалиновых метасоматитов, развитых по гипербазитам проявления Хаак-Саир и терригенным породам проявления Улуг-Саир. Турмалины обоих проявлений формировались при некотором дефиците Na и низкой фугитивности фтора в минералообразующем флюиде.

## Библиография

1. Кужугет Р.В., Анкушева Н.Н., Кадыр-оол Ч.О., Редина А.А., Прокопьев И.Р., Пономарчук А.В. Золото-сульфидно-кварцевое рудопроявление Хаак-Саир (Западная Тува): возраст, РТ-параметры, состав флюидов, изотопия S, O и C // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021а. Т. 332. № 12. 148–163.
2. Кужугет Р.В., Зайков В.В., Анкушева Н.Н. Золото-селенидно-теллуридная минерализация Алдан-Маадырского рудного узла (Западная Тува) // Геосферные исследования. 2021б. № 1. С. 18–32.
3. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals // American Mineralogist. 2011. Vol. 96. P. 895–913.
4. Kuzhuget R.V., Ankusheva N.N., Pirajno F., Mongush A.A., Butanaev Y.V., Suge-Maadyr N.V. The Ulug-Sair gold occurrence (Western Tuva, Russia): mineralogy, ore genesis, and



S-O isotope systematic // Minerals. 2022. Vol. 12. 712  
<https://doi.org/10.3390/min12060712>.

**Фазообразование и растворимость твердых фаз в системе  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_4\text{Cl}$ .  
Бубликова Т.М.\* (ИЭМ РАН, [tmb@iem.ac.ru](mailto:tmb@iem.ac.ru)), Сеткова Т.В. (ИЭМ РАН,  
[setkova@iem.ac.ru](mailto:setkova@iem.ac.ru)), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН, [balvlad@iem.ac.ru](mailto:balvlad@iem.ac.ru))**

### Аннотация

С использованием метода термодинамического моделирования рассчитаны фазовые равновесия и построены диаграммы растворимости системы  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_4\text{Cl}$  при температуре 25 °С, давлении 0.1 МПа и концентрации хлорида аммония 1.0, 2.0, 3.0 *m*. Установлены поля стабильности твердых фаз малахита, азурита, тенорита, атакамита. Рассчитаны концентрации меди в равновесных с твердыми фазами растворах. Результаты исследования процесса фазообразования позволяют варьировать условия гидрометаллургического процесса выщелачивания меди, а также прогнозировать результаты процесса выщелачивания в зависимости от состава исходной руды.

### Ключевые слова

Аммиачное выщелачивание, малахит, тенорит, азурит, атакамит, хлорид аммония, термодинамическое моделирование

### Источники финансирования

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН №FMUF-2022-0002

### Теория

Представленные исследования имеют непосредственное отношение к вопросам совершенствования технологии гидрометаллургического извлечения меди. Гидрометаллургические методы основаны на избирательном растворении медьсодержащих минералов, в том числе в аммиачных растворах. В зависимости от состава руды и эффективности применяемой технологии степень извлечения меди составляет от 20 (извлечение меди из шлаков медной плавки Балхашского медеплавильного завода) до 99 % (завод Бвана М'Кюбва, Замбия). Минералы оксида меди обрабатывают выщелачиванием измельченной руды щелочной средой с последующей стадией разделения. Лучшие результаты были получены при использовании в качестве выщелачивающего реагента смеси гидроксида аммония с солями аммония (хлорида, сульфата, карбоната) [2,3,5]. Использование методов кислотно-щелочного выщелачивания позволяет решить проблемы пирометаллургического производства меди (экологическая из-за повышенной тепло-, пыле- и газоотделения, взрывоопасность), а также более комплексно использовать сырье, извлекать медь из бедных окисленных и самородных руд и отходов переработки первичных руд.

Задача настоящего исследования – изучение фазообразования и установление полей стабильности твердых фаз в медно-карбонатных системах с участием растворов хлорида аммония, а также влияния концентрации хлорида аммония на растворимость соединений меди. Фазовые соотношения исследовали путем расчета и построения диаграмм растворимости соединений меди в системе  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_4\text{Cl}$ . Расчет

проводили с использованием программного комплекса NCh [4] и базы данных термодинамических свойства веществ, которая была сформирована ранее при расчете диаграмм растворимости системы  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_4\text{OH}$  [1]. Дополнительно в базу включены значения термодинамических свойств твердых веществ и частиц раствора, в составе которых присутствует хлор.

Изотермические диаграммы растворимости системы  $\text{CuO-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NH}_4\text{Cl}$  для температуры 25 °С, давления 0.1 МПа и концентраций хлорида аммония 1.0, 2.0 и 3.0 *m* представлены на рис. 1а. Выбранный диапазон концентраций  $\text{NH}_4\text{Cl}$  соответствует концентрациям соли, используемым в промышленных методах выщелачивания меди.

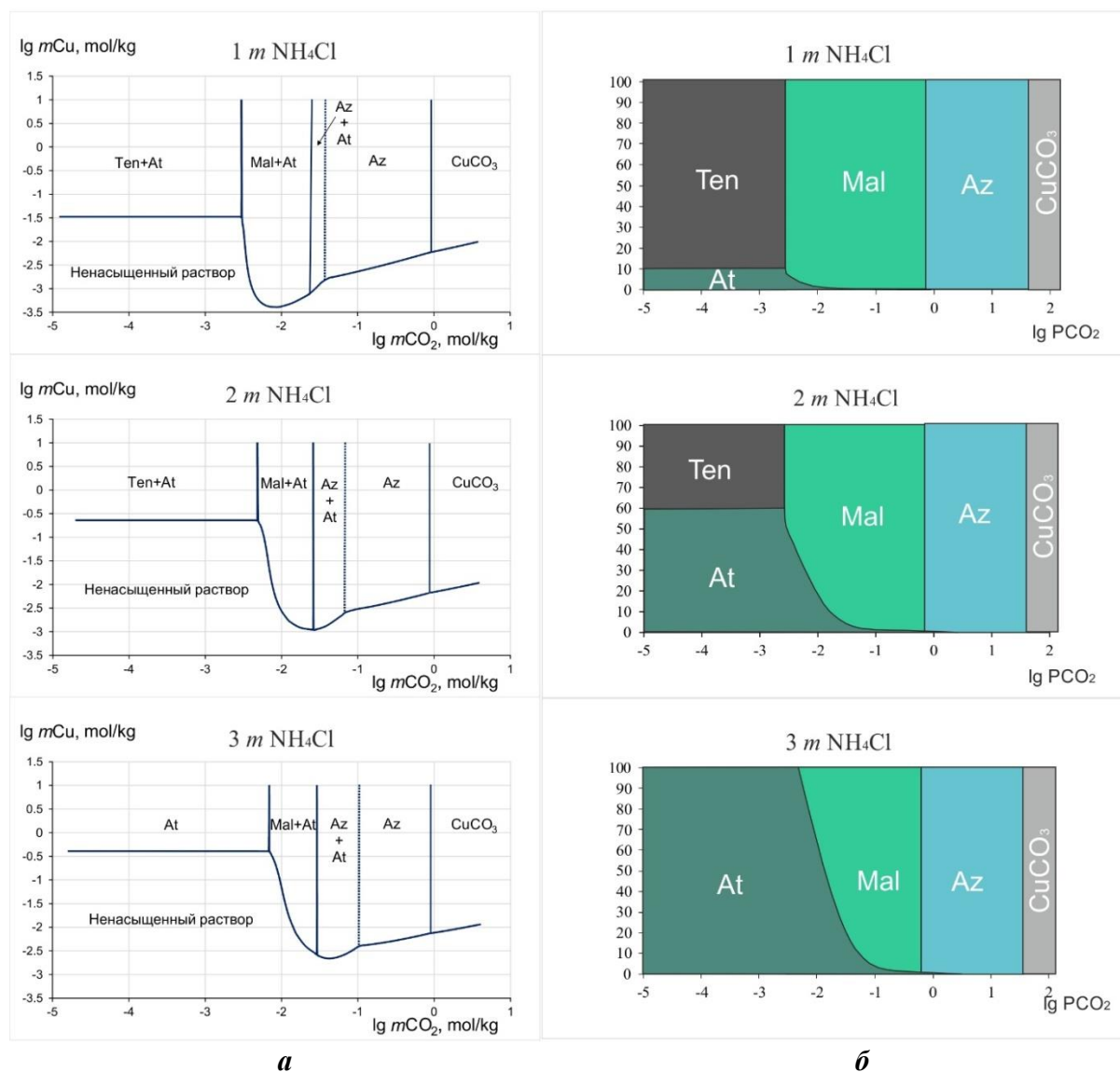
Из более двухсот медьсодержащих минералов промышленное значение имеют только 15, в том числе азурит, атакамит, тенорит и наиболее распространенный минерал в рудах оксида меди малахит. Как видно из рис. 1а, в заданных условиях твердые фазы атакамита, тенорита, малахита, азурита и карбоната меди стабильны и имеют достаточно широкие поля устойчивости, причем атакамит образуется совместно с теноритом, малахитом и азуритом в разных количественных соотношениях, которые изменяются в зависимости от концентрации раствора и общей кислотности в системе (рис. 1б). В растворах 1.0 *m*  $\text{NH}_4\text{Cl}$  с возрастанием парциального давления  $\text{CO}_2$  и, соответственно, уменьшением pH раствора, соотношение количеств атакамита и тенорита не меняется и остается постоянным и равным 10% *At* + 90% *Mal*. С увеличением кислотности раствора содержание атакамита уменьшается: в поле стабильности *At – Mal* с 10 до 0.2%, в поле *At – Az* от 0.2 % до 0. Количественные соотношения твердых фаз, равновесных с раствором 2.0 *m*  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , иные (см. рис. 1б), но характер изменения существенно не меняется, содержание атакамита уменьшается от 60% (*At – Ten*) до 0 (*At – Az*). Повышение концентрации раствора до 3.0 *m*  $\text{NH}_4\text{Cl}$  приводит к тому, что поле устойчивости тенорита исчезает, в заданных термодинамических условиях его полностью замещает атакамит.

В природных условиях в зоне окисления медно-сульфидных месторождений (в отсутствии аммиака) наблюдается процесс замещения атакамита малахитом, нередко до образования полных псевдоморфоз (Урал, Турьинские рудники). Аналогичную закономерность можно видеть из рассчитанных диаграмм равновесия: при понижении концентрации хлорида аммония и повышении парциального давления  $\text{CO}_2$  содержание атакамита в системе уменьшается.

Анализ содержания общего количества меди в равновесных растворах показывает, что содержание ее увеличивается с увеличением концентрации хлорида аммония. Общую концентрацию меди определяет присутствие в растворе комплексов  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_n^{2+}$ , частиц  $\text{CuCO}_3^0$ ,  $\text{CuHCO}_3^+$ ,  $\text{CuCl}_3^-$  и некоторых других. Сложный характер кривой растворимости в области *At – Mal* и *At – Az* связан с изменением их количеств при увеличении мольной доли  $\text{CO}_2$  в растворе, т.е. при смещении в более кислую среду уменьшается содержание в растворе медно-аммиачных комплексов, а карбонатно-бикарбонатных частиц – возрастает.

Сравнение полученных результатов с нашими предыдущими теоретическими расчетами и экспериментальными данными по растворимости малахита в аммиачных растворах, показывает, что равновесные концентрации меди в растворе 2.0 и 3.0 *m*  $\text{NH}_4\text{OH}$  выше, чем в растворах 2.0 и 3.0 *m*  $\text{NH}_4\text{Cl}$  при тех же термобарических условиях. Однако на практике чистая гидроокись аммония практически не применяется, т.к. она медленно растворяет металлическую медь и окись меди. Использование хлорида

аммония дает определенные преимущества перед другими солями аммония, медь и другие цветные металлы образуют комплексы с хлорид-ионами, хорошо растворимые в воде; хлорид является агрессивным ионом, который улучшает кинетику растворения оксидов.



**Рисунок 1.** Диаграммы растворимости (а) и соотношение полей стабильности (б) соединений меди в системе  $\text{CuO} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{NH}_4\text{Cl}$ .  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P = 0.1 \text{ МПа}$ ; концентрация  $\text{NH}_4\text{Cl}$ : 1.0, 2.0 и 3.0 m. *At* – атакамит, *Ten* – тенорит, *Mal* – малахит, *Az* – азурит.

## Выводы

Результаты исследования процессов фазообразования, растворимости меди, изменения состава равновесных растворов с помощью термодинамического моделирования позволяют понимать реакцию системы на изменения, которые возникают при растворении минералов, варьировать условия при разработке конкретного гидрометаллургического процесса, прогнозировать результаты процесса выщелачивания в зависимости от состава исходной руды.

## **Благодарности**

Авторы искренне благодарны к.х.н. Редькину А.Ф. и к.х.н. Плясунову А.В. (ИЭМ РАН) за помощь в проведении термодинамических расчетов.

## **Библиография**

1. Бубликова Т.М., Балицкий В.С., Тимохина И.В. Синтез и основные свойства ювелирно-поделочного малахита. Синтез минералов. Т. 1. Александров, ВНИИСИМС. 2000. 662 с.
2. Liu Wei, Tang Mo-tang, Tang Chao-bo, Ht Jing, Yang Sheng-hai, Yang Jian-guang. Dissolution kinetics of low grade complex copper ore in ammonia-ammonium chloride solution // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2010. V. 20. P. 910 – 917.
3. Nadirov R., Syzdykova L, Zhussupova A. Copper smelter slag treatment by ammonia solution: Leaching process optimization // J. Cent. South Univ. 2017. V. 24. P. 2799 – 2804.
4. Shvarov Yu.V., Bastrakov E. HCh: a Software Package for Geochemical Equilibrium Modeling: User's Guide (AGSO RECORD 1999/y). Canberra: Austr. Geol. Surv. Organisation; Dept. Industry, Science and Resources. 1999. 57 p.
5. Xi Wang, Qiyuan Chen, Huiping Hu, Zhoulun Yin, Zhongliang Xiao. Solubility prediction of malachite in aqueous ammoniacal ammonium chloride solutions at 25 °C // Hydrometallurgy. 2009. V. 99. P. 231 – 237.

*Идентификация глинистых пород методом синхронного термического анализа.  
Будыкина Т.А.\* (ФГБОУ ВО «Академия гражданской защиты (МЧС России),  
tbudykina@yandex.ru), Л.В. Гандурина (ФГБОУ ВО «Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», gand2@yandex.ru)*

## Аннотация

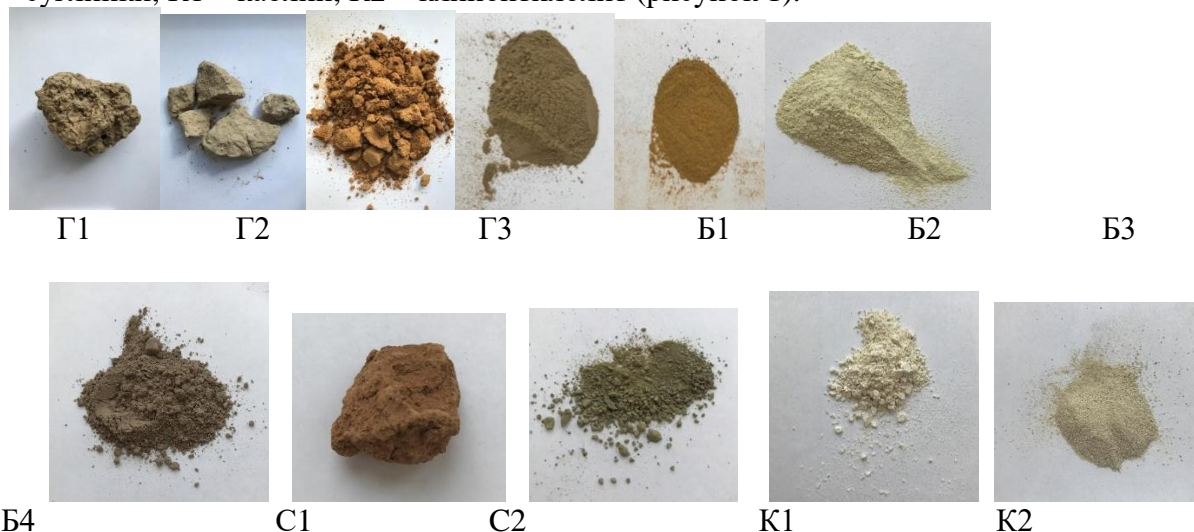
Идентификация глинистых минералов является сложной задачей. В данной статье установлена возможность применения метода синхронного термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы на основе сравнения полученных зависимостей неизвестных глинистых пород и известных минералов. Однако существующее многообразие пород на планете не позволяет однозначно сделать вывод об компонентном минеральном составе неизвестных пород методом синхронного термического анализа. Авторы статьи предлагают использовать кинетические и флокуляционные характеристики разбавленных суспензий глинистых пород для идентификации их минерального состава и установления взаимосвязи с данными термического анализа.

## Ключевые слова

синхронный термический анализ, термогравиметрические кривые, дифференциально-сканирующая калориметрия, бентониты, глины.

## Теория

Объектами исследования являлись 13 образцов природных материалов, отобранных в разных географических точках нашей страны и ближнего зарубежья. Образцам были даны следующие сокращения: Г – глинистые породы, Б – бентониты, С – суглинки, К1 – каолин, К2 – клиноптилолит (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Исследуемые образцы природных материалов:  
Г1-Г5 – глины; Б1-Б4 – бентониты; С1-С2 – суглинки,  
К1-К2 – каолинит и клиноптилолит.

Г1-Г3 – глинистая порода (Московская область); Г4-Г5 – глины (Орловская область); Б1 – бентонит, активированный содой (Курганская область); Б2 – бентонит (Курганская область); Б3 – бентонит (Азербайджан); Б4 – бентонит (г. Тольятти); С1 – суглинок (Московская область); С2 – суглинок (Республика Крым, пос. Орджоникидзе).

Для исследования глинистых пород при температурном воздействии и возможности идентификации состава были проведены эксперименты с использованием метода синхронного термического анализа при нагреве проб до 600 °С, скорости нагрева – 20 °С/мин в атмосфере – воздух.

Для определения предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы сравнивали полученные термогравиметрические кривые неидентифицированных пород с термогравиметрическими кривыми известных пород – бентонитовых глин, суглинков, каолина и клиноптилолита. С помощью программного обеспечения NETZSCH Proteus Thermal Analysis были построены ТГ-кривые (изменение массы образца (%)) от температуры (°С); ДТГ-кривые – первая производная от термогравиметрической кривой, иллюстрирующая скорость уменьшения массы образца во времени (%/мин.); ДСК-кривые – экзо- и эндоэффекты (мВт/мг) от температуры (°С).

В таблице 1 представлены данные обработки ТГ-кривых.

.Образец	Снижение массы, %, в контрольных температурных точках					
	100 °С	200 °С	300 °С	400 °С	500 °С	600 °С
Г1	11	18	26	37	47	52
Г2	8	14	19	25	32	36
Г3	3	6	7	9	11	12
Г4	1	1	2	2	2	3
Г5	1	1	2	2	2	4
Б1	2	6	7	7	9	11
Б2	2	7	8	9	10	11
Б3	3	8	8	8	9	9
Б4	2	5	6	8	10	11
С1	1	2	2	2	3	3
С2	2	4	4	5	6	7
К1	0	0	0	0	1	9
К2	2	7	9	10	11	12

*Таблица 1. Снижение массы образцов в контрольных точках.*

Образцы Г1 и Г2 значительно отличаются по составу от других образцов, что свидетельствует о наличии органической составляющей, которая выгорает по ходу эксперимента; минеральная (глинистая) составляющая в них не превышает 50 %.

Высокие значения убыли массы (9-11%) образцов Б1-Б4, Г3 и К2 при температуре 500 °С свидетельствуют о выделении конституционной воды, находящейся в кристаллической решетке алюмосиликатных минералов слоистой структуры. Каолинитсодержащие образцы Г4, Г5, С1, К1 имеют плотную структуру, характерную для монтморилонитовых глин, и при температуре 500 °С имеют невысокие значения снижения массы (1-3%). Резкая потеря массы для образца К1 с 1 % до 9 % в интервале 500-600 °С определяется, по всей вероятности, разрушением структуры каолинита.

В таблице 2 приведены данные обработки ДТГ-кривых, а в таблице 3 – предполагаемый минеральный состав глинистых образцов, определенный на основе ТГ- и ДТГ- кривых.

Образец	Наличие пиков (максимальной убыли массы) при температуре, °С/значение скорости убыли массы, %/мин			
	0-100 °С	100-200 °С	200-400 °С	400 -600 °С
Г1	56 / -3	-	302 / -3	-
			322 / -3	
Г2	64 / -2,1	-	291 / -1,3	479 / -1
Г3	70 / -1	-	274 / -0,4	479 / -1
Г4	52 / -0,2	-	236 / -0,1	475 / -0,1
	89 / -0,2			
Г5	59 / -0,2	-		519 / -0,2
	72 / -0,2			547 / -0,2
Б1	-	133 / -2,0	280 / -0,1	509 / -0,7
Б2	-	135 / -1,7	313 / -0,3	511 / -0,6
Б3	-	128 / -2,3	-	542 / -0,2
Б4	-	103 / -0,9	285 / -0,4	501 / -0,5
		143 / -1,0		
С1	30 / -0,2	-	-	517 / -0,2
	88 / -0,2			
С2	-	104 / -0,7	-	524 / -0,4
		155 / -0,8		
К1	-	-	-	551 / -2
К2	-	116 / -1	-	505 / -0

Таблица 2. ДТГ образцов.

Образец	Вероятный компонент по данным	
	ТГ-кривой	ДТГ-кривой
Г1	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г2	Гумусовые вещества	Гумусовые вещества
Г3	Монтмориллонит	Монтмориллонит
Г4	Каолинит	Каолинит
Г5	Каолинит	Каолинит
Б1	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит + клиноптилолит
Б2	Клиноптилолит	Монтмориллонит
Б3	Монтмориллонит, натриевая форма	Монтмориллонит
Б4	-	Монтмориллонит
С1	Каолинит	Каолинит
С2	Монтмориллонит	Монтмориллонит + клиноптилолит
К1	Каолинит	Каолинит
К2	Клиноптилолит	Клиноптилолит



**Таблица 3. Идентификация минерального состава образцов глинистой породы по данным термического анализа**

Из таблиц следует, что в некоторых случаях данные ДТГ-анализа дополняют и уточняют компонентный состав на основе ТГ-кривых, а также позволяют идентифицировать второй минеральный компонент глинистых минералов (например, для образцов Б1 и С2).

### **Выводы**

Метод синхронного термического анализа позволяет выявить характерные особенности поведения пробы при температурном воздействии. Установлена возможность применения метода термического анализа для выявления предположительного компонентного минерального состава исследуемой породы на основе сравнения полученных зависимостей неизвестных глинистых пород и известных минералов, каолинита, монтмориллонита и клиноптилолита. Однако, существующее многообразие пород на планете не позволяет однозначно сделать вывод о их компонентном минеральном составе. Например, при анализе кривых ДСК выявлено, что практически идентичных кривых ДСК нет, что приводит к заключению о необходимости всестороннего исследования образцов другими методами, дополняющими термический анализ – рентгеновской дифракцией [1], аналитическими методами [2, 3], с применением сканирующей электронной микроскопии [4], рентгенофлуоресцентной спектроскопии [5].

Авторы статьи предлагают использовать кинетические и флокуляционные характеристики разбавленных суспензий глинистых пород для идентификации их минерального состава и установления взаимосвязи с данными термического анализа.

### **Библиография**

1. Белоусов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2015. № 4. С. 94-101.
2. Будыкина Т.А., Попов В.М. О возможности использования глины и отходов производства для очистки сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. 2001. № 10. С. 35-36.
3. Афолина А.П., Бурькина О.В., Разиньков Д.Ю. Количественное определение состава глины. В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии - 2021. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2021. С. 10-13.
4. Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю. Минералогия интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022;64(2):47—56. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56>.
5. Боева Н. М., Бочарникова Ю. И., Жухлистова А. П. Синхронный термический анализ – экспресс-метод оценки качества кислотной активации бентонитов // Геохимия, 2018, № 9, с. 923–928 DOI: 10.1134/S0016752518090030.

**Кристаллохимическая роль двухвалентного железа в кристаллической структуре нефелина из Ловозерского щелочного массива. Вайтиева Ю.А. \* (ЦНМ КНЦ РАН (г. Анапты), [yulia.vaitieva@yandex.ru](mailto:yulia.vaitieva@yandex.ru)), Аксёнов С.М. (ЦНМ КНЦ РАН (г. Анапты), [aks.crys@gmail.com](mailto:aks.crys@gmail.com)), Михайлова Ю.А. (ГИ КНЦ РАН (г. Анапты), [mikhailova@geoksc.apatity.ru](mailto:mikhailova@geoksc.apatity.ru)), Пахомовский Я.А. (ГИ КНЦ РАН (г. Анапты))**

## Аннотация

Нефелин  $\text{Na}_3\text{K}[\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}]$  является основным породообразующим минералом щелочных магматических пород и связанных с ними пегматитов (например, Ловозерский и Хибинский массивы, Кольский полуостров, Россия). Обычно природные нефелины содержат в своем составе разнообразные примеси, в том числе атомы железа [5,6,12], которое присутствует, преимущественно, в виде  $\text{Fe}^{3+}$ , замещая  $\text{Al}^{3+}$  в тетраэдрических позициях. Однако, согласно данным «мокрой» химии, в нефелине из различных пород Ловозерского щелочного массива, помимо трехвалентного железа, постоянно присутствует и двухвалентное железо [2]. Целью нашей работы [9] было детальное изучение особенностей химического состава нефелина и анализ распределения двух- и трехвалентного железа по позициям его кристаллической структуре.

## Ключевые слова

Нефелин, Ловозерский щелочной массив, тетраэдрический каркас, трехвалентное железо, двухвалентное железо

## Экспериментальная часть

Для наших исследований были выбраны два образца уррита (LV-00-16 и LV-335E) из расслоенного комплекса Ловозерского массива [9], в которых содержание нефелина в обоих образцах составляет 75-80 об.%. Согласно данным микронзондового анализа, химический состав нефелина из образца LV-00-16 ( $\text{SiO}_2$  42.88,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  31.99,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1.11,  $\text{Na}_2\text{O}$  15.69,  $\text{K}_2\text{O}$  6.63 сумма 98.30 мас.%) соответствует формуле  $\text{Na}_{2.99}\text{K}_{0.83}\text{Al}_{3.70}\text{Fe}^{3+}_{0.08}\text{Si}_{4.21}\text{O}_{16}$  (O=16). При этом по данным «мокрой» химии изученный нефелин содержит 0.66 мас.%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 0.26 мас.%  $\text{FeO}$ , поэтому его формулу следует детализировать в виде  $\text{Na}_{3.00}\text{K}_{0.84}\text{Al}_{3.72}\text{Fe}^{3+}_{0.05}\text{Fe}^{2+}_{0.03}\text{Si}_{4.21}\text{O}_{16}$  (O=16). Состав нефелина из образца LV-335E ( $\text{SiO}_2$  42.51,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  32.73,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.09,  $\text{Na}_2\text{O}$  15.21,  $\text{K}_2\text{O}$  7.34 сумма 97.88 мас.%) соответствует формуле  $\text{Na}_{2.81}\text{K}_{0.92}\text{Al}_{3.80}\text{Fe}^{3+}_{0.01}\text{Si}_{4.19}\text{O}_{16}$  (O=16), а присутствие в химическом составе двухвалентного железа зафиксировано не было.

Рентгеноструктурные исследования выполнены с использованием монокристалльного дифрактометра Rigaku XtaLAB Synergy-S (MoK $\alpha$ -излучение). Параметры гексагональных ячеек (пространственная группа  $P6_3$ ):  $a = 9.9965(7)$  Å,  $c = 8.3796(17)$  Å,  $V = 725.19(16)$  Å<sup>3</sup> для образца LV-00-16 и  $a = 10.0020(3)$  Å,  $c = 8.3831(2)$  Å,  $V = 726.29(4)$  Å<sup>3</sup> для образца LV-335E. Кристаллические структуры уточнены до итоговых значений  $R$ -факторов равным 0.0191 (для образца LV-00-16) и 0.0266 (LV-335) в анизотропном приближении атомных смещений с использованием программы Jana2006.

Кристаллическая структура нефелина характеризуется тетраэдрическим каркасом с топологией высокотемпературного  $\beta$ -тридимита, в котором имеется два типа широких каналов, идущих вдоль [001] и заполненных внекаркасными  $A$ - и  $B$ -катионами. Общая формула нефелина может быть записана в виде ( $Z = 2$ ):

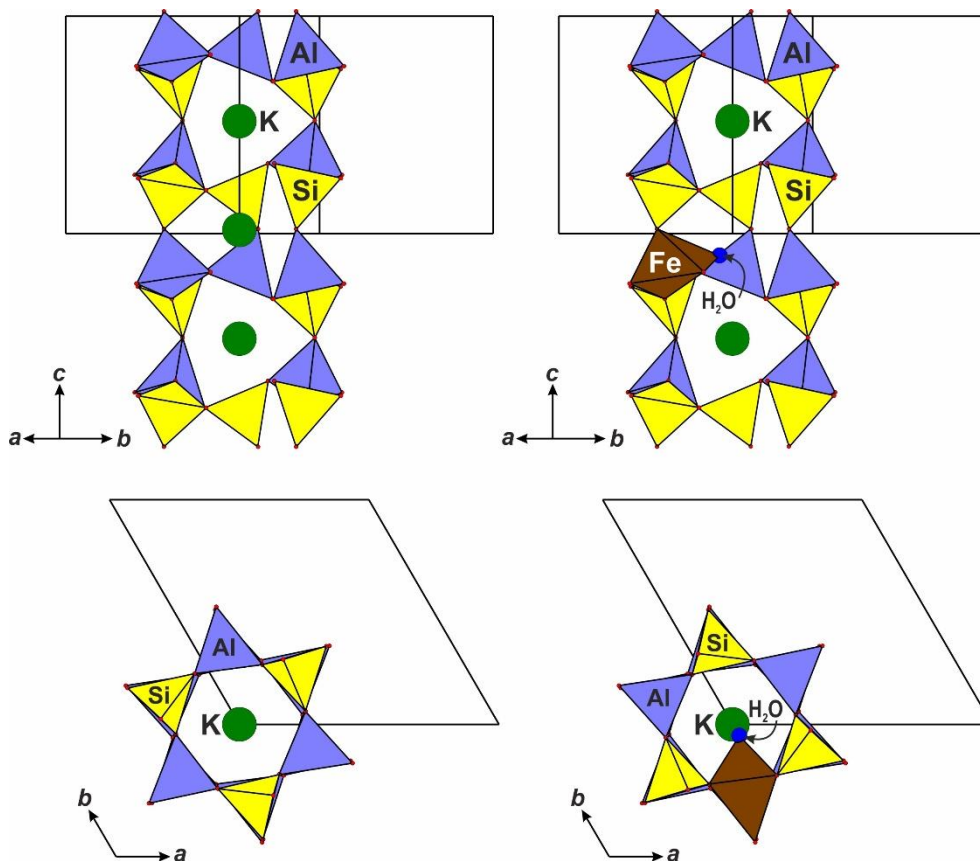
$[AB_3][T_1T_2T_3T_4O_{16}]$ , где квадратными скобками обозначены тетраэдрические позиции каркаса, а прямыми – внекаркасные катионы. При этом, *A*- катионы располагаются в каналах, характеризующихся правильным шестиугольным сечением, в то время как *B*-катионы располагаются в каналах с овальным шестиугольным сечением. Несмотря на то, что идеальный тетраэдрический каркас тридимитового типа (аристотип) характеризуется высокосимметричной пространственной группой  $R\bar{6}_3/mmc$ , различные типы упорядочения катионов (как в тетраэдрических, так и во внекаркасных позициях) приводят к понижению симметрии до пространственной группы  $R\bar{6}_3$ . Кристаллические структуры изученных образцов в целом близки к ранее изученным [6], а их уточненные по данным рентгеноструктурного анализа кристаллохимические формулы имеют вид ( $Z = 2$ ):  ${}^A(K_{0.72}Na_{2.898}){}^B(Na_{2.898})[Fe_{0.08}Al_{3.538}Si_{4.382}O_{16}]$  (LV-00-16) и  ${}^A(K_{0.842}){}^B(Na_{2.868})[Al_{3.797}Si_{4.203}O_{16}]$  (LV-335E). Распределение Si и Al по тетраэдрическим позициям выполнено с использованием следующего соотношения [8]:  $y = 6.3481x - 10.178$ , где  $y$  – содержание Al в тетраэдрической позиции, а  $x$  – среднее расстояние в  $TO_4$ -тетраэдре.

Распределение катионов по каркасным тетраэдрическим позициям и внекаркасным позициям в широких каналах структурного типа нефелина в изученных образцах в целом близки к таковым в ранее изученных образцах (например, [13]). В кристаллической структуре нефелина образца LV-00-16 средние расстояния катион–анион в  $TO_4$ -тетраэдрах колеблются в пределах 1.617–1.727 Å. При этом,  $T1O_4$ - и  $T4O_4$ -тетраэдры со средними расстояниями 1.721 Å и 1.727 Å, соответственно, заселены, преимущественно, атомами алюминия с примесью кремния и железа, в то время как  $T2O_4$ - и  $T3O_4$ -тетраэдры (со средними расстояниями 1.618 Å и 1.617 Å, соответственно) заселены атомами кремния с примесью алюминия. Внекаркасные *A*- и *B*-позиции характеризуются расстояниями  $\langle A-O \rangle = 3.011$  Å и  $\langle B-O \rangle = 2.620$  и заселены атомами калия (0.72 атома на формулу) и натрия (2.898 а.ф.), соответственно. В кристаллической структуре нефелина образца LV-335E средние расстояния катион–анион в  $TO_4$ -тетраэдрах колеблются в пределах 1.621–1.730 Å. Аналогично,  $T1O_4$ - и  $T4O_4$ -тетраэдры со средними расстояниями 1.701 Å и 1.730 Å, заселены атомами алюминия с примесью кремния, в то время как  $T2O_4$ - и  $T3O_4$ -тетраэдры (со средними расстояниями 1.621 Å и 1.637 Å) заселены атомами кремния с примесью алюминия. Внекаркасные *A*- и *B*-позиции характеризуются расстояниями  $\langle A-O \rangle = 3.007$  Å и  $\langle B-O \rangle = 2.624$  и заселены атомами калия (0.842 а.ф.) и натрия (2.868 а.ф.), соответственно. Такое распределение катионов хорошо согласуется с данными химического состава, а также рассеивающей способностью позиций, что подтверждается соотношением значений  $e_{calc}$  и  $e_{ref}$  [9].

Присутствие трехвалентного железа в нефелине из щелочных пород Ловозерского массива не является чем-то необычным, а его содержание колеблется от 0.05 до 0.1 мас.%  $Fe_2O_3$  [4,10]. В отличие от трехвалентного железа, которое изоморфно замещает алюминий в кристаллических структурах полевых шпатов и фельдшпатоидов (например, в минерале феррисанидине –  $K[Fe^{3+}Si_3O_8]$ ), распределение и кристаллохимическая роль двухвалентного железа в природных и синтетических алюмосиликатах и алюмосиликатных стеклах остается под вопросом. Это связано, в первую очередь, с большим ионным радиусом, а также различными координационными числами (4 – тетраэдр, 5 – пятивершинник и 6 – октаэдр) [7,11], что делает кристаллохимически затруднительным вхождение катионов  $Fe^{2+}$  в тетраэдрические позиции.

Возможная кристаллохимическая схема вхождения катионов  $Fe^{2+}$  и  $Ti^{4+}$  в тетраэдрические позиции каркасных алюмосиликатов с использованием концепции «блочного изоморфизма» была недавно предложена на примере природных и

синтетических поллуцитов [1]. Так, в кристаллических структурах железистого аналога поллуцита и синтетического  $\text{Cs}[\text{TiSi}_2\text{O}_{6.5}]$  вхождение катионов обусловлено образованием точечных дефектов типа  $[\text{M}^{q+}\text{O}_4(\text{H}_2\text{O})_n]$  ( $n = 1, 2$ ) за счет вхождения дополнительных молекул воды. Благодаря тому, что нефелины характеризуются наличием молекул воды (что подтверждается данными ИК-спектроскопии [3]), описанную выше схему можно предложить и для описания вхождения катионов  $\text{Fe}^{2+}$  в кристаллическую структуру нефелина (Рис. 1). В таком случае дополнительные молекулы воды должны располагаться в канале с правильным шестиугольным сечением, что создает соответствующие предпосылки к увеличению координационного числа T4-позиции с 4 до 5 (или 6) [9].



**Рисунок 1.** Гипотетическая модель внедрения двухвалентного железа в кристаллическую структуру нефелина за счет увеличения координационного числа T4-позиции с помощью «дополнительных» молекул воды, замещающих атомы калия в A-позиции.

## Выводы

Таким образом, согласно предложенной кристаллохимической модели железо может входить в структуру нефелина как в трех-, так и в двухвалентной форме. Трехвалентное железо замещает алюминий в тетраэдрических позициях. Вхождение двухвалентного железа в кристаллическую структуру нефелина связано с одновременным увеличением координационного числа от четырех до пяти (или шести) за счет включения «дополнительной» молекулы воды. В результате образуются точечные  $[\text{FeO}_4(\text{H}_2\text{O})_n]$ -дефекты (где  $n = 1, 2$ ) в тетраэдрическом каркасе.

Мы предполагаем, что двухвалентное железо, входящее в структуру нефелина, может окисляться, например в соответствии со схемой  $\text{Fe}^{2+} + \text{OH}^- = \text{Fe}^{3+} + \text{O}^{2-} + 0.5\text{H}_2$ , благодаря чему зерна нефелина иногда приобретают красноватую окраску.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 21-47-09010.

## Библиография

1. Бакакин В.В. Квазиполлуциты, их смешанные каркасы, блочный изоморфизм и сверхструктуры // Кристаллография, 54, 2009, стр. 810 – 816.
2. Буссен И.В., Сахаров А.С., Успенская Е.И. Породообразующий нефелин Ловозерского массива. В кн. Геохимия, петрология и минералогия щелочных пород. Москва: Наука, 1971, стр. 184 – 200.
3. Beran A. UR-Spektroskopischer Nachweis von H<sub>2</sub>O in Nephelin // Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen, 21, 1974, p. 299 – 304.
4. Blancher S.B., D'Arco P., Fontelles M., Pascal M.-L. Evolution of nepheline from mafic to highly differentiated members of the alkaline series: the Messum complex, Namibia // Mineralogical Magazine, 74, 2010, p. 415 – 432.
5. Edgar A.D. Chemistry, occurrence and paragenesis of feldspathoids: a review. In Feldspars and Feldspathoids (Ed.: Brown, W.L.). Springer, Dordrecht, 137, 1984, p. 501 – 532.
6. Henderson C.M.B. Nepheline solid solution compositions: stoichiometry revisited, reviewed, clarified and rationalised // Mineralogical Magazine, 83, 2020, p. 813 – 838.
7. Jackson W.E., Farges F., Yeager M., Mabrouk P.A., Rossano S., Waychunas G.A., Solomon E.I., Brown G.E. Multi-spectroscopic study of Fe(II) in silicate glasses: implications for the coordination environment of Fe(II) in silicate melts // Geochimica et Cosmochimica Acta, 69, 2005, 4315 – 4332.
8. Jones J.B. Al–O and Si–O tetrahedral distances in aluminosilicate framework structures // Acta Crystallographica B, 24, 1968, p. 355 – 358.
9. Mikhailova J.S., Aksenov S.M., Pakhomovsky Y.A., Moine B.N., Dusseaux C., Vaitieva Yu.A., Voronin M.V. Iron in nepheline: crystal chemical features and petrological applications // Minerals, 12, 2022, p. 1257.
10. Mitchell R.H., Platt R.G. Mineralogy and petrology of nepheline syenites from the Coldwell alkaline complex, Ontario, Canada // Journal of Petrology, 23, 1982, p. 186 – 214.
11. Mysen B.O. The structural behavior of ferric and ferrous iron in aluminosilicate glass near meta-aluminosilicate joins // Geochimica et Cosmochimica Acta, 70, 2006, p. 2337 – 2353.
12. Onuma K., Iwai T., Yagi K. Nepheline-"iron nepheline" solid solutions // Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 4, Geology and mineralogy, 15, 1984, p. 179 – 190.
13. Tait K.T., Sokolova E.V., Hawthorne F.C., Khomyakov A.P. The crystal chemistry of nepheline // Canadian Mineralogist, 41, 2003, p. 61 – 70.

*Минеральные ядра брахиопод *Estonirhynchia Estonica* из венлокских отложений острова Сааремаа (Эстония). Волкова Е.А.\* (ФГБОУ ВО «Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», 2 курс, [Eavolkovaea@yandex.ru](mailto:Eavolkovaea@yandex.ru)), Качалина М.Д. (ФГБОУ ВО «Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», 2 курс, [kachalina.mariya@gmail.com](mailto:kachalina.mariya@gmail.com)), Научный руководитель: к.г.-м.н., доцент Комаров В. Н., ФГБОУ ВО «РГГУ имени Серго Орджоникидзе»*

#### Аннотация

В работе представлен обзор образцов брахиопод *Estonirhynchia Estonica* из венлокских отложений острова Сааремаа, подвергшихся минерализации. Описывается состав их минерализованных ядер. Описывается механизм образования минерализации в ядрах и предположительный его генезис.

#### Ключевые слова

Брахиоподы, пирит, кварц, кальцит, минерализация

#### Теория

Материалом для данного исследования послужила коллекция венлокских ринхонеллид *Estonirhynchia estonica* Н. Schmidt, 1954 (определение И.А. Гречишниковой), насчитывающая 246 экземпляров и находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро в Эстонии в клифе Парамайя (Paramaja cliff). В подавляющем большинстве брахиоподы представлены целыми раковинами хорошей сохранности.

Клиф Парамайя расположен на восточном окончании северного побережья острова Сааремаа в 1 км западнее церкви Яани (рис. 1). Здесь в невысоком (2–2,5 м) береговом обрыве обнажаются глинистые известняки верхней части региояруса яани. Это обнажение и близлежащие разрозненные выходы коренных пород (“берег Яани”) являются стратотипом региояруса яани и слоёв парамайя (рис. 2) [5].

Изученные нами ринхонеллиды рода *Estonirhynchia* относятся к подсемейству Sphaerirhynchiinae. Вид *Estonirhynchia estonica* был выделен в [Schmidt]. Вид *Estonirhynchia estonica* является эндемиком и известен в интервале от региояруса адавере до региояруса паадла включительно (лландовери–лудлов) острова Сааремаа (Эстония).

Детальное изучение имеющейся коллекции *Estonirhynchia estonica* визуально и с помощью микроскопа позволило познакомиться с минералогическими особенностями данного материала. Внутри 13 раковин была обнаружена минерализация. Кроме того, на поверхности 39 раковин выявлены перфорации, часто содержащие пирит.

Брахиоподы являются ярким примером организмов, первичная полость внутри раковины которых, образовавшаяся в процессе уничтожения мягкого тела, заполняется благодаря намывным движениям воды текучим рыхлым осадком на дне акватории, или уже в толще осадке. Чужеродный материал попадает внутрь раковины через форамен и щель между створками. В результате этого процесса образуются внутренние ядра [6].

**Кварц.** Низкотемпературный осадочный кварц ( $\text{SiO}_2$ ) кристаллизуется в пустотах и трещинах при процессах цементации. Причиной цементации кварца может служить миграция углеводородов. Ее результатом становится выпадение в осадок пирита, вследствие чего происходит подкисление среды и последующая

кристаллизация кварца; при этом глобулы пирита оказываются заключены внутри мелких кристаллов кварца. Если осадок по тем или иным причинам не может проникнуть в полость раковины брахиоподы, то она на последующих стадиях фоссилизации обычно полностью или частично выполняется тем или иным вторичным минеральным веществом, выпадающим, как уже было отмечено, из циркулирующих в породе минералосодержащих растворов. В ходе этого процесса возникают так называемые “минеральные ядра”. Именно их, частично выполненных кварцем, мы и наблюдали. Размеры изученных кристаллов кварца варьируют от 0,01 до 1,0 мм, но обычно составляет 0,1–0,6 мм.

Кристаллы кварца (рис. 5) обычно находятся на небольшом расстоянии, иногда тесно прилегают друг к другу, образуя агрегаты различного размера. В ряде случаев наблюдались одиночные, различно ориентированные хорошо огранённые индивиды.

**Кальцит** ( $\text{CaCO}_3$ ) (от лат. *calcis* – известь), известковый шпат, минерал класса природных карбонатов.

Цементация, происходящая в результате выпадения кальцита из поровых растворов в осадке или породе, приводит к формированию как агрегатов, так и монокристаллов.

Размер изученных кристаллов яснокристаллического кальцита варьирует от 0,4 до 4,0 мм, но обычно составляет 0,8–2,2 мм. Нами наблюдались агрегаты кальцита (рис. 4), сложенные идиоморфными хорошо огранёнными индивидами различной формы.

Нами выявлен кальцит двух генераций. Более ранний кальцит полностью или частично образует “минеральные ядра”. Поздний кальцит выполняет многочисленные разноориентированные прожилки, которые секут как раковины, так и “минеральные ядра”.

Изученный кальцит сформировался при процессах цементации, и может быть приурочен как к поздним стадиям диагенеза, так и к эпигенезу.

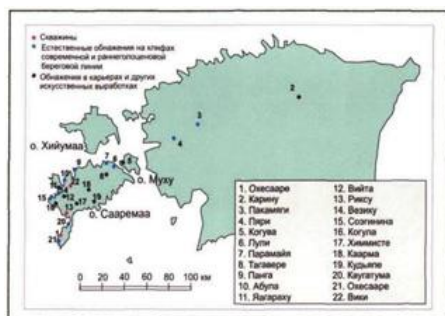
**Пирит** ( $\text{FeS}_2$ ) – это основной аутигенный железистый минерал карбонатных отложений. Пирит на раковинах брахиопод (рис. 6) был нами определён визуально.

В исследованных образцах наблюдался один морфологический тип пирита, представленный отдельными идиоморфными хорошо огранёнными кубическими и октаэдрическими индивидами и яснокристаллическими агрегатами [3, 4].

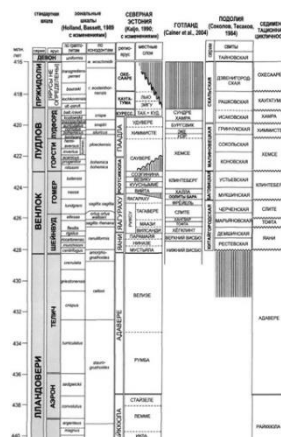
Размер изученных монокристаллов обычно варьирует от 0,1 до 1,0 мм, но, как правило, составляет 0,1–0,2 мм.

Образование пирита во вмещающих породах, по всей видимости, связано с его медленной кристаллизацией при взаимодействии водных растворов, содержащих железо, с сероводородом в процессе позднего диагенеза [2].

Процесс разложения пирита происходил в окислительных близповерхностных условиях и на воздухе. В этой обстановке пирит неустойчив и легко подвергается процессам химического выветривания и окислению с образованием сульфата закиси железа, который при наличии свободного кислорода легко переходит в сульфат окиси железа. Последний, гидролизуясь, разлагается на переходящую в раствор свободную серную кислоту и нерастворимую гидроокись железа – лимонит, который представляет собой конечный продукт химического разложения пирита.



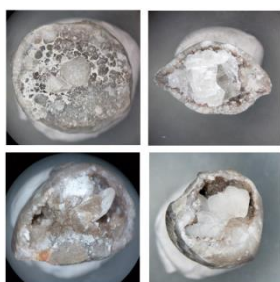
**Рисунок 2.** Схема расположения опорных разрезов силура в северной части Балтийско–Приднестровского бассейна [8].



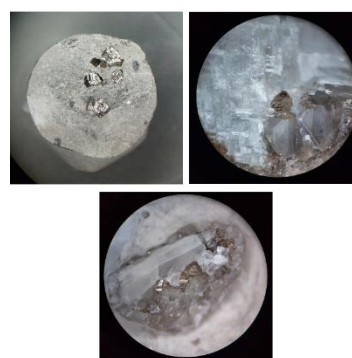
**Рисунок 3.** Региональные хроностратиграфические подразделения силура [6]



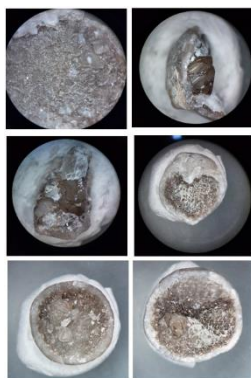
**Рисунок 4.** Брахиоподы *Estonirhynchia estonica* H. Schmidt, 1954 из изученной коллекции. Силурийская система, венлокский отдел, шейнвудский ярус, региоярус яани, слои парамайя. Длина масштабной линейки 2 см. Фото В.Н. Комарова



**Рисунок 5.** Кристаллы кальцита в раковинах брахиопод. Фото Волковой Е. А.



**Рисунок 6.** Кристаллы пирита в раковинах брахиопод. Фото Волковой Е. А.



**Рисунок 7.** Кристаллы кварца в раковинах брахиопод. Фото Волковой Е. А.



## Выводы

На основании изученных материалов можно сделать вывод о протекании диагенетических процессов на территории клифа Парамайя.

Изученные кальцит и кварц сформировались при процессах цементации, при этом образование кальцита может быть приурочен как к поздним стадиям диагенеза, так и к эпигенезу. Образование пирита, вероятно, связано с его медленной кристаллизацией при взаимодействии водных растворов в процессе позднего диагенеза.

Важно также отметить, что кристаллизация кварца произошла вследствие кристаллизации пирита, о чем говорят заключенные глобулы пирита в кристаллах кварца.

## Библиография

1. Нестор Х.Э., Эйнасто Р.Э. Фациально–седиментологическая модель силурийского Палеобалтийского бассейна // Фации и фауна силура Прибалтики. Таллин. Валгус. 1977. С. 89–121.
2. Прохоров В.Г. Пирит (к геохимии, минералогии, экономике и промышленному использованию)//Тр.СНИИГИМС. Вып.102 Красноярск:Красноярское кн.изд-во,1970.С.90–169.
3. Седаева К.М., Майорова Т.П., Светов С.А., Устюгова К.С. От минералогии до геохимии (на примере пирита породных комплексов Горного Крыма) // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. Вып. 2 (19). С. 40–55.
4. Седаева К.М., Майорова Т.П., Устюгова К.С., Светов С.А., Филиппов В.Н. Пирит осадочных и магматических комплексов Горного Крыма и его минералого–геохимическая характеристика // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. 2013. № 5. С. 45–56.
5. Силур Эстонии //Под ред. Кальо Д.Л. Валгус. 1970. 344 с.
6. Соколов Б.С., Тесаков Ю.И. Популяционный биоценотический и биостратиграфический анализ табулят. Подольская модель. Новосибирск, Наука, 1984,198 с.
7. Чехович П.А. Карбонатные платформы в ордовикско–силурийских окраинных и эпиконтинентальных бассейнах Северной Евразии. Седиментологические и тектонические аспекты эволюции. Диссертация на соискание учёной степени доктора геолого–минералогических наук. Рукопись. М.: МГУ. 2007. 250 с.
8. Schmidt H. Sphaerirhynchia (Estonirhynchia) estonica n. subgen. n. sp. // *Senckenbergiana Lethaea*. 1954. № 35(3/4). S. 235–245.

*Перекалибровка уравнения Moore с соавторами (1998) для расчёта предела насыщения расплава водой Гнучев Я.Ю.\*(МГУ, gnuchevyakov@mail.ru), Бычков Д.А. (МГУ, dmibychkov@gmail.com), Контев-Дворников Е.В. (МГУ, ekoptevmail@gmail.com)*

## **Аннотация**

На основании литературных источников сформирована выборка экспериментальных данных, содержащая результаты 394 закалочных опытов, характеризующих насыщенное содержание воды в широком диапазоне интенсивных параметров силикатных систем.

Анализ основных опубликованных типов моделей растворимости воды в силикатном расплаве показал, что уравнение Gordon Moore с соавторами (Moore et al., 1998) наилучшим образом описывает экспериментальные результаты.

Перекалиброванное уравнение Moore с использованием расширенной экспериментальной выборки позволяет с неопределенностью, не превышающей  $\pm 0.01$  мольной доли, либо  $\pm 0.2$  мас. % предсказывать насыщенные содержания воды в силикатных расплавах в диапазонах: составов расплавов от базальтов до риолитов; давления от атмосферного до 15 кбар; температур от 550 до 1300 °С.

## **Ключевые слова**

Модель растворимости воды, выборка водонасыщенных экспериментов, силикатный расплав

Нами разработаны системы уравнений композитометров (уравнений для расчета составов минералов в равновесии с расплавом при определенных интенсивных параметрах), в которых в качестве переменных используются экспериментальные данные, а именно: температура, давление, химический состав системы, фугитивность кислорода (Арьяева и др., 2016). Однако эти композитометры получены путем статистической обработки результатов безводных экспериментов, в то время как подавляющее большинство природных магм и лав в большей или меньшей мере являются водосодержащими.

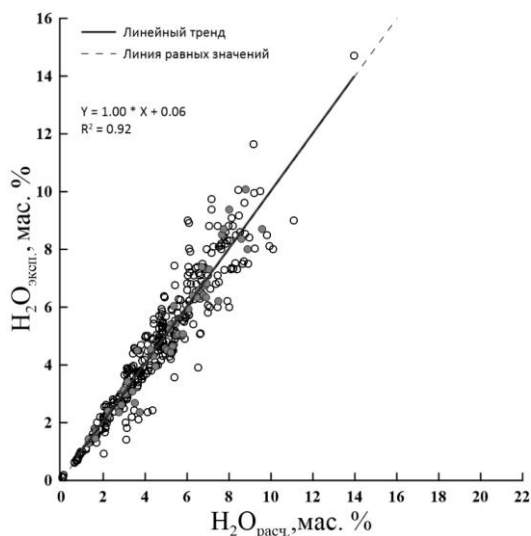
Исследователями выполнено большое количество экспериментов с участием как чисто водных, так и сложных по составу флюидов. В данной работе мы ограничились анализом взаимодействия силикатного расплава с водным флюидом.

При создании представительной выборки выяснилось, что только для 20% экспериментов, охарактеризованных авторами как водонасыщенных, приводится концентрация воды в расплаве (Ariskin et al., 1996), что исключает из статистической обработки существенную часть данных. С другой стороны, необходимо знать тот предел содержания воды в расплаве, выше которого вода образует самостоятельную паровую фазу. Выходом из этой ситуации является разработка уравнения, позволяющего рассчитывать насыщенную концентрацию воды в расплаве.

В литературе уже предложен ряд уравнений (Альмеев, Арискин, 1996; Liu et al., 2005; Moore et al., 1998; Papale et al., 2006; Shishkina et al., 2010; Zhang et al., 2007), однако они дают разные значения насыщенного содержания воды при одинаковых условиях. Цель исследования состояла в получении уравнения, которое наилучшим образом воспроизводит доступные экспериментальные данные. Такое уравнение может быть получено либо выбором из уже предложенных ранее моделей растворимости воды, либо путем разработки оригинального уравнения.

Большинство авторов выводили свои уравнения на основе ограниченного количества результатов оригинальных водосодержащих экспериментов. Поэтому имеет смысл собрать выборку большого объема экспериментальных данных и на ее основе проверить эти уравнения. При анализе литературы обнаружено 33 работы с приведенным содержанием растворенной воды в водонасыщенном расплаве, всего 412 экспериментов. Критериями отбора экспериментов в выборку являлись наличие информации о равновесии расплава известного состава с флюидной фазой, не содержащей иных компонентов кроме воды, температуре и давлении.

Сравнение результатов расчета по разным моделям с экспериментальными данными из нашей выборки показал, что наилучшим образом экспериментальные значения воспроизводятся уравнением Gordon Moore с соавторами (Moore et al., 1998), о чем свидетельствует максимальное значение коэффициента детерминации, близость углового коэффициента в уравнении регрессии к единице, а свободного члена – к нулю (рис 1).



**Рисунок 1.** Сравнение результатов расчета растворимости по модели Gordon Moore с соавторами (Moore et al., 1998) с экспериментальными данными (412 экспериментов в выборке), где залитые кружки – эксперименты, использованные авторами для калибровки уравнения, открытые – остальные эксперименты из нашей выборки.

Вместе с тем это уравнение было получено на небольшой экспериментальной выборке (41 эксперимент), поэтому спустя 25 лет мы перекалибровали это уравнения на большем количестве экспериментов из нашей выборки.

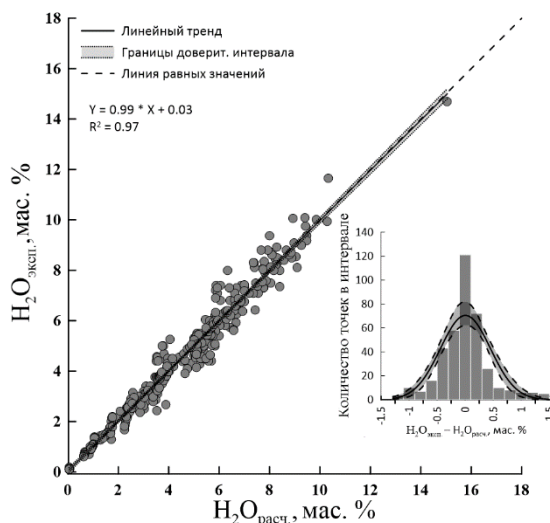
Перекалибровка заключалась в подборе таких значений констант, которые при подстановке в уравнение оптимальным образом воспроизводили бы экспериментальные данные.

Уравнение, предложенное Мооре с соавторами, было преобразовано из линейного относительно логарифма концентрации к показательному относительно собственно концентрации для прямой оптимизацией разницы между экспериментальной и расчетной концентрациями, а не их логарифмов (1). Такое преобразование делает невозможным использование аппарата многомерной линейной регрессии, поэтому для оптимизации мы применили надстройку «Поиск решения» в MS Excel, выбрав в качестве метода решения опцию «Поиск решения нелинейных задач методом ОПП».

$$C_{H_2O}^{melt} = \exp \left( \frac{a}{T} + \sum b_i C_i \left( \frac{P}{T} \right) + c \ln f_{H_2O}^{fluid} + d \right), \quad (1)$$

где  $C_{H_2O}^{melt}$  – насыщенное содержание воды в массовых процентах;  $T$  – температура в градусах кельвина;  $X_i$  – выражены в виде массовых процентов, выбранных оксидов в однокационной форме, пересчитанных на безводную основу;  $P$  – давление в барах;  $f_{H_2O}^{fluid}$  – фугитивность воды во флюиде в барах (в случае чисто водного флюида равна общему давлению);  $a$ ,  $b_i$ ,  $c$  – коэффициенты при соответствующих переменных;  $d$  – константа.

Результаты оптимизации уравнения с аргументами в виде массовых процентов FeO, CaO, Na<sub>2</sub>O показаны на рисунке 2 и в таблице 1.



**Рисунок 2.** Результат оптимизации показательного уравнения вида (1); пунктирная линия – доверительная область на 95% уровне значимости, 394 эксперимента в выборке.

**Таблица 1.** Параметры уравнения (1), полученные в результате оптимизации данных на выборке из 394 экспериментов

$a$	$b_{CaO}$	$b_{FeO}$	$b_{Na_2O}$	$c$	$d$
447	-0.0094	0.0021	0.0050	0.628	-3.37

## Выводы

Наличие такого уравнения позволит решить проблему ограниченного объёма выборки водосодержащих экспериментов. Кроме того, растворенные летучие газы

сильно влияют на плотность и вязкость магм земной коры и, таким образом, играют решающую роль в подъеме магмы. Чтобы оценить плотность и вязкость восходящих магм, необходимо полагаться на модели растворимости летучих компонентов, которые позволяют рассчитывать изменение состава расплава и пара в зависимости от давления и температуры. Такая модель будет полезна и для планирования экспериментов с водосодержащими системами, проверки экспериментально полученной растворимости воды в расплавах.

## Библиография

1. Альмеев Р. Р., Арискин А. А. (1996) ЭВМ–моделирование расплавно–минеральных равновесий в водосодержащей базальтовой системе. *Геохимия*. (7), 624–636.
2. Арискин А. А., Бармина Г. С. (2000) Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука/Интерпериодика, 363.
3. Воробьев, С. А. (2016). Информатика. Математическая обработка геолого-геохимических данных. Учебное пособие. Барнаул: Новый формат, 266.
4. Коптев-Дворников Е. В., Арьяева Н. С., Бычков Д. А. (2012) Уравнение термобарометра для описания сульфид–силикатной ликвации в базитовых системах. *Петрология*. 20 (5), 495–495.
5. Ariskin A. A., Barmina G. S., Meshalkin S. S., Nikolaev G. S., Almeev R.R. (1996) INFOREX–3.0: A database on experimental studies of phase equilibria in igneous rocks and synthetic systems: II. Data description and petrological applications. *Computers & Geosciences*. 22 (10) 1073–1082.
6. Liu, Y., Zhang, Y., & Behrens, H. (2005). Solubility of H<sub>2</sub>O in rhyolitic melts at low pressures and a new empirical model for mixed H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub> solubility in rhyolitic melts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 143 (1–3), 219–235.
7. Moore, G., Vennemann, T., Carmichael, I. S. E. (1998). An empirical model for the solubility of H<sub>2</sub>O in magmas to 3 kilobars. *American Mineralogist*. 83 (1–2), 36–42.
8. Papale, P., Moretti, R., Barbato, D. (2006). The compositional dependence of the saturation surface of H<sub>2</sub>O+ CO<sub>2</sub> fluids in silicate melts. *Chemical Geology*. 229 (1–3), 78–95.
9. Shishkina, T. A., Botcharnikov, R. E., Holtz, F., Almeev, R. R., & Portnyagin, M. V. (2010). Solubility of H<sub>2</sub>O-and CO<sub>2</sub>-bearing fluids in tholeiitic basalts at pressures up to 500 MPa. *Chemical geology*. 277 (1–2), 115–125.
10. Zhang, Y., Xu, Z., Zhu, M., & Wang, H. (2007). Silicate melt properties and volcanic eruptions. *Reviews of Geophysics*. 45 (4).

*Изучение криогенеза в России и его значение для освоения зоны распространения вечной мерзлоты. Горячев И.А.\* (МГРИ, [ilya.goryachev.02@inbox.ru](mailto:ilya.goryachev.02@inbox.ru)), Максимова И.В.\* (МГРИ, [maximovaiv@mgri.ru](mailto:maximovaiv@mgri.ru))*

## Аннотация

Изложены современные представления о образовании аутигенных минераллов в мёрзлых грунтах. Приведён ряд результатов геохимических исследовательских работ, на основании анализа которых сделаны выводы о значимости изучения криогенеза для разведки полезных ископаемых криолитозоны. Сделаны выводы о значении изучения криогенеза для освоения зоны вечной мерзлоты.

## Ключевые слова

Криогенез, вечная мерзлота, аутигенные минералы криолитозоны, геохимические исследования, освоение Арктики.

## Теория

Изучение криогенеза в наши дни имеет огромное значение. В России это в первую очередь связано с изучением Арктики и растущей необходимостью её активного освоения. Всё более необходимым становится изучение геохимического состояния и миграции химических элементов в условиях криолитозоны. Долгое время, до начала 1960-ых гг., считалось, что мерзлота практически законсервировала развитие каких бы то ни было геохимических процессов (кроме кристаллизации и плавления льда, как основного аутигенного минерала мёрзлых пород), создав своеобразный геохимический покой, который нарушается только физическими явлениями, связанными с процессами промерзания и оттаивания (это выражается в формировании своеобразных форм рельефа) [3]. Начиная с середины XX в., удалось преодолеть такие взгляды.

В ходе геохимических исследований, производимые разными учёными в 1960-х гг. и позже было установлено, что не только в сезонно-талом слое, но и во всем объеме мерзлоты осуществляется масштабное перераспределение вещества, приводящее к изменениям химического и минерального состава пород, руд, почв и т.д. Криогенная миграция химических элементов обеспечивается широким спектром физико-механических и физико-химических процессов, прямо или косвенно регламентируемых наличием и историей существования мерзлотного режима. Поскольку условия в мерзлых породах различны, мы имеем и разные результаты криогенеза. Поэтому известный гидрогеолог Л. Ф. Швецов предложил выделять площади проявления таких процессов под названием криогенных геохимических полей. Совокупность их в свою очередь образует криогенную систему, а сумма протекающих в ней процессов – криогенез. Криогенные геохимические поля формируются в криогенных зонах выветривания горных пород, почвах, заболоченных территориях, зонах окисления. В результате формируются криогенные ореолы рассеивания не только в пределах рудных полей, но и их погребенных разностях [6]. Все это позволяет говорить об открытии нового явления – криогенного солевого рассеивания химических элементов, которое в корне меняет наше представление о мерзлых породах.

## Исследования зон окисления сульфидных руд

В 60-е годы прошлого века профессором С.Л. Шварцевым и Б.В. Олейниковым проводилось изучение зон окисления на ряде сульфидных рудопоявлений северо-запада Сибирской платформы. Исследования проводились в бассейнах рек Северной, Курейки, Горбиячин, Кулюмбэ, Фокиной и др. Зоны рудной минерализации здесь располагаются в экзоконтактных ореолах трапповых интрузивов, внедренных либо в верхнепалеозойские угленосные отложения, либо в эффузивно-туфогенные образования триаса. Зона окисления на участках развития сульфидов, как правило, имеет небольшую мощность (первые метры) и представлена гидроокислами и окислами железа, скоплениями сульфатов кальция, магния, железа, натрия, алюминия, редкими налетами карбонатов меди. В небольшом количестве в нижней части зон окисления иногда фиксируются агрегаты мельниковита. Остатки первичных сульфидов наблюдаются по всему разрезу таких зон. Среди вторичных минералов широко развиты в них гипс, мелантерит и продукты его дегидратации, галотрихит ( $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ ), магнистый рёмерит ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}2(\text{SO}_4)_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ), копиапит ( $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20(\text{H}_2\text{O})$ ), эпсомит ( $\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), алуноген ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ ), натровые квасцы и др. минералы, например, малахит и азурит. Наиболее мощная зона окисления развита на медно-никелевом месторождении «Норильск-1», возраст которой считается древним, но многочисленные сульфатные минералы – следствие молодых процессов криогенеза. Первичные рудные минералы на месторождении «Норильск 1» представлены пирротинном, пентландитом, халькопиритом, кубанитом и меньше другими сульфидами. Зона окисления, мощностью до 30 м в основном сложена различными гидроокислами железа с большим количеством сульфатных минералов, среди которых Н. С. Зонтовым описаны мелантерит, пизанит, халькантит ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), моренозит ( $\text{Ni}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), фибро-феррит, ярозит ( $\text{KFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ), гипс и др.

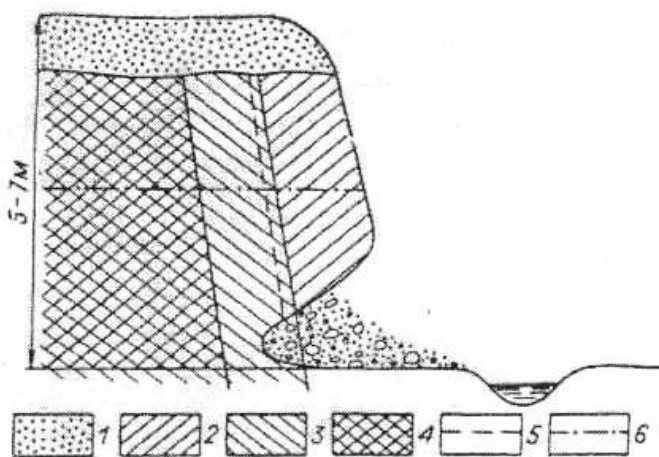


**Рисунок 1.** Зеленоватая корка, сложенная рыхлым агрегатом моренозита и никельгексагидрита на поверхности пирротин-пентландитовой руды, месторождение «Нюд-II», Мурманская обл. Кольский регион.

В зоне окисления исследователями был обнаружен новый минерал – Никельгексагидрит ( $\text{Ni}[\text{SO}]_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) (рис. 1). Минерал впервые найден в зоне окисления медно-никелевого месторождения «Норильск-1», в карьере рудника «Северный» в 1959 г. Корки и налеты сульфата покрывали невыветрелые габбро-долериты на дне карьера, где сульфат кристаллизовался из рудничных вод при испарении последних в летнее время. В последующие годы этот же минерал был установлен в верхних горизонтах зоны окисления, вскрытой карьером в его восточной части. Здесь, на вертикальной стенке выработки, обращенной на юг, никельгексагидрит образует корки максимальной толщиной до 1.0 см и многочисленные налеты землистых масс, развившиеся на сильно

трещиноватых габбро-долеритах, содержащих окисленные сульфиды. Замечено, что после продолжительных дождей его скопления либо резко уменьшались в размерах, либо исчезали полностью и появлялись только следующей весной. никельгексагидрит является одним из характерных минералов криогенного происхождения. В последствии был обнаружен на многих других сульфидных месторождениях в криолитозоне.

Важно подчеркнуть, что сульфаты обнаружены в основном в постоянно мерзлых породах, а не в зоне деятельного слоя. Например, в зоне окисления халькопирит-пирротин-пиритовой жилы берегового обрыва нижнего течения ручья Серебряного (среднее течение р. Фокиной) на дневной поверхности и в полосе деятельного слоя развиты гетит, гидрогетит, лимонит, гипс и малахит. На границе деятельного слоя и многолетнемерзлых пород в пределах последних наблюдается магнистый рёмерит с реликтами первичных сульфидов. Более глубокие горизонты зоны окисления сложены мелантеритом с небольшим количеством галотрихита в ассоциации с неокисленными сульфидами и льдом. Заметим, что в нижней части зоны окисления, где развит мелантерит, не установлено даже малейших признаков пленок окисного железа. Следовательно, весьма затрудненный водообмен и отсутствие  $O_2$  в толще мерзлых пород предохраняет двухвалентное железо от окисления и последующего выпадения в виде гидроокиси.



**Рисунок 2.** Схематический разрез по сульфидной жиле на ручье Серебряном [6].

- 1) рыхлые отложения;
- 2) зона развития окислов и гидроокислов железа и карбонатов меди;
- 3) зона сульфатных минералов с реликтами сульфидов;
- 4) первичные сульфиды;
- 5) граница многолетнемерзлых пород;
- 6) уровень паводковых вод.

В ходе исследований был изучен механизм криогенного сульфатообразования. Скорости движения физически связанных вод исключительно малы, что определяет наличие в мерзлых породах очень слабого водообмена, который контролирует специфику всех геохимических или криогенных процессов, протекающих в этих условиях. Оказалось, что в мерзлых породах скорости химических реакций, протекающих при взаимодействии воды с горными породами выше, чем скорости движения таких вод. Поэтому в мерзлых породах происходит накопление высоких содержаний многих химических элементов и образование ими многих легкорастворимых минералов, если этому благоприятствуют геологические условия. В



процессе промерзания горных пород и почв происходит подтягивание влаги из нижних горизонтов в зону охлаждения. Это движение влаги имеет место также в толще мерзлых пород в сторону более низких температур. А так как в течение долгих полярных зим верхние горизонты почв и горных пород охлаждаются намного быстрее, чем нижние, миграция влаги происходит из нижних горизонтов в верхние. Вода переносит в растворенном виде различные химические элементы. Последние передвигаются также и в результате диффузии. В верхних частях зон окислений сульфидных месторождений подземные воды имеют низкие величины рН, высокие концентрации сульфат-иона и различных тяжелых металлов. Около поверхности, где температура горных пород быстро падает, количество незамерзшей воды резко сокращается, что ведет к образованию различных минералов [3]. При этом выпадение сульфатов из раствора может происходить и ниже деятельного слоя.

В 2020 году на месторождении «Светлое» (Au-Ag) (Дальний Восток) была вскрыта зона, содержащая значительные по размерам обособления мелантерита. Минерал заполняет трещины в породе, образуя пластовые образования мощностью до 2-3 см. Мелантерит ( $\text{Fe}[\text{SO}]_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) - в большом количестве накапливается при окислении сульфидных месторождений в условиях вечной мерзлоты.

## **Вывод**

Изучение криогенеза может иметь огромное практическое значение [1,2,3-6]. Это будет способствовать освоению севера. Знания, полученные в исследованиях, необходимы для развития добывающей промышленности в криолитозоне. Несмотря на то, что в период с 60-х годов XX века по настоящее время многое уже изучено, остается большое поле деятельности для исследований.

## **Библиография**

1. Кадебская О.И., Дублянский Ю.В. «Характеристика криогенного кальцита из пещеры Грандиозная (им. В. А. Ануфриева), Южный Урал» // журнал «Теоретическая и прикладная экология», №2, 2018 г. С. 38-44.
2. Курчатова А.Н., Рогов В.В. «Формирование геохимических аномалий при миграции углеводородов в криолитозоне Западной Сибири» // журнал «Снег и Лёд»; 2018 · Т. 58 · № 2. С. 199-212.
3. Рогов В.В. «ОСНОВЫ КРИОГЕНЕЗА» // Рос. акад. наук, Сиботдние, Тюменский научный центр; Московский гос. Ун-т им. Ломаносова; - Академическое изд-во «Гео», Новосибирск, 2009 г. С 144-153.
4. Татауров С.Б. «Оценка россыпного золотосодержащего сырья криолитозоны для обоснования комбинированной геотехнологии кучного выщелачивания золота» // ISSN 0135-3500 Записки Горного института. Т.189. С. 160-167.
5. Трафимов В.Т., Красилова Н.С. «Засоленные мерзлые грунтовые толщи Арктического побережья России и их инженерно-геологические особенности» // БЮЛ. МОСК. О-ВА ИСПЫТАТЕЛЕЙ ПРИРОДЫ. ОТД. ГЕОЛ. 2017. Т. 92, ВЫП. 4
6. Шварцев С.Л. «Геохимические особенности миграции химических элементов в мёрзлых породах арктических районов» – доклад доктора геолого-минералогических наук, профессора С.Л. Шварцева; Конференция «Арктика и её освоение»; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; 2017 г. С. 34-39.

**Идентификация турмалинов Малханского месторождения методом спектроскопии комбинационного рассеяния. Гришкевич А.С.\* (ИРНИТУ, adelina.grishkevich@mail.ru), Дегтярева А.В. (ИРНИТУ, reulake@gmail.com), Анусимова А.А. (ИРНИТУ, aleksanisimova@mail.ru)**

### Аннотация

В данной статье приводятся результаты и методика работы методом конфокальной микроспектроскопии комбинационного рассеяния света (или конфокальной Рамановской микроспектроскопии) для изучения группы турмалина. Актуальность исследования турмалинов обусловлена, с одной стороны, сложностью его химического состава и проблемами внутрigrупповой классификации, а с другой, разнообразием видов турмалинов на крупнейшем в России Малханском месторождении. Большая часть добываемого там сырья имеет высокие декоративно-художественные характеристики и качество и может использоваться в качестве ювелирного камня. В связи с этим важным является создание библиотеки спектров турмалинов Восточно-Сибирского региона для пополнения базы данных конфокального Рамановского спектрометра WITec alpha 300R.

### Ключевые слова

Турмалин, Малханское месторождение, микроспектроскопия комбинационного рассеяния света, спектры, диагностика.

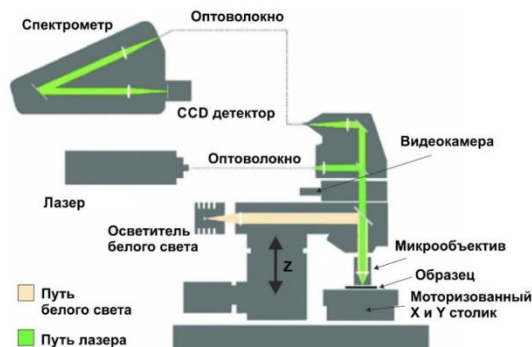
### Теория

Турмалин – минерал, алюмоборосиликат сложного состава встречается в виде призматических, столбчатых, игольчатых кристаллов и радиально-лучистых агрегатов. Цвет очень разнообразен и сильно зависит от незначительных колебаний в содержаниях элементов-хромофоров, что обуславливает не только многообразие окрасок, но и рост полихромных (двух-, трех-, и даже пятицветных) кристаллов[1].

В настоящее время для диагностики различных минералов используются современные наукоемкие методы, проводимые в условиях оборудованных лабораторий. Одним из таких является метод конфокальной микроспектроскопии комбинационного рассеяния света (или конфокальная Рамановская микроспектроскопия). На рисунке 1 представлена схема конфокального Рамановского микроспектрометра[2].

Рамановская спектроскопия базируется на принципе рамановского рассеяния, эффект которого, с точки зрения квантовой теории, зависит от соотношения количества рассеивающих фотонов с размером связей между молекулами облучаемого вещества. В результате воздействия фотонов на межмолекулярную связь, возникают три энергетических потенциала. Результаты измерения визуализируются в виде графика (Рамановского спектра), вдоль вертикальной оси которого откладывается интенсивность излучения, а по горизонтальной оси – относительное волновое число, также используется термин Рамановский сдвиг (англ. Raman shift). Для этого длина волны переводится в волновое число согласно формуле  $\tilde{\nu} = 1/\lambda$ , где  $\tilde{\nu}$  – волновое число (см<sup>-1</sup>),  $\lambda$  – длина волны. Относительное волновое число (Рамановский сдвиг) – это

разница волновых чисел между источником света (Релевской линией) и стоковыми линиями.



**Рисунок 1.** Схема конфокального Рамановского микроспектрометра

В качестве материала для исследования были использованы турмалины Малханского месторождения различной окраски, разделенные на группы. Каждому образцу был присвоен номер, сняты размеры и определен цвет с помощью геммологического набора эталонов цвета GemSet (см. рисунок 2).

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Фото								
Размер, мм	28x15x13	15x15x12	23x15x12	20x15x10	20x12x10	10x10x10	10x7x5	9x9x5
Цвет	vstbG 5/2	OR 4/1	stpR 6/2; YG/GY 6/4	stpR 4/1; styG 4/1	YG/GY 6/3; slpR 6/1	YG/GY 6/4	GB/BG 3/1	GB/BG 3/1

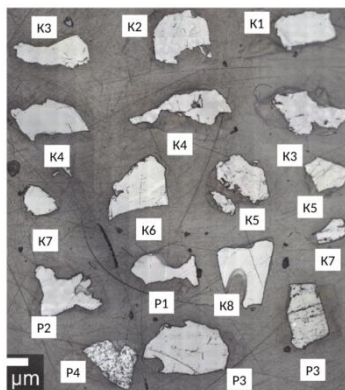
**Рисунок 2.** ГРУППА 1: Качественные образцы, 8 штук (шашка МТ1, сокращение К- 1...8)

Непосредственно процесс спектроскопии можно условно разделить на три части: пробоподготовка, снятие спектров, обработка результатов.

**Пробоподготовка.** С каждого образца берется фрагмент, размером около 1-2 мм (при этом место скола помечается маркером и проходит фотофиксация места, откуда брали фрагмент), который потом вместе с остальными помещают в, так называемую, пробную шашку. Шашка изготавливается путем заливки кусочков образцов турмалина в эпоксидную смолу.

В начале и конце работы необходимо снять спектр кремния для проверки корректности предоставляемых данных.

Шашка устанавливается на подвижный столик, с помощью которого осуществляется перемещение образцов относительно объектива, после чего снимается электронная карта образцов, для наиболее удобного перемещения. Фотография шашки (см. рисунок 3) делается через микроскоп с указанием серии и номера образца и фиксацией его положения в шашке.

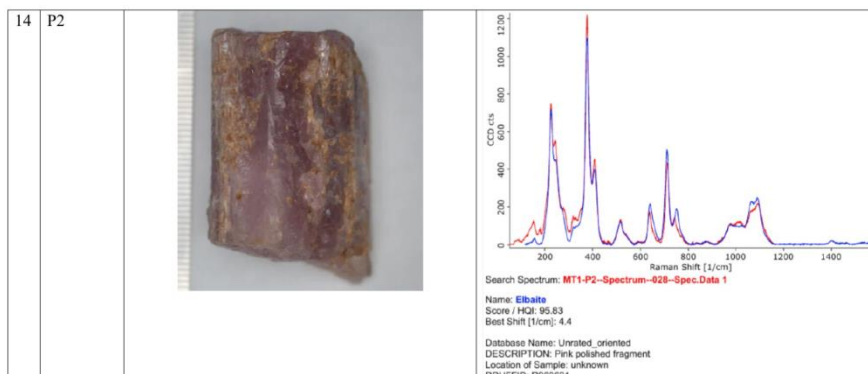


**Рисунок 3.** Фотография шашки MT1 на микроскопе

Съемка спектров. Выбирается образец, на котором выстраивается фокусное расстояние, посредством зуммирования камеры микроскопа джоистиком или же письменно в программе на компьютере. Перед работой с лазером идет съемка фотокамерой области образца в фокусе, после чего перемещается селектор камеры вправо, выключив ее и включается лазер (задвинуть створку справа). Для разных минералов существуют свои настройки параметров, так для турмалинов мощность лазера устанавливается на 20 mW, решетка G3(спектральный центр 605, 3600) и G2(2100). Время на съемку спектров и их количество устанавливается без каких либо определенных критериев[2].

После съемки спектров результаты отображаются в виде графиков. Их загружают в базу данных, чтобы программа сравнивала с уже загруженными туда спектрами и по совпадениям выдавала результат – какой именно минерал был рассмотрен.

Обработка результатов. На рисунке 4 представлена фотография образца и его спектр. Спектр представлен двумя наложенными друг на друга графиками разных цветов: синего – спектр из базы данных и красного – спектр, полученный в ходе исследования. Исследуемый минерал был отнесен к эльбаитам. Ниже можно видеть информацию о спектре, с которым сравнивался исследуемый минерал: имя исследуемого образца, имя в базе данных, процент схожести, краткое описание и месторождение.



**Рисунок 4.** Фрагмент таблицы образец-спектр MT1, образец P2

Следует отметить, что графики идентичны, но имеют не стопроцентную схожесть. Это говорит в первую очередь о небольших различиях в составах образцов, а также неполноценности данных базы данных конфокального Рамановского спектрометра WITec alpha 300R, что поможет исправить внесение полученных спектров в библиотеку спектров прибора.

В ходе исследования образцов шашки МТ1 можно сделать вывод о том, что большая часть образцов была определена к группе турмалинов эльбаиты, за исключением образцов К5 – фтор-лиддикоатит, К8 – россманит. Схожесть с образцами из базы данных колеблется в районе 90-96%.

## **Выводы**

Были получены спектры комбинационного рассеяния света турмалинов Малханского месторождения. Данные необходимы для дальнейшего исследования материала, а также для пополнения базы данных конфокального Рамановского спектрометра WITec alpha 300R.

## **Благодарности (на ваше усмотрение)**

Авторы выражают благодарность Иванову Петру Федоровичу за предоставленные для исследования образцы и Институту Земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), в лице зав. лабораторией петрологии, геохимии и рудогенеза, в.н.с. ИЗК СО РАН, к. г.-м. н. Шарыгина Игоря Сергеевича, за предоставленную возможность работы с конфокальным Рамановским спектрометром WITec alpha 300R.

## **Библиография**

1. Пшеничный, М. И. Полихромность минералов группы турмалина / М. И. Пшеничный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 2. – С. 269-274.
2. Власов Е.А., Кошуг Д.Г., Посухова Т.В. Методы исследования минералов: Растровая и просвечивающая электронная микроскопия и электронно-зондовый микроанализ: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2009 – 98 с.: ил. 85
3. Anke WAtenphul, Martina Burgdo,Jochen, Schlüter Ingo Horn, Thomas Malcherek, Boriana Mihailova Exploring the potential of Raman spectroscopy for crystallochemical analyses of complex hydrous silicates: II. Tourmalines//American Mineralogist, Volume 101, 2016, pages 970–985
4. Darrell James Henry, Milan Novák , Frank C Hawthorne , Andreas Ertl Nomenclature of the tourmaline-supergrroup minerals//American Mineralogist, 2011 96:895-913

**«Изучение реакции подземных вод Азербайджана на сильные землетрясения в приграничной с Ираном области». Гулиева Ш.О.\* (РЦСС при НАНА, [seismogeochemistry@mail.ru](mailto:seismogeochemistry@mail.ru)), Кудрявцева Е.Н. (РЦСС при НАНА, [seismogeochemistry@mail.ru](mailto:seismogeochemistry@mail.ru)), Керимова А.А. (РЦСС при НАНА, [seismogeochemistry@mail.ru](mailto:seismogeochemistry@mail.ru))**

### Аннотация

Начиная с 1979 года в отделе “Комплексные геохимические исследования” РЦСС при НАНА проводятся работы по круглогодичному флюидодинамическому мониторингу. Мониторинговая сеть включает около 20-ти объектов наблюдения, рассредоточенных в 6-ти сейсмоактивных регионах Азербайджана. Объектами мониторинга являются подземные воды и минеральные источники.

### Ключевые слова

флюидодинамический мониторинг, аномалия, вариации геохимических параметров, оперативная оценка сейсмической обстановки.

В результате интерпретации данных круглогодичного флюидодинамического мониторинга ежедневно проводится оперативная оценка сейсмической обстановки для территории Азербайджана, акватории Каспия, а также приграничных с Азербайджаном регионов сопредельных стран: Грузия, Россия (Дагестан), Турция и Иран. Для этой цели используется разработанная в отделе “Комплексные геохимические исследования” РЦСС при НАНА методика оперативной оценки сейсмической обстановки по аномалиям в химическом составе флюидов Азербайджана [1].

Целью данной работы является изучение реакции объектов круглогодичного флюидодинамического мониторинга на сильные землетрясения ( $M \geq 5.5$ ) в приграничной с Азербайджаном СЗ части Ирана. Землетрясения в этом регионе ощущаются также и на территории приграничной с Ираном Нахчыванской автономной области, поэтому представляют для нас особый интерес.

В работе представлены материалы по результатам интерпретации данных флюидодинамического мониторинга для 3-х сильных землетрясений, произошедших на СЗ Ирана в районе г. Хой: 05.10.2022 ( $M=5.9$ ), 18.10.2023 ( $M_w=6.0$ ) и 28.01.2023 ( $M_w=6.1$ ). Также представлены графики вариаций наиболее информативных параметров на перечисленные выше сейсмические события.

28.01.2023 на сайте РЦСС при НАНА <https://seismology.az> было зарегистрировано сильное землетрясение на границе Ирана с Азербайджаном в р-не г. Хой. Параметры реализованного события представлены ниже:

28.01.2023 – Иран:

$M_w=6.1$ ;  $\varphi=38.52$ ;  $\lambda=44.75$ ;  $h=10$  км;  $tUTC=18:14:41$

Многолетние наблюдения за режимом подземных вод показали, что цвет воды скв. “Сураханы” Абшеронской геохимической станции чутко реагирует на землетрясения в Иране и Турции. 23.01.2023 г. вода из скв. “Сураханы” приняла серый цвет и этот цвет держался в течение 2-х дней. Резкие изменения произошли также и в ионно-солевом составе воды из скв. “Сураханы”. На рис.1 представлен фрагмент Базы Данных флюидодинамического мониторинга с выделенными аномалиями (красным цветом отмечены пониженные аномалии, а зелёным-повышенные).

year	month	day	pH		Eh		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Σ(Cl, Br, I)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Об. ж.		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		Σ(Na, K) <sup>+</sup>	Mineral	Цвет воды		
			6,8	*0,2	-330	-	1200	0	2400	0	100	12	13	210	*30	160	180	1600	*200	6000
2023	01	05	7		-270	1330	0	2517	0	0	12,25	200	176	1572	5795	4	св. жёлтый			
2023	01	06	6,9		-260	1342	0	2482	0	0	12,1	196	175	1560	5755	4	св. жёлтый			
2023	01	09	7		-170	470	0	603	0	0	13,4	396	84	0	1508	7	серый			
2023	01	10	7		-200	445	0	514	0	0	13,35	403	80	0	1331	7	серый			
2023	01	11	7,1		-220	439	0	461	0	0	13,6	420	75	0	1236	7	серый			
2023	01	12	7,1		-245	427	0	479	552	0	13,25	410	73	128	2069	7	серый			
2023	01	13	7,1		-265	994	0	1843	394	0	12,45	268	140	1188	4827	4	св. жёлтый			
2023	01	16	7		-320	1110	0	2127	221	0	11,8	240	141	1362	5201	4	св. жёлтый			
2023	01	17	7		-330	1269	0	2375	67	0	12,3	208	173	1487	5578	4	св. жёлтый			
2023	01	18	6,9		-300	1122	0	2056	230	0	12,2	244	148	1307	5108	4	св. жёлтый			
2023	01	19	7		-255	1019	0	1914	355	0	12,3	260	141	1231	4921	4	св. жёлтый			
2023	01	23	7,1		-190	329	0	355	0	0	13,15	434	56	0	925	7	серый			
2023	01	24	7,1		-150	342	0	266	0	0	13,1	414	67	0	789	7	серый			
2023	01	25	7		-235	1013	0	1737	355	0	12,1	274	128	1123	4630	4	св. жёлтый			
2023	01	26	7,1		-270	811	0	1312	538	0	12,6	310	118	836	3924	3	мутный			
2023	01	27	7,1		-220	708	0	1064	0	0	12,75	344	101	372	2588	3	мутный			
2023	01	30	7,1		-305	1251	0	2925	67	0	11,8	204	163	1859	6468	4	св. жёлтый			
2023	01	31	6,8		-310	1232	0	2712	53	0	12,05	202	170	1696	6065	4	св. жёлтый			

Рисунок 1. «Фрагмент Базы Данных флюидодинамического мониторинга (скв. “Сураханы”)»

Как видно из рисунка, дважды с начала 2023-го года происходили резкие изменения в химическом составе и цвете воды скв. “Сураханы”. После первого “всплеска” произошло сильное землетрясение 18.10.2023 ( $M_w=6.0$ ), а после второго- в том же регионе землетрясение 28.10.2023 ( $M_w=6.1$ ). На рис.2 представлен график вариации концентрации ионов  $SO_4$  в период подготовки сильных землетрясений в Иране, на котором этот момент особенно ярко выделяется.

сква. "Сураханы" (Абшерон)

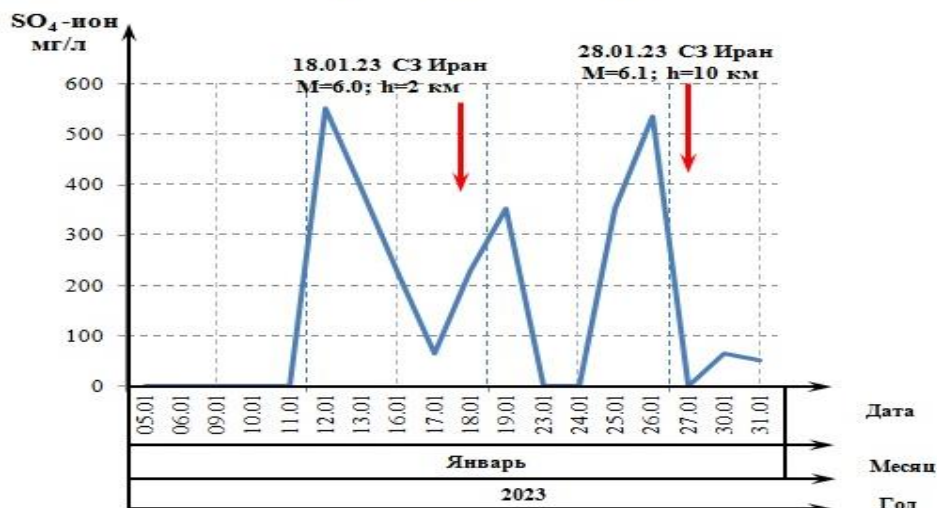


Рисунок 2. «График вариации концентрации ионов сульфата  $SO_4$ »

Следует отметить, что предположение о возможной связи величины размаха гидрогеохимических вариаций с магнитудой назревающего землетрясения высказывались и другими исследователями режима подземных вод [2]. Поведение графика на рис. 2 полностью согласуется с этим утверждением. На графике видны две сильные аномалии и после каждой регистрировалось сильное землетрясение ( $M_w \geq 6.0$ ). Аномальные изменения наблюдались также и в гидрогеодинамических показателях. 23.01.2023г. уровень воды в скважине “Шамахи-8” Шамахинской гх/ст существенно понизился и оставался пониженным и после 28.01.2023-го.

Аномальные изменения наблюдались и в вариациях геохимических параметров в скважине “Шихов-2” Абшеронской гх/ст и в скважине “Чухурюрд-49” Шамахинской гх/ст.



Необычно вела себя также вода в скважине “Гаджи булаг” Хачмазской гх/ст. 23.01.2023 г. вдруг начал снижаться дебит воды в скважине и в последующие дни (до 27.01.2023 г.) приток воды скважину уменьшался. А с 30.01.2023 г., т. е. после землетрясения 28.10.2023, вода опять стала прибывать.

Таким образом, за 3 дня до землетрясения, 25.01.2023 г. аномальные изменения в гидрогеодинамических и гидрогеохимических показателях подземных вод Азербайджана указали на рост напряжённости в районе г. Джульфа Нахчыванской автономной области Азербайджана (квадрат 1 на рис.2).

На следующий день, 26.01.2023г. результаты оперативной оценки сейсмической напряжённости выявили резкий рост напряжённости на северо-западе Ирана (квадрат 2 на рис.3) и на Турецко-Иранской границе (квадрат 3 на рис.2).



Условные обозначения:

-  - местоположение очага землетрясения в Иране ( $M_w=6.1$ ) (28.01.2023);
-  - области сейсмической напряжённости:
  - 1 - по результатам оперативной оценки 25.01. 2023 г.;
  - 2 - по результатам оперативной оценки 26.01. 2023 г.;
  - 3 - по результатам оперативной оценки 26.01. 2023 г.

**Рисунок 3.** «Карта с областями сейсмической напряжённости к землетрясению в Иране ( $M_w=6.1$ ) (28.01.2023)»

Колебания уровня воды в естественных и искусственных водоёмах-общепринятый предвестник землетрясений. [3], [4].

Пока мы готовили этот материал 06.02.2023г. на границе Турции с Сирией произошло катастрофическое землетрясение ( $M_w=7.8$ ), превратившее в руины города, стёршее с лица земли целые населённые пункты, прервавшее тысячи жизней. Это



известие потрясло весь мир, болью и сочувствием отозвалось в сердцах не только друзей, но и недругов.

Вполне возможно, что пониженный уровень воды в скважине “Шамахи-8” предвещал именно это землетрясение. И по сегодняшний день уровень воды в скважине “Шамахи-8” остаётся пониженным. Землетрясение в Турции сопровождается многочисленными афтершоками.

### **Выводы**

1. Аномальные изменения в химическом составе подземных вод объектов наблюдения флюидодинамического мониторинга в Азербайджане могут быть информативными на сильные землетрясения, реализовавшиеся на приграничной с Азербайджаном территории Ирана.

2. Изучение вариаций геохимических параметров позволяет проводить оперативную оценку сейсмической обстановки и заведомо выявлять сейсмически напряжённые участки на территории Азербайджане и в приграничных регионах.

3. Уровень воды в водоёмах- предвестник сильных землетрясений. Ярким примером этого является история с водой скважины “Гаджи булаг” Хачмазской гх/ст.

### **Библиография**

1. Керимова Р.А.- Оперативная диагностика сейсмических очагов сильных землетрясений ( $M \geq 5.5$ ) по геохимическим аномалиям флюидов Азербайджана. //Физика Земли. М. № 4, 2005, с. 29-43.
2. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Серафимова Ю.К.- Предвестники землетрясений в изменениях ионного и газового состава подземных вод: обзор мировых данных ГЕОХИМИЯ, 2022, том 67, № 10, с. 921–941
3. Добровольский И.П.- Математическая теория подготовки и прогноза тектонического землетрясения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 240 с
4. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты. М.:Наука, 2009. 328 с

*Кислотные метасоматиты в рудообразовании месторождения Урталик  
(Узбекистан, Чармитанское рудное поле). Джуманиязов Д.И. \*, Мусаев А.  
(Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева, г.Ташкент, Узбекистан,  
denisbey@list.ru)*

### **Аннотация**

Метасоматиты это продукты метасоматоза, как правило имеют гранобластовые структуры, могут наследовать текстуры исходных пород или образовывать собственные текстуры от массивной до ритмично-полосчатой. Характерными чертами метасоматоза, отличающими его от других процессов, является сохранение первоначального объема и наличие метасоматической зональности, при которой количество минералов в каждой зоне закономерно уменьшается по направлению к тыловой зоне (источнику флюида). Исходя из этого изучение метасоматитов является неотъемлемой частью исследований.

### **Ключевые слова**

Метасоматических формации, пропиллиты, березиты, кварциты, аргиллизиты, глиноземистость.

### **Теория**

Все рудные месторождения Узбекистана сопровождаются кислотными метасоматитами, включающими формации пропиллитов, березитов, вторичных кварцитов и аргиллизитов. В таком порядке возрастает степень кислотности метасоматических формаций. Причем, пропилитизация проявляется в дорудный этап, березитизация в прерудный, а аргиллитизация и вторичные кварциты в синрудный этап гидротермального процесса. Такая динамика формирования околорудных изменений характерен для месторождения Урталик Чармитанского рудного поля.

Полный цикл гидротермального процесса соответствует полному же тектоно-магматическому циклу. Месторождение Урталик сформировался в герцинский магматический цикл развития земной коры. Наличие продуктов более раннего каледонского цикла, на которых наложены метасоматические формации герцинид, значительно осложнили строение площадей распространения метасоматических формаций. Установление характера унаследованности, перерастания гидротермальных изменений раннего цикла и поздний вызывает значительные трудности распознавания продуктов отдельных рудно-магматических систем. Дискретность развития магматического процесса также осложняет изучение соотношений площадей проявления метасоматических формаций. Можно считать установленным, что на месторождении Урталик имеющем значительные запасы, этап золотого и золотосульфидного оруденения следует за процессом березитизации рудовмещающих пород. При этом внутренние фации березитов оказываются также оруденелыми. На месторождениях Чармитанского рудного поля наблюдаются некоторые особенности развития околорудных изменений в сравнении с золоторудными месторождениями Центральных Кызылкумов. Здесь интенсивно развиты метасоматиты ранней щелочной стадии, предваряющей проявление кислотных метасоматитов с комплексом таковых золоторудных месторождений. В данном рудном поле проявляются продукты позднемагматических рудных формаций, связанных со скарновыми и кварц-

полевошпатовыми метасоматитами, на которых телескопированы продукты кислотных метасоматитов указанного выше комплекса.

Например, на золоторудных месторождениях близповерхностного типа Восточного Узбекистана, породообразующие минералы метасоматической колонки березитов закономерно изменяют свой состав в зависимости от положения в метасоматической зоне. Например, светлые слюды при переходе от внешних зон к внутренним повышают в своем составе глиноземистость и содержание фенгитовой молекулы. Особенно ярко проявляется изменение состава минералов от положения в метасоматической колонке у карбонатов. В пропиллитах, представляющих внешние зоны березитов, карбонаты обычно представлены кальцитом, в средних зонах березитов устойчив анкерит, а во внутренних зонах встречается брейнерит и в некоторых случаях доломит. Замечена тенденция повышения марганцовистости карбонатов от внешних к внутренним зонам березитов. Для установления таких тонких особенностей состава породообразующих вторичных минералов метасоматических колонок различных формаций околорудных изменений наиболее рациональным оказываются результаты рентгеноспектрального микроанализа на микроанализаторах известных фирм «Jeol» (Япония), «Camebax» (Франция). Установление составов тонкодисперсных минералов оптическими методами и окрашиванием слишком трудоемко и не пригодно для массовых анализов.

Определение среднестатистических данных состава минералов в каждой из зон метасоматических колонок по месторождению Урталик позволили получить конкретные прямые поисковые критерии для поиска и прогноза оруденений, связанных с зонами околорудных изменений и залегающих в скрытом состоянии. По этим данным на золоторудном месторождении Урталик вертикальный размах оруденения достигает более 1000 метров. В таких месторождениях по характеру распространения формаций околорудных изменений можно определять различные (нижнерудные, среднерудные и верхнерудные) горизонты. Обычно для верхнерудных горизонтов характерны аргиллизиты и вторичные кварциты, в средне- и частично нижнерудных горизонтах развиты березиты и листвениты, которые в корневых частях месторождения должны переходить в пропилиты, может быть и в грейзены (если среди пород подстилающей Кошрабадский интрузив толщ будут встречены алюмосиликатные породы повышенной глиноземистости). Верхнерудные горизонты на месторождении Урталик подвергнуты денудации и смывы, поэтому иногда околорудные березиты в некоторых местах обнажаются в близповерхности.

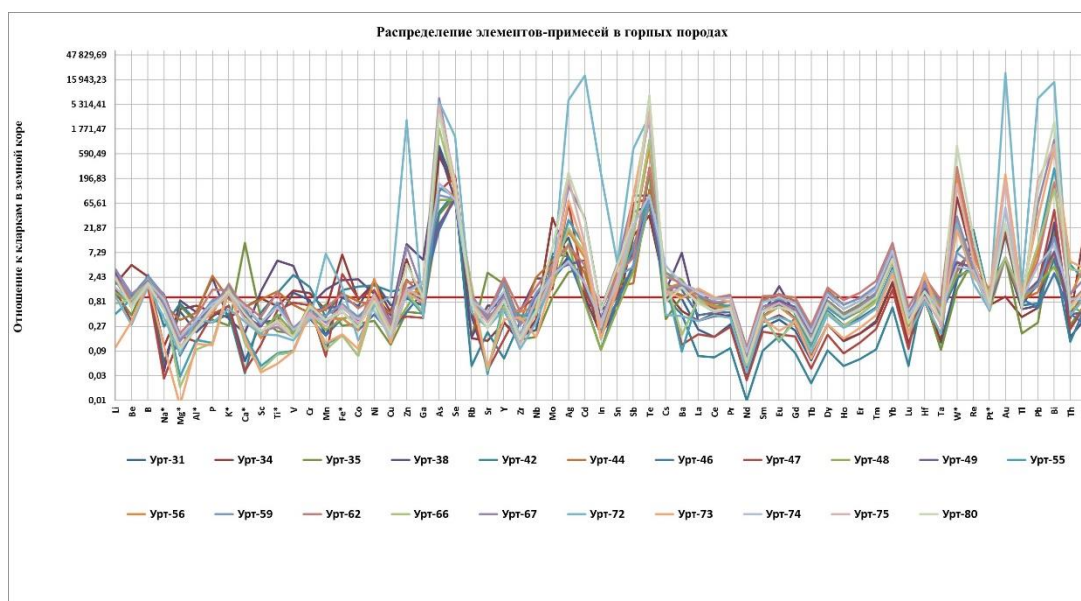
В связи с разгрузкой рудных элементов в зонах сочленения околорудных изменений березитовой и аргиллизитовой формаций, за счет изменения агрегатного состояния гидротермальных растворов при их остывании, такие горизонты оказываются наиболее продуктивными в отношении запасов рудного вещества. Изучение строения вертикальной зональности околорудных изменений месторождения Урталик позволяет прогнозировать наиболее продуктивные сечения в вертикальном разрезе рудных тел находятся в интервале 200-400м.

Для объяснения условий локализации оруденения сопровождаемого метасоматитами необходимо оценить химические параметры, контролирующие процессы образования зональности метасоматизма. Традиционные петрологические исследования не могут дать такие параметры, поэтому Д.С.Коржинским (1957) был разработан метод решения обратной задачи, по минеральным парагенезисам метасоматически измененных пород определение факторов их равновесного состояния в выделяемых природных ассоциациях (фациях), представляющие конкретные зоны метасоматической колонки.

При выделении минеральных фаций (зон колонки) нужно исходить от соотношения реликтовых и гисторогенных минералов и фиксировать положение неродственных минералов, связанных с другими процессами. Предлагаемый метод предусматривает проведение специальных исследований по термодинамическому и динамическому моделированию метасоматических процессов. Только с помощью термодинамических расчетов можно выяснить физико-химические условия формирования минеральных парагенезисов, основанных на принципах равновесных состояний. На основе локально-равновесных открытых систем с вполне подвижными компонентами И.П.Иванов (1968) показал возможность термодинамического моделирования физико-химических условий образования зональных околорудных изменений.

Исследованиями на месторождениях Урталик и Юго-восточного фланга месторождения Чармитан выяснены особенности минерального состава рудосопровождающих метасоматитов [1-4].

Исходя из общей картины распределения элементов примесей в рудовмещающих породах и рудах месторождения Урталик относительно их кларков в земной коре (рисунок 1), можно отметить, что во всех образцах содержание высокие следующих элементов: мышьяк, селен, теллур, золото, вольфрам, висмут, сурьма, иттербий, рений, гафний и серебро. Значительно повышенные содержания мышьяка, селена и теллура доказывает, что в породе повышенное содержание золота. Значения висмута, вольфрама и серебра также в сотни превосходят кларковые содержания.



**Рисунок 1.** Это Общая картина распределения элементов примесей в рудовмещающих породах и рудах месторождения Урталик Чармитанской рудоносной зоны.

## Выводы

Детально изучена их формационная принадлежность, выяснены детали вертикальной и горизонтальной зональности. Определена перспективность глубоких горизонтов Юго-восточного фланга месторождения Чармитан для расширения сырьевой базы его. Установлено комплексность руд этой части месторождения на редкое и редкоземельное оруденения. Выработаны новые критерии поиска и прогноза

золоторудной минерализации, в целом, на Чармитанском рудном поле. Показана самостоятельность кварц-полевошпатовой метасоматической формации с определением начала и конца их формирования.

### **Библиография**

1. Джуманиязов Д.И., Мусаев А.М., Каримова Ф.Б. Дайки габбро-сиенитов Чармитанского рудного поля (рудопроявление Тукман) // Всероссийская конференция, посвященная 120-летию со дня рождения выдающегося российского ученого академика Д.С. Коржинского. ИГЕМ РАН, 7-9 октября 2019 г. Москва. С. 67-69.
2. Мусаев А.М., Джуманиязов Д.И., Каримова Ф.Б., Хушваков А.Б. Рудопроявление Тукманской площади (Чармитанское рудное поле) // Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии и инновационные методы и технологии освоения углеводородного потенциала недр» 10-11 октября 2019г., Ташкент. С. 382-384.
3. Мусаев А.М., Кушаков А.Р., Романов С.А. Оналбаев Е.Р., Джуманиязов Д.И. Сармиентитизация-важнейший поисковый признак золоторудных месторождений Южного Тянь-Шаня // Геология и минеральные ресурсы. № 5. 2016. – С. 21-26.
4. Мусаев А.М., Мирзаев А.И., Досткулов Ш.Я, Мусаев Р.А. Редкоземельные минералы Чармитанского рудного поля, их генетические типы и промышленное значение // Материалы Республиканской научной конференции «Современные проблемы связи геодинамики, магматизма и оруденения».-Ташкент.-2012. с.127-132.

**Особенности изменения некоторых железосодержащих минералов кимберлитов.  
Зинчук Н.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я) - [nnzinchuk@rambler.ru](mailto:nnzinchuk@rambler.ru))**

**Аннотация**

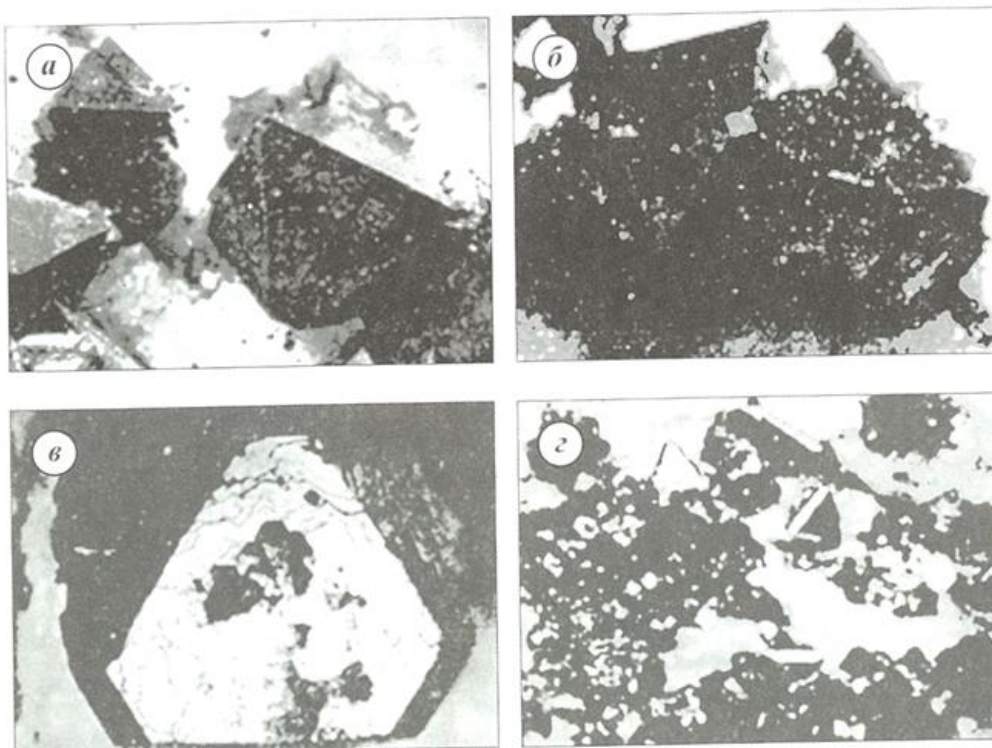
Комплексное исследование Fe-содержащих минералов кимберлитов показало специфичность их фазового состава и структурных особенностей. Процесс изменения магнетитов сопровождается окислением ионов Fe<sup>2+</sup> в октаэдрической позиции минерала и постепенным переходом его в маггемит.

**Ключевые слова**

кимберлиты, Сибирская платформа, железосодержащие минералы.

**Теория. Методы, результаты исследований и их интерпретация.**

В тяжелой фракции кимберлитов наиболее характерными рудными минералами являются магнетит и пикроильменит. Магнетит и некоторые разновидности ильменита свойственны также породам трапповой формации – долеритам, туфам и туфогенным образованиям. Магнетит широко распространен в кимберлитах многих диатрем [1-4], где распылен в основной массе пород; отмечается он в виде кристаллов (рис.1,а-г), конкреций и жезд, а также в отдельных серпентиновых псевдоморфозах. Он образует также мелкие (1,0-2,5 мм) или ветвящиеся жилки (до 5 мм) с нечеткими очертаниями.



**Рисунок 1.** Морфология магнетита из кимберлитов Якутии: а-в – кристаллы октаэдрического габитуса, нарастающие на кальцит; г – идиоморфная вкрапленность магнетита в серпентите из кимберлитов. Увеличения 42.

В жеодах и конкрециях октаэдрические кристаллы этого минерала ассоциируют с кальцитом, баритом и серпентином. С сульфатами железа у магнетита наблюдаются взаимные переходы. В отдельных трубках преобладают ветвящиеся прожилки магнетит-серпентинового состава мощностью до 3-5 мм. В пироваурит-кальцитовых и кальцитовых прожилках встречаются морфологические простые формы магнетита и продуктов его изменения (гётита, а иногда и гематита). В кимберлитах многих кимберлитовых полей различных платформы мира выделяются [2-4] две важнейшие морфологические разновидности магнетита: а) крупнозернистые агрегаты (нередко радиально-лучистого строения), кристаллы или реже сростки; б) скопления мелкозернистого магнетита, образующие в породе неправильные гнезда, полосы, линзы или равномерно в ней распределены. Изучение некоторых Fe-содержащих минералов в упомянутых породах проводилось с использованием ядерной гамма-резонансной спектроскопии (ЯГРС) в комплексе с рентгеновской дифрактометрией, химическими, оптическими, микронзондовыми, электронно-микроскопическими и некоторыми другими методами. В качестве объектов изучения были выбраны выделения магнетита и ассоциирующего с ним серпентина в кимберлитах из трубок Удачная и Сытыканская, пикроильменита из диатрем последней и Юбилейная, а также пелитовой составляющей измененных кимберлитов из верхних горизонтов трубки Удачная и обогащенных рудными минералами верхнепалеозойских осадочных толщ, перекрывающих трубку Комсомольская. Комплексному исследованию подвергались исходные породы и выделенные из них методом магнитной сепарации мономинеральные фракции магнетита. Крупные (до 10 см и более) зеленоватого цвета серпофитовые выделения в кимберлитах из центральной части западного тела трубки Удачная содержат кальцит, серпентин, кварц, а также магнетит, маггемит и следы пикроильменита. Главнейшими минералами черных включений в серпофитах является магнетит с примесью кальцита. Этим образованиям свойственна повышенная концентрация  $Fe_2O_3$  (60,84%) и FeO (25,28%). В черных включениях преобладает магнетит (86,4%), ассоциирующий с кальцитом (9,9%) и серпентином (2,5%). Отмечается также небольшая примесь хлорита (~0,6%), брусита (~0,5%) и апатита (~0,2%). Химическая формула  $Fe_{1^{3+}}[Fe_{1^{3+}} Fe_{1^{2+}}]O_4$ , соответствует 72,4% Fe в его структуре. Наблюдаемое в ЯГР-спектре рассматриваемого магнетита отклонение от идеального соотношения интенсивностей крайних левых резонансных линий спектров поглощения (IА/IV) связано с «нестехиометричностью» минерала (маггемитизацией). Отмечается повышенная концентрация  $SiO_2$  (39,15%) и MgO (38,35%), что связано с доминирующей ролью в них серпентина (85,5%) с примесью кварца (до 3%), хлорита (до 2,8%), магнезита (1,7%), кальцита (1,6%), гипса (1,1%) и флогопита (0,5%). ЯГР-спектр зеленоватых участков характеризуется линиями пикроильменита и серпентина, а также слабыми – «нестехиометрического» магнетита. Близкий фазовый состав (с иным количественным соотношением фаз) установлен в серовато-зеленых выделениях серпофита. В основной массе этих выделений по данным рентген-дифрактометрического анализа, содержится кальцит, магнетит и  $\gamma$ - $Fe_2O_3$ , серпентин, кварц и пикроильменит. В ЯГР-спектре этих выделений присутствуют линии магнетита, аналогичные встреченному в зеленоватых выделениях серпофита, а также пикроильменита и серпентина, причем интенсивность линий пикроильменита в этом случае в 1,5 раза слабее, чем в рассмотренной породе. В черных прожилках серпофита установлены магнетит и  $\gamma$ - $Fe_2O_3$  с незначительной примесью кальцита. Этим участкам свойственна повышенная концентрация  $Fe_2O_3$  (60,27%) и FeO (24,34%) с незначительной примесью других оксидов, главными из которых являются CaO (4,42%), MgO (3,32%) и  $SiO_2$  (2,08%). Пересчет этого химанализа на минеральный состав соответствует рентгеновским данным о преобладании в образце магнетита (84,7%) и небольшой примеси кальцита (7,6%), серпентина (2,9%), флогопита (1,1%),

хлорита (1,4%), гипса (0,2%) и апатита (0,2%). Для ЯГР-спектров указанных прожилков характерно преобладание линий «нестехиометрического» магнетита, по которым был произведен пересчет содержащейся в них фактической доли магнетита (до 90,5%). На нестехиометрию (не замещение Fe другими элементами) указывает также электронно-зондовый анализ кристаллов магнетита размером 100-200 мкм из этих прожилков, выполненный на приборе MS-46 «Камека». Согласно полученным данным, в рассматриваемом минерале содержится (в %): FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (98,89); MnO (0,87); MgO (0,47); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,06); сумма 99,29. Серовато-зеленая масса серпофита представлена серпентином с незначительной примесью гипса. Установлена повышенная концентрация SiO<sub>2</sub> (38,80%) и MgO (38,75%), входящих преимущественно в состав серпентина (86%). В виде небольшой примеси отмечаются также магнезит (2,1%), флогопит (1,1%), хлорит (2,1%), кварц (1,5%) и гётит (1,4%). Для ЯГР-спектра из этой массы серпофита характерно преобладание пикроильменита и серпентина, а также примеси «нестехиометрического» магнетита. Кроме магнетита, ассоциирующего с серпентином в жильных выделениях, нами изучен этот минерал из кимберлитов трубки Сытыканская. Породы последней содержат сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит и др.), оксиды и гидроксиды (магнетит, брусит и кварц), силикаты (таумасит, тальк, вермикулит и др.), сульфаты (метабазальминит, гипс и барит) и карбонаты (кальцит, пироаурит, доломит и арагонит). При исследовании магнитной фракции, выделенной из пород трубки Сытыканская, в ЯГР-спектре четко идентифицируются линии «нестехиометрического» магнетита, что обычно соответствует так называемому оксимagnetиту. Учитывая, что магнетит ассоциирует в кимберлитах с другими рудными минералами, нами проведено сравнительное исследование монофракций пикроильменита из трубки Сытыканская. Специфической особенностью изученных нами пикроильменитов, по сравнению с магнетитами, является более высокая степень окисления в них железа. Сравнительный анализ ЯГР-спектров пикроильменитов из рассмотренных выше кимберлитов трубки Удачная и аналогичных пород трубок Сытыканская и Юбилейная показал практически полное совпадение их спектральных параметров. Особый интерес представляет вопрос о минеральном составе пелитовой составляющей выветрелых кимберлитов, содержание которой в отдельных участках достигает до 97%. Изучение сформировавшегося на кимберлитовых трубках элювия и типоморфных особенностей присутствующих в нем Fe-содержащих минералов может быть непосредственно использовано для повышения эффективности поисков кимберлитовых трубок и совершенствования технологического процесса обработки месторождений. Преобладающими минералами продуктов выветривания кимберлитовых пород верхних горизонтов трубки Удачная являются преимущественно тонкодисперсные карбонаты (кальцит, доломит и реже анкерит), а также серпентин, ассоциирующий с кварцем, магнетитом,  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и пикроильменитом. Спектры ЯГР также указывают на присутствие в исследованных образцах пикроильменита и серпентина, близких по кристаллохимическим особенностям (в частности по повышенному содержанию Fe<sup>3+</sup> в пикроильмените) к исследованным однотипным минералам из неизмененных кимберлитов. Изученные черные осадочные породы позднепалеозойского возраста, перекрывающие трубку Комсомольская, в которых доминируют магнетит и  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ассоциирующие с кварцем, серпентином и кальцитом. В ЯГР-спектрах образцов из обогащенных рудными минералами участков этой породы содержат линии магнетита, пикроильменита и серпентина.



## **Выводы**

Таким образом, изучение фазового состава и структурных особенностей магнетитов из кимберлитов (на разных стадиях гипергенного изменения указанных пород), а также из вмещающих кимберлитовые трубки долеритов показало связь данных параметров с типом содержащих эти минералы пород и геологическими условиями залегания последних. Процесс изменения магнетитов сопровождается окислением ионов  $Fe^{2+}$  в октаэдрической позиции минерала и последовательным переходом его в маггемит. Для всех исследованных магнетитов отношение  $Fe^{3+}$  в А-позиции к  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  в В-позиции, составляющее в «идеальном» магнетите  $\sim 0,5$  в кимберлитах увеличивается до 1,05, а в продуктах переотложения последних и вмещающих кимберлитовые тела долеритах соответственно до  $\sim 1,1$  и  $\sim 1,5$ . Полученные данные об отсутствии изоморфного замещения  $Fe^{2+}$  на  $Mg^{2+}$  и другие ионы в октаэдрической позиции структуры магнетита показывают, что первоначальное возникновение оксимagnetитов в кимберлитовых трубках и долеритах связано с образованием их в результате вторичных процессов восстановления  $\alpha-Fe_2O_3$  (при уменьшении в среде минералообразования парциального давления  $O_2$ ). Одновременно с этим взаимодействие других магнийсодержащих минералов с  $Fe_2O_3$  было невозможно вследствие относительно низких термобарических условий, свойственных среде минералообразования. Указанные кристаллохимические особенности изученных магнетитов имеют не только важное генетическое, но и большое практическое значение. Так, они показывают, что установленная «нестехиометричность» магнетитов из кимберлитов и вмещающих их пород обязательно должна учитываться при количественном определении содержания магнетита в них с помощью химического анализа. Значительно меньшие значения размеров кристаллов, идентифицируемых ЯГРС, позволяют изучать более мелковкрапленные Fe-содержащие фазы, что существенно расширяет круг типоморфных признаков вторичных минералов в кимберлитах и ассоциирующих с ними породах. Отсутствие изоморфных замещений и повсеместная «нестехиометричность» магнетита в кимберлитах указывают на образование его при относительно низких термобарических параметрах среды в постмагматическую стадию изменения пород. Первичный гипогенный нестехиометрический магнетит возникает, согласно фазовой диаграммы Fe – O, при температуре свыше  $1200^\circ C$ . Приведенные данные о кристаллохимических особенностях магнетитов с учетом стадийности их изменения можно рекомендовать для практического использования как при картировании кимберлитовых диатрем и приуроченных к ним коренных месторождений алмазов, так и при поисках вторичных коллекторов и связанных с ними алмазных залежей россыпного типа.

## **Библиография**

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. О специфике поисковой минералогии алмаза // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского.-Вып.15.-Пермь: ПГНУ.-2012.-С.3-21.
2. Зинчук Н.Н. Гипергенное влияние на минералы алмазоносных кимберлитов // Геммология. Материалы 7-й геммологической конференции.-Томск: Томский НЦТИ.-2015.-С.58-69.
3. Зинчук Н.Н. Особенности гипергенного изменения кимберлитов и проблема поисков коренных месторождений алмазов. Статья 2. Коры выветривания кимберлитов Африканской платформы // Бюллетень МОИП. Отдел геологический.-2015.-Т.90.-№-6.-С.58-68.

4. Зинчук Н.Н. Особенности строения и состава коры выветривания на кимберлитовых породах // Вестник Пермского университета. Геология.-2016.- №-1 (30).-С.60-77.

**Об особенностях ксенолитов мантийных пород в кимберлитовых трубках. Зинчук Н.Н.\* (ЗЯНЦ АН РС (Я) - [nnzinchuk@rambler.ru](mailto:nnzinchuk@rambler.ru)), Зинчук М.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я) – [nnzinchuk@rambler.ru](mailto:nnzinchuk@rambler.ru))**

## Аннотация

Глубинные ксенолиты в кимберлитовых диатремах представляют три семейства пород: ультраосновные, основные и промежуточные при заметном преобладании в большинстве трубок первых, включающих дуниты, гарцбургиты, лерцолиты, ильменитовые перидотиты и вебстериты. Присутствие в кимберлитах групп глубинных ксенолитов и ксенозерен их минералов позволяют проводить реконструкции мантийных разрезов и в конечном итоге использовать эти материалы при прогнозно-поисковых работах на алмазы на перспективных территориях древних платформ мира.

## Ключевые слова

кимберлитовые трубки, ксенолиты мантийных пород.

## Теория. Результаты исследований и их интерпретация.

Глубинные ксенолиты в кимберлитах представляют три семейства пород: ультраосновные, основные и промежуточные. Преобладают в большинстве трубок первые, включающие дуниты (гранат+оливин+шпинель±алмаз), верлиты (гранат+оливин+клинопироксен+шпинель), гарцбургиты (гранат+оливин+ ортопироксен± алмаз), лерцолиты (гранат+оливин+ клинопироксен+ортопироксен+ шпинель), ильменитовые перидотиты (гранат+оливин+ ильменит+ортопироксен± клинопироксен± флогопит), вебстериты (гранат+ клинопироксен+ ортопироксен). По текстурно-структурным признакам они подразделяются на равномернозернистые (крупно- и среднезернистые гранобластовые или пойкилобластовые), и порфириновые (порфириовидные). Ультраосновные нодулы разделяют на две группы [1-3]: магнезиальные и магнезиально-железистые. Ксенолиты основных пород представлены магнезиально-железистыми, магнезиальными (нередко с энстатитом), дистеновыми и корундовыми эклогитами, гроспидитами. Среди гранатсодержащих ксенолитов ультраосновного состава выделяются ассоциации: 1) пироп+оливин, 2) пироп+оливин+ энстатит, 3) пироп+оливин+энстатит+диопсид, 4) пироп+оливин+диопсид, 5) пироп+энстатит+диопсид, 6) пироп +диопсид при наличии аксессуарных шпинелидов в большинстве ассоциаций и наиболее широком распространении третьей ассоциации с вариациями компонентов, а также пятой ассоциации. Перечисленные ассоциации устойчивы в широком диапазоне температур и давлений и охватывают графит-пироповую и алмаз-пироповую фации глубинности в соответствии с фазовой границей графит-алмаз [4]. Содержание хромовой компоненты и примеси натрия в гранатах, а калия в пироксенах - из парагенезисов алмаз-пироповой фации глубинности, указывают на их кристаллизацию при давлениях от 45-50 до 60-70 кбар [3], отвечая глубинам 150-230 км. Анализ распределения мантийных нодул в кимберлитах Сибирской платформы (СП) показывает, что для южной части региона примечательны высокомагнезиальные гранатовые перидотиты и пироксениты. Наиболее глубинные породы в пределах Мирнинского кимберлитового поля (МКП) представлены катаклазированными гранатовыми перидотитами. Над алмазосодержащими породами залегают недеформированные гранатовые перидотиты, переслаивающиеся с пестрыми

по составу гранатовыми пироксенитами. Наименее глубинный мантийный слой в трубке Мир представлен шпинелевыми и переходными гранатизированными шпинелевыми перидотитами и пироксенитами. В трубке Удачная мантийные нодулы представлены широким спектром пород, наиболее глубинными среди которых являются деплетированные в архейское время мегакристаллические перидотиты, которые являются материнскими для абсолютного большинства (более 90 %) алмазов этого региона [4]. В целом в кимберлитах данной трубки, аналогично трубкам Мир и Сытыканская, отмечены практически все известные в кимберлитовых диатремах СП разновидности ультраосновных и основных пород, но преобладающими являются [3] гранатовые лерцолиты порфиробластовые деформированные (более 39 % всех мантийных ксенолитов) и гранатовые лерцолиты (21 %). В трубке Сытыканская (Алакит-Мархинское поле), как и в трубке Мир, доминируют гранатовые лерцолиты, при значительной доле (15.3%) шпинелевых лерцолитов [3]. Здесь же несколько выше (более 5 %) встречаемость эклогитов и ильменитовых перидотитов. Мантийный разрез северной части провинции можно охарактеризовать по ксенолитам в кимберлитовой трубке Обнаженная, являющейся наиболее богатой включениями глубинных пород, содержание которых достигает 2,5 % [4]. В трубке выделяются два небольших участка, насыщенные нодулами: в одном из них преобладают перидотиты, а в другом - эклогиты. Отмечаются повышенные содержания безгранатовых перидотитов и разнообразных гранат-пироксеновых пород. Встречаются также своеобразные гранатовые пироксениты, переходные по содержанию оливина от эклогита к перидотиту, часто отмечаются пироксениты и перидотиты с развитием граната вокруг зерен хромшпинелида. Отличие мантийного материала трубки Обнаженная от такового большинства других трубок СП, в которых гранатовые перидотиты резко преобладают над всеми остальными разновидностями глубинных нодул, состоит в большом содержании гранатовых пироксенитов (38 %) и эклогитов (26 %). В трубке Обнаженная менее одной шестой глубинных нодул приходится [3] на породы, образовавшиеся при умеренных давлениях шпинелевой фации, - дуниты, перидотиты (лерцолиты, гарцбургиты) – около 3 % и пироксениты (энстатиты и вебстериты) – около 4 %, флогопитовые пироксениты и слюдиты, глиммериты, слюдистые перидотиты – около 8 %. К породам, сформировавшимся при более высоких давлениях, в зоне устойчивости пиропового граната, относятся гранатовые лерцолиты (9 %), пироксениты (40 %), эклогиты (13 %), ильменитсодержащие слюдиты и перидотиты (4 %), а также гранатизированные перидотиты и пироксениты, количество которых достигает 10 %. Для создания корректной статистической базы термодинамических реконструкций комплексно (с привлечением прецизионных методов изучения элементного состава) исследованы породообразующие и акцессорные минералы мантийных ассоциаций пяти кимберлитовых полей (Далдынского, Алакит–Мархинского, Верхне-Мунского, Мирнинского и Накынского), включая трубки Зарница и Долгожданная, Комсомольская, Сытыканская и Айхал, Деймос, Заполярная и Новинка, Мир, Дачная и Интернациональная, Нюрбинская и Ботубинская соответственно. В составах гранатов из трубок Далдынского поля проявляется тренд  $\text{Cr}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$  в пределах лерцолитового поля, который для трубки Зарница обнаруживает [1] дискретный характер с разрывом в интервале 8-9 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Гранаты из трубки Удачная отличаются тем, что тренд их составов трансформирует границу с гарцбургитовым полем. Гранаты из кимберлитовых трубок Алакит-Мархинского поля (рисунок 1) образуют протяженный тренд в пределах лерцолитового поля, субкальцевые гранаты появляются в массовых количествах, начиная с 6 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . В трубке Сытыканская более хромистые гранаты менее обогащены кальцием, что вместе с содержанием  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  может свидетельствовать о их пироксенитовом источнике из гранат-шпинелевой фации мантии. Гранаты из

трубки Комсомольская отличаются обогащением  $TiO_2$  на уровне гранат-шпинелевого перехода и глубже. Субкальциевые гранаты характерны для глубинных минеральных парагенезисов трубки Юбилейная, при тенденции обогащения  $TiO_2$  на уровне гранатовой и гранат-шпинелевой фаций верхней мантии. Наиболее богаты субкальциевыми гранатами кимберлиты трубки Айхал. В составах гранатов из трубок Верхне-Мунского поля (Заполярная, Новинка и Деймос) лерцолитовый тренд хорошо выражен лишь до 6,5%  $Cr_2O_3$ , что наглядно видно на примере трубки Заполярная. Гранаты из кимберлитовых трубок Накынского поля (особенно трубки Нюрбинская), на диаграмме  $Cr_2O_3 - CaO$  образуют протяженный лерцолитовый тренд до 10-12 %  $Cr_2O_3$  и параллельный ему в области гарцбургитовых составов; дунитовые парагенезисы с очень низкими содержаниями  $CaO$  встречаются при содержаниях  $Cr_2O_3$  10-12 % в кимберлитах трубки Ботуобинская и редки в трубке Нюрбинская. Обоим телам свойственны алмазоносные парагенезисы с альмандином (~24-26 %  $FeO$ ). Мантийные парагенезисы минералов из кимберлитов представляют различные уровни мантии, включая ее алмазоносные горизонты. Породы изученных кимберлитовых трубок СП с учетом дискриминантных отношений ( $K_2O-TiO_2$ ;  $SiO_2/MgO-Ti/Zr$ ;  $Nb/Zr$ ) объединены в три петрогеохимические группы.

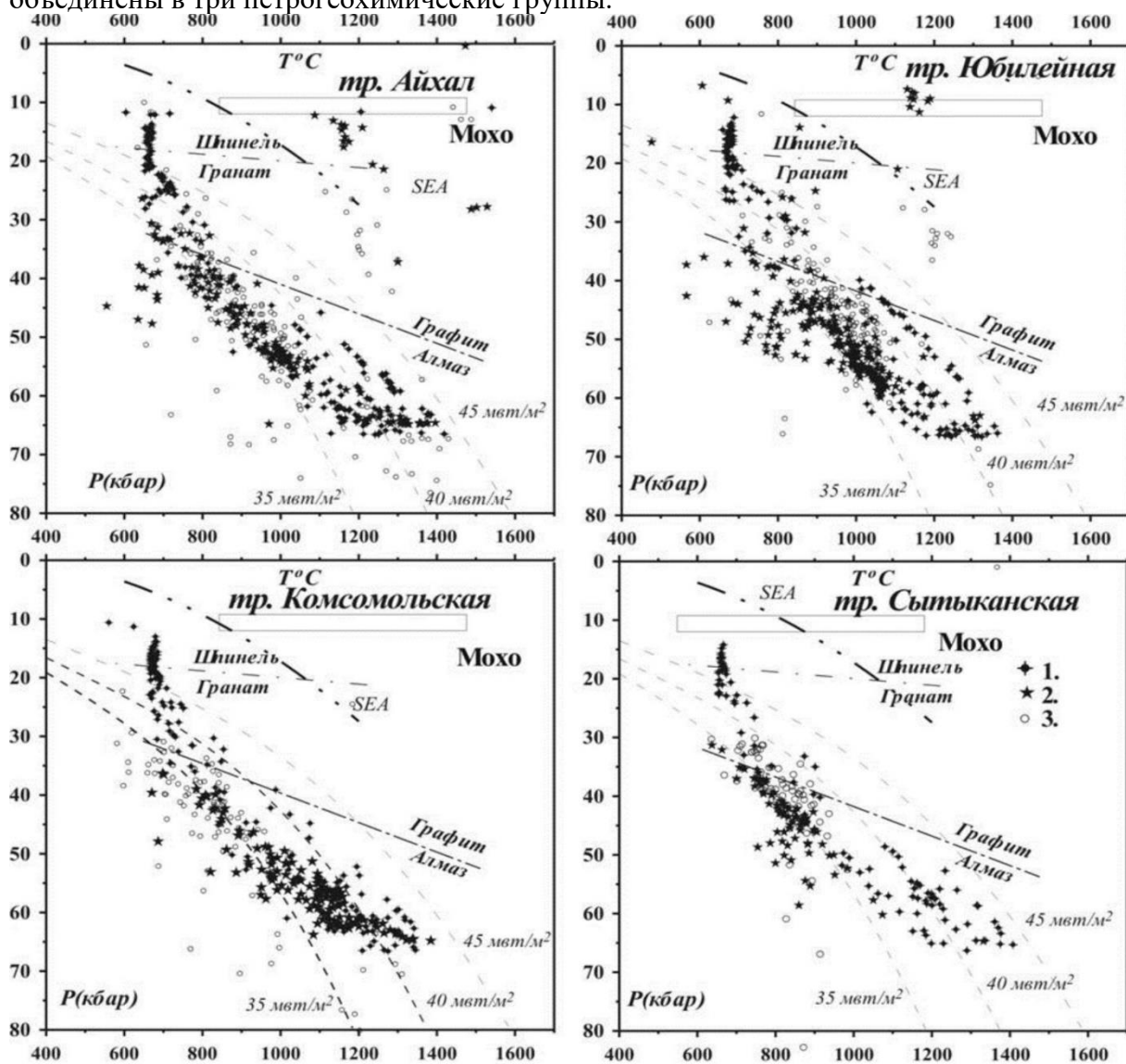


Рисунок 1. P-T-диаграммы для мантийных пород под трубками Алакит-Мархинского поля СП

## **Выводы**

Расчитанные термодинамические параметры эволюции исходного субстрата и выполненные реконструкции мантийных разрезов, позволили выявить зональность литосферной мантии кимберлитовой провинции, вероятной причиной чего была смена глубинных геодинамических обстановок. Присутствие в кимберлитах определенных групп глубинных ксенолитов, ксенозерен их минералов, химический и геохимический состав кимберлитов позволяет высказать предположение о составе пород верхней мантии, являющихся источником магмы каждой из выделенных типов моделей кимберлитов. Эти данные показывают, что причиной различной продуктивности кимберлитов является глубина заложения корней кимберлитовых очагов. Состав мантийного материала свидетельствует, что корни промышленно продуктивных кимберлитов залегают на большей глубине, чем слабо алмазоносных. Алмаз-пироповая фация включает алмазсодержащие и потенциально алмазоносные (по составу минералов идентичные алмазоносным) минеральные ассоциации: дуниты, верлиты, гарцбургиты и лерцолиты, а также гранатовые пироксениты и ильменитовые перидотиты. Алмазоносность кимберлитов определяется многими факторами, главными из которых являются: геолого-тектонические особенности районов распространения кимберлитового магматизма; состав вещества верхней мантии, генерирующего кимберлитовые расплавы; глубина заложения корней магматических очагов; скорость миграции (подъема) кимберлитового расплава в земную кору; сохранность алмазов в условиях земной коры (в диатремах); содержание "пустого" материала в кимберлитовых телах. Состав глубинных (мантийных) минералов (пироп, пикроильменит, хромшпинелид и др.), кристалломорфология и физические свойства алмазов дифференцированы на уровне провинции, поля и каждой трубки. Всестороннее исследование алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых диатрем позволили выработать систему анализа их типоморфных особенностей и провести, кроме регионального, среднемасштабное. Так, в пределах Лено-Анабарской субпровинции выделяется две алмазоносные области: Кютюнгинская (Приленская) и Анабаро-Оленекская. В россыпях первой области устанавливаются кристаллы октаэдрического габитуса (ассоциация «кютюнгинского» типа), характерные для богатого типа первоисточника кимберлитового генезиса. В россыпях Лено-Анабарской области наблюдается преобладание алмазов из первоисточника невыясненного генезиса (ассоциации «эбеляхского» типа) с преобладанием кристаллов П, У и УП разновидностей.

## **Библиография**

1. Зинчук М.Н., Зинчук Н.Н. О технологических особенностях некоторых индикаторных минералов кимберлитов // Разведка и охрана недр.-2018.-№-10.-С.43-51.
2. Зинчук Н.Н. Об особенностях изменения минералов в коре выветривания кимберлитов и их прикладное значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского.-Вып.15.-Пермь: ПГНУ.-2012.-С.21-30.
3. Зинчук Н.Н. Особенности геологии и минералогии коренных месторождений алмазов Далдыно-Алакитского района Сибирской платформы // Геммология. Материалы 6-й геммологической конференции.-Томск: Томский НЦТИ.-2013.-С.64-73.

4. Зинчук Н.Н. О контроле кимберлитового магматизма рифтогенными структурами // Руды и металлы.-2015.-№4.-С.51-62.

*Петрохимические особенности кимберлитовых трубок «Архангельская» и «им. Карпинского-1» (Архангельская алмазоносная провинция). Зыкова Е. Д. (МГРИ, eisigefjnsternis@gmail.com), Должанская Т. Ю. (МГРИ, dolzhanskaiati@mgri.ru)*

## Аннотация

В работе рассмотрено внутреннее строение кимберлитовых трубок «Архангельская» и «им. Карпинского-1» месторождения им. М. В. Ломоносова и изучены петрохимические особенности кимберлитовых брекчий и ксенотуфобрекчий; установлено различие в содержаниях халькофильных и сидерофильных элементов в этих породах.

**Ключевые слова:** Архангельская алмазоносная провинция, кимберлиты, петрохимия

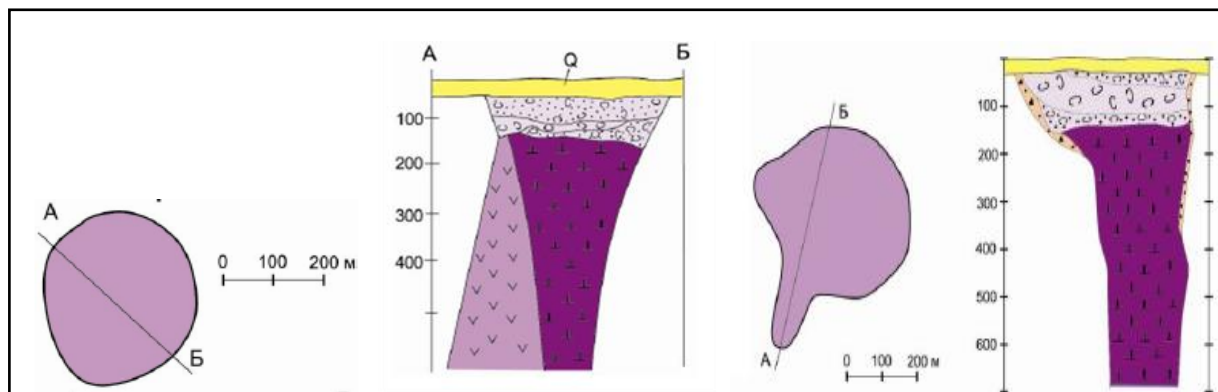
Архангельская алмазоносная провинция (ААП) расположена в районе Зимнебережного поднятия кристаллического фундамента. Месторождение алмазов им. М. В. Ломоносова находится в Приморском районе Архангельской области, в 100 км от г. Архангельска. В пределах месторождения выделяют 6 кимберлитовых трубок, из которых на сегодняшний день разрабатываются две – «Архангельская» и «им. Карпинского-1». Тела трубок взрыва с резким несогласием прорывают вендские песчаники, перекрываются каменноугольными и пермскими отложениями. Трубки имеют сложное внутреннее строение. Трубки представляют собой изометричные и близкие к изометричным конусы, суживающиеся к низу, имеет резкий –  $75-90^{\circ}$  – контакт с вмещающими породами. [1, 6]

Трубка «Архангельская» сложена кимберлитовой ксенотуфобрекчией в приконтактной зоне, порода имеет литокластическую, мелкопсефитовую структуру. Текстура массивная, брекчиевая, с неоднородным распределением обломков, пятнистая. Окраска темно-коричневая мелкопятнистая. Автолиты представлены мелкими, овальной и близкой к изометричной форме литокластами кимберлитов, среди них встречаются как ядерные, с темным ядром и серой каймой, так и безъядерные порфиоровые, сероватые. В промежуточной и центральной зоне трубке породы представлены кимберлитовой автолитовой брекчией коричнево-фиолетового цвета, с псефитовой структурой, пятнистой текстурой, которая обусловлена содержанием автолитов. Автолиты травянисто-зеленого цвета, встречаются как ядерные, с более темной каймой, так и безъядерные. Встречаются угловатые ассимилированные обломки вмещающих пород красно-коричневого цвета.

Трубка «им. Карпинского-1» также сложена кимберлитовыми ксенотуфобрекчиями и автолитовыми брекчиями. Кимберлитовая ксенотуфобрекчия из приконтактной зоны представляет собой породу красно-коричневого цвета, мелко- и скрытозернистую; текстура неравномерная пятнистая – среди темной основной массы выделяются более светлые розоватые участки; темно-коричневые обломки вмещающих песчаников и серо-зеленые автолиты размером до  $1 \times 0,5$  см. Автолиты встречаются как с четко выраженной зональностью, так и без зональности. Оторочка светлее центральной ядерной части. В промежуточной зоне кимберлитовая автолитовая



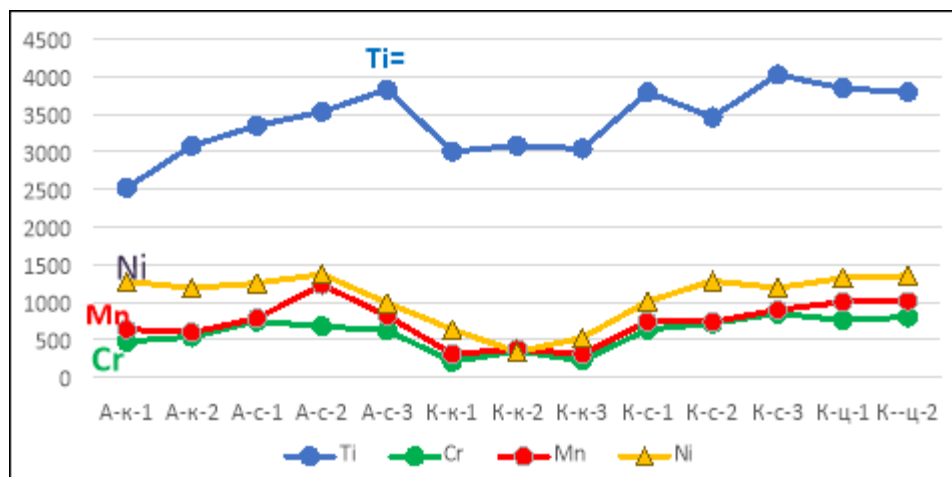
брекчия насыщенного фиолетового цвета с зелеными и серо-зелеными автолитами; автолиты есть как ядерные, так и безъядерные. Структура скрытокристаллическая, текстура массивная или пятнистая. Встречаются единичные обломки красно-коричневых вмещающих песчаников, обломки имеют сглаженные границы. Наблюдается наложенная кварцевая минерализация по трещинам. В центральной части трубки кимберлитовая брекчия серо-зеленого цвета, с литокластической структурой, пятнистой текстурой, пятна зеленого и красно-коричневого цвета. Автолиты серо-коричневого и темно-зеленого цвета, с более темной каймой, зональные.



**Рисунок 1.** Схематичные разрезы кимберлитовых трубок «им.Карпинского-1» (1) и «Архангельская» (2). [4]

Среди кимберлитов ААП исследователи выделяют две серии – железотитанистую и глиноземистую, к последней относятся кимберлиты месторождения им. Ломоносова. Промышленно-алмазоносные кимберлиты трубок месторождения им. М.В. Ломоносова по сравнению с кимберлитами трубки им. В. Гриба обладают пониженным содержанием MgO (до 28,18 мас.%), FeO (до 1,83 мас.%), повышенными содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (от 2,66 до 4,61 мас.% для отдельных трубок), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,69-9,16 мас.%), FeO<sub>sum</sub> и CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O среди породообразующих оксидов. [2, 3]

По данным наших исследований кимберлитов из разных частей трубок методом РФА наблюдается явная тенденция в увеличении титана, хрома, марганца и никеля в срединных частях трубок «Архангельской» и «им. Карпинского – 1», по сравнению с краевыми зонами этих тел. Но, если для трубки Архангельской параметры хрома, марганца и никеля содержания 500-1500 ppm значительно выше краевых частей Карпинского-1 (200-600 ppm), то и средних частях они увеличиваются соответственно в 2 – 4 раза. Количество титана также имеет такой же тренд увеличения к центру трубок (рис. 2). Замеры, полученные для центральной части трубки Карпинского-1 позволяют говорить, что количество титана, хрома, марганца и никеля там постепенно увеличивается, что соответствует третьей – центральной – зоне. В обеих трубках незначительно увеличиваются полученные содержания Mg и Ca. С помощью метода РФА получены данные по содержаниям в кимберлитах трубок магния, кальция, стронция и рубидия, соотношения последних друг к другу указывает на мантийное происхождение пород, возможно, с частичным плавлением нижней коры. Подтверждаются данные исследователей, утверждающих, что в трубке «им. Карпинского – 1» периферия сложена ксенотуфобрекцией с низкими содержаниями железа, хрома, марганца, никеля и титана, центральная же часть представлена кимберлитовой автолитовой брекцией с высокими показателями этих элементов. [5]



**Рисунок 2.** График содержания сидерофильных и халькофильных элементов в различных частях трубок «Архангельская» и «им. Карпинского-1» (данные РФА МГРИ, 2023)

Полученные результаты позволяют сделать некоторые выводы:

- 1) В трубках «Архангельская» и «им. Карпинского-1» от краевых зон к центру увеличиваются содержания титана в 2 – 4 раза, содержания марганца, никеля и хрома также увеличиваются от краевых зон к центральным.
- 2) Соотношения стронция к рубидию указывают на мантийное происхождение кимберлитов.
- 3) В целом, установлено, что высокие содержания Mg и Ca характерны для более алмазоносных кимберлитов.

## Библиография

1. Богатиков О.А., Гаранин В. К., Кононова В. А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). - М., МГУ, 2000.
2. Гаранин К. В., Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П. Петрохимия и минералогия щелочно-ультраосновных магматитов на территории Архангельской алмазоносной провинции и модели их формирования. – Пермь, 2008.
3. Криулина Г. Ю., Гаранин В. К., Васильев Е. А. Термическая история алмаза кимберлитовых трубок Архангельская и Карпинского-1. – Санкт-Петербург, 2022.
4. Посухова Т. В., Вержак В.В., Веричев Е. М., Гаранин В. К., Головин Н. Н., Зуев В. В., Кудрявцева Г.П. Атлас «Морфогенез алмаза и минералов-спутников в кимберлитах и родственных породах Архангельской кимберлитовой провинции». Москва, 2004.
5. Третьяченко В.В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья. Автореферат
6. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. М.: Недра. 1997. 601 с.

*Лобановит из Хибинского щелочного массива: история открытия и новые данные. Ильин Г.С.\* (ФИЦ КНЦ РАН, [g.ilin@ksc.ru](mailto:g.ilin@ksc.ru)), Чуканов Н.В. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, [nikchukanov@yandex.ru](mailto:nikchukanov@yandex.ru)), Лисицин Д.В. (ФБУ «Музей Самоцветы», [dima@mineralogist.ru](mailto:dima@mineralogist.ru)), Варламов Д.А. (ИЭМ РАН, [dima@iem.ac.ru](mailto:dima@iem.ac.ru)), Вайтиева Ю.А. (ФИЦ КНЦ РАН, [yulia.vaitieva@yandex.ru](mailto:yulia.vaitieva@yandex.ru)), Аксенов С.М. (ФИЦ КНЦ РАН, [aks.crys@gmail.com](mailto:aks.crys@gmail.com))*

## Аннотация

Образец лобановита был найден в пегматите, вскрытом Коашвинским карьером Восточного рудника АО «Апатит» (гора Коашва, Хибинский щелочной массив). Химический состав изучен методом рентгеноспектрального микроанализа. Кристаллическая структура определена методом рентгеноструктурного анализа (параметры моноклинной ячейки:  $a = 5.3329(1)$ ,  $b = 23.1500(5)$  Å,  $c = 10.3844(2)$  Å,  $\beta = 99.640(2)^\circ$ ,  $V = 1263.92(4)$  Å<sup>3</sup>; пр. гр.  $C2/m$ ) и уточнена до итогового = 2.8% с использованием  $1918I > 3\sigma(I)$ . Из-за сложного химического состава и большого числа структурных позиций распределение катионов проводилось на основе кристаллохимических критериев (средние расстояния катион-анион в позиции, а также число электронов  $e_{calc}$ ). Уточненная кристаллохимическая формула имеет вид ( $Z = 2$ ):  $A(K_{0.93}Ba_{0.01}□_{0.06})_2 B(Na_{0.95}Ca_{0.05}) [^{M1}Na^{M2}(Fe^{2+}_{0.555}Mn_{0.445})_2 ^{M3}(Fe^{2+}_{0.525}Mg_{0.375}Ca_{0.065}Na_{0.035})_2 ^{M4}(Mg_{0.57}Fe^{2+}_{0.35}Na_{0.08})_2(OH)_4] [^D(Ti_{0.885}Fe^{3+}_{0.09}Nb_{0.025})O(Si_4O_{12})F_{0.1}]_2$ . В целом, образец лобановита из пегматита близок к описанным ранее, но характеризуется некоторыми особенностями строения и состава.

## Ключевые слова

Хибинский щелочной массив, лобановит, надгруппа астрофиллита, магнезиоастрофиллит, кристаллохимия.

## Источники финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ №20-77-10065.

## Введение

Впервые необычный тонковолокнистый астрофиллит с повышенным содержанием магния был описан Е.И. Семеновым в 1959 году: «Минерал имеет светло-желтую, иногда зеленоватую окраску. [...] По химическому составу астрофиллит с горы Кукисвумчорр отличается необычно высоким содержанием магния (6.39% MgO), титана (17.22% TiO) и необычно низким для минерала из нефелин-сиенитовых пегматитов содержанием марганца (1.84% MnO).» [2]. Позже была расшифрована кристаллическая структура этой магниевой разновидности, которая характеризовалась моноклинной симметрией, что существенно отличало ее от обычного астрофиллита, для которого типичной является триклинная симметрия [5].

Дальнейшие исследования показали, что «магниевый астрофиллит» отличается от всех других представителей надгруппы астрофиллита топологическими особенностями строения трехслойных *НОН*-модулей [6]: в отличие от триклинного астрофиллита, где *H*-слои связаны центром инверсии, в моноклинной структуре эти слои связаны поворотной осью второго порядка, проходящей через плоскость *O*-слоя [3,4,6]. Интересно отметить, что подобный сдвиг внешних *H*-сеток относительно

центрального октаэдрического *O*-слоя с формированием различных политипов был теоретически предсказан ранее [1]. Поскольку в отечественной и зарубежной литературе была путаница в названиях («моноклинный астрофиллит», «магниево-астрофиллит», «магнезиоастрофиллит») из-за отсутствия формальной процедуры утверждения в качестве самостоятельного минерального вида, было принято решение переутвердить данный минеральный вид с новым названием лобановит (в честь член-корреспондента РАН К.В. Лобанова – известного российского геолога, проработавшего на Кольском полуострове более сорока лет и руководившего работами на Кольской сверхглубокой) [8].

Лобановит имеет идеализированную химическую формулу  $K_2Na(Fe^{2+}_4Mg_2Na)Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4$  и входит в надгруппу астрофиллита, представители которой характеризуются общей формулой  $A_{2p}B_rC_7D_2(Si_4O_{12})_2IX^O_{D2}X^O_{A4}X^P_{Dn}W_{A2}$ , где  $C = Fe^{2+}, Mn, Na, Mg, Zn, Fe^{3+}, Ca, Zr, Li$  – катионы, располагающиеся в *M*-позициях октаэдрического *O*-слоя;  $D = Ti, Nb, Zr, Sn^{4+}, Fe^{3+}, Mg, Al$  – катионы, располагающиеся в *L*-позициях гетерополиэдрического *H*-слоя;  $A = K, Cs, Ba, H_2O, Li, Pb^{2+}, Na, \square; p = 1, 2; B = Na, Ca, Ba, H_2O, \square; p = 1, 2; X^O_D = O; X^O_A = OH, F; X^P_{Dn} = O, OH, F, H_2O, \square; n = 0, 1, 2; W_A = H_2O, \square; I$  (в структуре девитоита) =  $(PO_4)_2(CO_3)$  [7]. Как уже было отмечено ранее, основу кристаллических структур представителей данной надгруппы составляют трехслойные *HOH*-модули с общей формулой  $\{^{[6]}M_7\emptyset_4^{[5-6]}LO(Si_4O_{12})\Theta_n\}_2$ , где  $\emptyset$ -лиганды ( $X^O_A$ -анионы) принадлежат октаэдрическому *O*-слою, а  $\Theta$ -лиганды ( $X^P_D$ -анионы) – «апикальные» ( $n = 1$ ) или «мостиковые» ( $n=0.5$ ) вершины  $L\phi_6$ -октаэдров соседних *HOH*-модулей. Согласно современной номенклатуре [7] лобановит относится к группе девитоита, для которых характерна тетрагонально пирамидальная координация катионной *L*-позиции ( $LO_5$ -пятивершинник;  $n=0$ ) в гетерополиэдрической *H*-сетке.

Нами изучен лобановит из пегматита, вскрытого Коашвинским карьером Восточного рудника АО «Апатит» (гора Коашва, Хибинский щелочной массив). В изученном образце лобановит образует округлые тёмно-коричневые агрегаты, состоящие из отдельных хорошо сформированных кристалликов в массивном натролите. В ассоциации также встречены щербаковит, содалит (гакманит) и пектолит.

### Экспериментальная часть

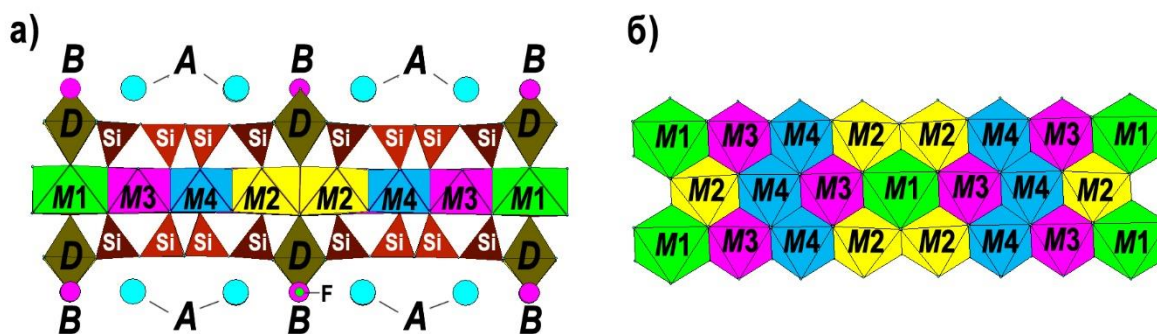
Химический состав изученного лобановита методом рентгеноспектрального микроанализа с применением растрового электронного микроскопа Tescan Vega-II XMU (режим EDS, 20 кВ, 400 пА) и использованием системы регистрации рентгеновского излучения и расчёта состава INCA Energy 450. Диаметр электронного пучка составил 157–180 нм. Время накопления сигнала составляло 100 секунд. Эмпирическая формула, рассчитанная на 8 атомов кремния, имела вид ( $Z = 2$ ):  $(Na_{1.90}K_{1.86}Ca_{0.18}Ba_{0.02})(Fe_{3.04}Mg_{1.89}Mn_{0.89}Al_{0.05}Cr_{0.01})(Ti_{1.7}Nb_{0.05})Si_8$ .

Рентгеноструктурные исследования лобановита выполнены на монокристалльном рентгеновском дифрактометре Rigaku XtaLAB Synergy-S ( $MoK\alpha$ -излучение). Параметры моноклинной ячейки:  $a = 5.3329(1), b = 23.1500(5) \text{ \AA}, c = 10.3844(2) \text{ \AA}, \beta = 99.640(2)^\circ, V = 1263.92(4) \text{ \AA}^3$ . Выбор пространственной группы (пр. гр.) для лобановита является дискуссионным [3,4] и связан с характером катионного упорядочения в октаэдрических позициях *HOH*-модуля. Так, кристаллическая структура может описываться пр. гр.  $C2/m$  или  $C2$ , которые характеризуются одним набором решетчатых погасаний и не могут быть отличимы напрямую из дифракционных данных. Исходя из

последних данных о кристаллической структуре лобановита [7,9], для дальнейшего уточнения нами была выбрана высокосимметричная пр. гр.  $C2/m$  ( $R_{int}=2.1\%$ ). Структура уточнена до итогового значения  $R = 2.8\%$  с использованием  $1918I > 3\sigma(I)$ . Из-за сложного химического состава и большого числа структурных позиций распределение катионов проводилось на основе кристаллохимических критериев (средние расстояния катион-анион в позиции, а также число электронов  $e_{calc}$ ).

### Обсуждение результатов

Кристаллическая структура изученного лобановита аналогична, в целом, описанной ранее [5,6,8,9], а уточненная кристаллохимическая формула имеет вид ( $Z = 2$ ):  $A(K_{0.93}Ba_{0.01}□_{0.06})_2 B(Na_{0.95}Ca_{0.05}) [^{M1}Na^{M2}(Fe^{2+}_{0.555}Mn_{0.445})_2 ^{M3}(Fe^{2+}_{0.525}Mg_{0.375}Ca_{0.065}Na_{0.035})_2 ^{M4}(Mg_{0.57}Fe^{2+}_{0.35}Na_{0.08})_2(OH)_4] [^D(Ti_{0.885}Fe^{3+}_{0.09}Nb_{0.025})O(Si_4O_{12})F_{0.1}]_2$ , где квадратными скобками выделены основные ключевые фрагменты структуры – центральный октаэдрический  $O$ -слой и внешние гетерополиэдрические  $H$ -сетки (Рис. 1).



**Рисунок 1.** Основные фрагменты кристаллической структуры лобановита: НОН-модуль (а) и центральный октаэдрический О-слой (б).

В кристаллической структуре изученного лобановита в центральном октаэдрическом слое НОН-модуля (Рис. 1)  $M1$ -позиция, характеризующаяся наибольшим средним расстоянием катион-анион ( $\langle M1-O \rangle = 2.372 \text{ \AA}$ ) полностью заселена атомами натрия (по аналогии с другими изученными лобановитами).  $M2$ - и  $M3$ -позиции заселены, преимущественно, атомами двухвалентного железа (0.555 и 0.525 атома, соответственно), а дефицит компенсируется марганцем (0.445 атома) в  $M2$ -позиции и магнием (0.375 атома) с примесью кальция (0.065 атома) и натрия (0.035 атома) в  $M3$ -позиции. В наименьшем  $M4$ ф<sub>6</sub>-октаэдре ( $\langle M4-O \rangle = 2.096 \text{ \AA}$ ) статистически преобладает магний (0.57 атома), а его недостаток компенсируется двухвалентным железом (0.35 атома) и небольшой примесью натрия (0.08 атома). Средние значения расстояний катион-анион в  $M$ ф<sub>6</sub>-октаэдрах соответствуют известной последовательности [6]:  $M1 > M2 > M3 > M4$  ( $2.372 \text{ \AA} > 2.167 \text{ \AA} > 2.113 \text{ \AA} > 2.096 \text{ \AA}$ , соответственно) и укладываются в диапазон расстояний  $\Delta l_i \sim 0.3 \text{ \AA}$ . Анионные  $O$ -позиции представлены ОН-группами, что подтверждается данными ИК-спектроскопии.

В  $L$ -позиции внешних  $H$ -сеток НОН-модуля, заселенных  $D$ -катионами, помимо преобладающего титана (0.885 атома), установлено также присутствие трехвалентного железа (0.09 атома) и ниобия (0.025 атома). На разностных синтезах нами был локализован пик электронной плотности, соответствующий  $\Theta$ -позиции, которая

заселена фтором (0.1 атома), что свидетельствует о статистическом объединении соседних *НОН*-модулей через общие вершины *L*<sub>6</sub>-октаэдров (по аналогии со структурными типами астрофиллита-1*T* и -2*M*). В пространстве между *НОН*-модулями в *A*- позиции преобладает калий (0.93 атома), а его недостаток частично компенсируется барием (0.01 атома). В *B*- позиции преобладает натрий (0.95 атома), а также установлена примесь кальция (0.05 атома).

Интересной особенностью химического состава и строения изученного лобановита является присутствие Nb в *L*-позиции, а также Ba и Ca в пространстве между модулями, что ранее не отмечалось [5,6,8,9].

## Выводы

Таким образом, нами был изучен состав и кристаллическая структура лобановита из пегматита горы Коашва. В целом, изученный образец близок к опубликованным ранее, но несколько отличается особенностями распределения катионов по основным позициям. Так, в *L*-позиции, наряду с титаном, впервые установлена примесь трехвалентного железа и ниобия. В межпакетном пространстве выявлено частичное замещение катионов калия и натрия на барий и кальций, что не отмечалось в предыдущих публикациях. Локализованная из разностного синтеза электронной плотности  $\Theta$ -позиция (заселенная 0.1 атома фтора) свидетельствует о статистическом объединении соседних *НОН*-модулей через общие вершины *L*<sub>6</sub>-октаэдров (по аналогии со структурным типом астрофиллита).

## Библиография

1. Звягин Б.Б., Врублевская З.В. // Кристаллография. 1976. Т. 21. № 5. С. 949–954.
2. Семенов Е.И. // Тр. Минералогического музея АН СССР. 1959. Вып. 9. С. 120–123.
3. Ямнова Н.А. Кристаллохимия новых природных и синтетических соединений с гетерополиэдрическими комплексами. М.: ГЕОС, 2021. 376 с.
4. Ямнова Н.А., Аксенов С.М. // Кристаллография. 2022. Т. 67. № 4. С. 153–169.
5. Shi N., Ma Z., Li G., et al. // Acta Crystallographica B. 1998. V. 54. P. 109-114
6. Sokolova E., Cámara F. // European Journal of Mineralogy. 2008. V. 20. P. 253-260.
7. Sokolova E., Cámara F., Hawthorne F.C., Ciriotti M.E. The astrophyllite supergroup: nomenclature and classification // Mineralogical Magazine. 2017. V. 81. P. 143-153.
8. Sokolova E., Cámara F., Hawthorne F.C., Semenov E.I., Ciriotti M.E. Lobanovite,  $K_2Na(Fe^{2+}_4Mg_2Na)Ti_2(Si_4O_{12})_2O_2(OH)_4$ , a new mineral of the astrophyllite supergroup and its relation to magnesioastrophyllite // Mineralogical Magazine. 2017. V. 81. P. 175-181.
9. Zhitova E.S., Zolotarev A.A., Hawthorne F.C., et al. // Acta Crystallographica B. 2019. V. 75. P. 578–590.

**Необычно богатый железом согдианит из месторождения Дара-й-Пиоз (Таджикистан). Канева Е.В.\* (ИГХ СО РАН, kev604@mail.ru), Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН, r.shendrik@gmail.com), Радомская Т.А. (ИГХ СО РАН, taniaojigova@mail.ru), Белозерова О.Ю. (ИГХ СО РАН, obel@jgc.irk.ru)**

## Аннотация

Представлены результаты комплексного исследования образца согдианита из месторождения Дара-й-Пиоз (Таджикистан). Установлены кристаллохимические особенности и природа пурпурно-розовой окраски минерала.

## Ключевые слова

Согдианит, массив Дара-й-Пиоз, кристаллохимия, природа окраски

## Источники финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183, <https://rscf.ru/project/22-27-00183/>.

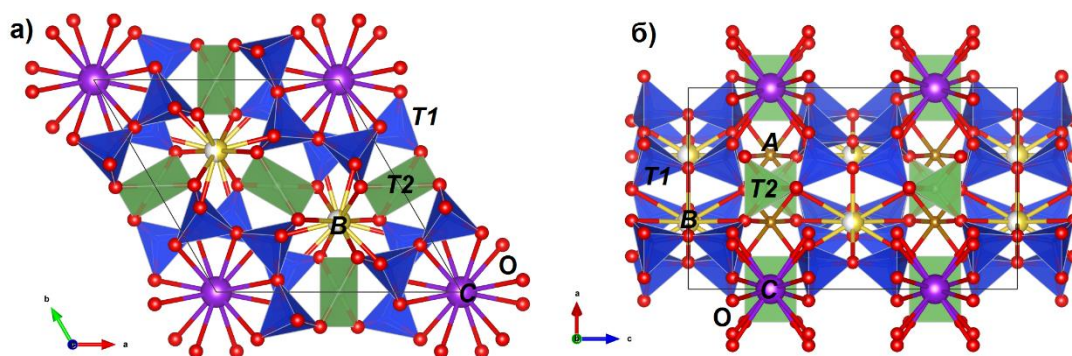
## Теория

Согдианит был впервые найден на месторождении Дара-й-Пиоз, Таджикистан, и описан в [1 и 2]. Минерал относится к группе миларита, имеющей общую формулу  $VI A_2 IX B_2 XII C^{XVIII} D^{IV} (T2)_3^{IV} (T1)_{12} O_{30}$  [4], где в случае согдианита  $A = Zr, Fe, Ti$ ;  $B = Na, \square$  (вакансия);  $C = K$ ;  $T1 = Si$ ;  $T2 = Li$ . Позиция  $D$  в минералах группы миларита может быть занята  $H_2O$  (присутствует в миларите и армените).

Структура миларитового типа (Рисунок 1а) имеет гексагональную симметрию (пространственная группа  $P6/mcc$ ) в ней несиликатные тетраэдры  $T2$  связывают 12-членные двойные кольца силикатных тетраэдров в трёхмерный каркас (Рисунок 1б). Этот структурный тип представляет значительный интерес по двум причинам. Во-первых, он демонстрирует очень широкий диапазон заполнения позиции  $T2$  ( $T2 = Li, Be, B, Mg, Al, Si, Mn^{2+}$  и  $Zn$ ) и позиции  $A$  ( $Al, Fe^{3+}, Sn^{4+}, Mg, Zr, Fe^{2+}, Ca, Na, Y$  и РЗЭ). Во-вторых, некоторые виды являются оптически одноосными, тогда как другие демонстрируют «аномальное» двуосное поведение [9].

Park et al. [11] в 2007 сообщали о механизме переноса заряда  $Li$ , осуществляемом между позициями  $T2$  и  $A$  через вакансии в позициях  $B$  в кристаллической структуре согдианита при высоких температурах. Исследования указанных авторов показали, что кристаллические фазы типа согдианита могут найти применение в качестве высокотемпературных суперионных проводников, и поэтому необходимы их более детальные исследования для дальнейшего применения в качестве перспективных материалов. В рамках повышенного интереса как к минералам группы миларита, так и к роли легких литофильных элементов в минералах, нами были осуществлены кристаллохимические исследования образца согдианита.

Для определения химического состава образца использовался электронно-зондовый микроанализатор JXA-8200 Jeol (Япония), оснащенный спектрометрами с волновой дисперсией. Результаты химического анализа представлены в Таблице 1.



**Рисунок 1.** Кристаллическая структура миларитового типа (а) в проекции вдоль оси *c*; (б) спроецирована ортогонально оси *c*. Условные обозначения: T1 – синие тетраэдры; T2 – тетраэдры зеленого цвета; позиция A – маленькие коричневые сферы; позиция B – жёлтые сферы; позиция C – фиолетовые сферы.

**Таблица 1.** Химический состав и количество атомов в формульной единице исследуемого образца согдианита (среднее из 4 зерен).

Оксиды	Мас.%	Диапазон	Атомов на формульную единицу	
Na <sub>2</sub> O	2.95	2.60–3.90	Na	0.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.75	0.66–0.83	Al	0.15
SiO <sub>2</sub>	70.28	68.42–71.72	Si	12.00
K <sub>2</sub> O	4.62	4.54–4.71	K	1.00
TiO <sub>2</sub>	3.54	2.70–3.89	Ti	0.45
MnO	0.01	0.00–0.04	Mn	–
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.74	5.31–7.64	Fe <sup>3+</sup>	0.74
ZrO <sub>2</sub>	7.66	6.99–8.99	Zr	0.64
Li <sub>2</sub> O	4.37*	–	Li	3.00
Всего	99.92			

\*рассчитан с учетом условия электронейтральности формулы

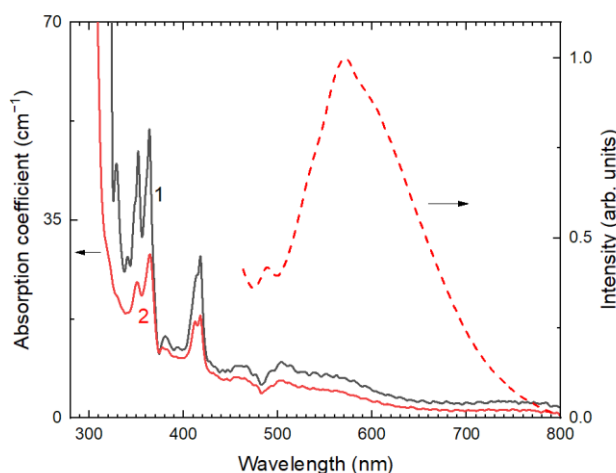
Эмпирическая формула исследуемого образца:  $(\text{Fe}^{3+}_{0.74}\text{Zr}_{0.64}\text{Ti}_{0.45}\text{Al}_{0.15})(\square_{1.02}\text{Na}_{0.98})\text{K}[\text{Li}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$ . Проведенные в работе [6] Мёссбауэровские исследования показали, что в октаэдрической позиции A в согдианите находится Fe<sup>3+</sup>, а Fe<sup>2+</sup> отсутствует в структуре минерала.

Образец согдианита, изученный в работе [3], имеет схожий с полученным нами химический состав, формулу  $(\text{Zr}_{0.75}\text{Fe}^{3+}_{0.72}\text{Ti}_{0.38}\text{Al}_{0.13})(\square_{1.15}\text{Na}_{0.85})\text{K}[\text{Li}_3\text{Si}_{12.02}\text{O}_{30}]$  и представляет собой твердый раствор преимущественно между согдианитом (So) и сугилитом (Su) с примесью березанскита (Be) и алюмосугилита (Sa) с формулой  $(\text{So}_{0.38}\text{Su}_{0.37}\text{Be}_{0.19}\text{Sa}_{0.06})$ . Используя этот принцип, наш образец может быть описан как:  $\text{Su}_{0.37}\text{So}_{0.32}\text{Be}_{0.23}\text{Sa}_{0.08}$  – твердый раствор преимущественно между сугилитом  $(\text{Fe}^{3+}_2\text{Na}_2\text{KLi}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30})$  и согдианитом  $(\text{Zr}\square\text{KLi}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30})$  с небольшим количеством березанскитового  $(\text{Ti}_2\square\text{KLi}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30})$  и алюмосугилитового  $(\text{KNa}_2\text{Al}_2\text{Li}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30})$  миналов. Однако в полученном нами составе минерала четырехвалентных катионов в позиции A больше, чем трехвалентных, а Na в положении B не преобладает над вакансией. Тогда, согласно правилу использования заряда конечных членов изоморфных рядов при гетеровалентных замещениях в сложных минералах, предложенному в работах [7 и 8],



исследуемый образец имеет идеальный состав конечного члена изоморфного ряда с  $A_2 = M^{4+}_2$ ;  $B_2 = \square_2$ , который соответствует согдианиту.

Спектр поглощения согдианита приведен на Рисунке 2. В нем наблюдается ряд относительно узких полос в области 420, 365, 350 и 330 нм, а также малоинтенсивные широкие полосы поглощения в области 500 и 580 нм. В сугилите, добываемом в Южной Африке и используемом как драгоценный камень из-за его яркого пурпурового, фиолетового или розового цвета, наблюдался схожий спектр поглощения [5], однако интенсивность полос поглощения в области 500–580 нм была существенно выше, что обеспечивало более пурпуровый оттенок цвета. Исследуемый в данной работе согдианит имеет более нежный розовый оттенок.



**Рисунок 2.** Спектр поглощения участков различной интенсивностью окраски исследуемого согдианита: (1) более интенсивно окрашенная область, (2) менее интенсивно окрашенная область. Пунктирной линией показан спектр люминесценции согдианита при возбуждении в полосах поглощения.

При возбуждении в полосах поглощения наблюдается широкая полоса люминесценции с максимумом в области 570 нм. В исследуемых образцах также наблюдался ЭПР сигнал, связанный с  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ . Они являются изоэлектронными катионами с электронной конфигурацией  $d^5$ . Таким образом, в них наблюдаются одинаковые d-d переходы и спектры поглощения схожи. Однако люминесценция  $Fe^{3+}$  лежит в более коротковолновой области – 700–850 нм, тогда как полоса люминесценции  $Mn^{2+}$  находится в области 550–650 нм. Анализ спектров комбинационного рассеяния в базе данных RRUF для сугилита (Sugilite R070623) и согдианита (Sogdianite R050648) показывает, что в сугилите (Sugilite R070623) наблюдается люминесценция в области 580–650 нм – они имеют более пурпуровый оттенок, а в согдианите (Sogdianite R050648) в области 800 нм этот образец имеет выраженный желто-пурпуровый цвет.

Таким образом, можно сделать вывод, что полосы поглощения в исследованном согдианите и его пурпурно-розовая окраска связана с переходами d-d в  $Mn^{2+}$ .

Также в некоторых сугилитах [5] наблюдалась широкая полоса поглощения в области 500–600 нм, которая приписывалась  $Mn^{3+}$ -центрам. В исследованном в данной работе согдианите эта полоса имеет меньшую интенсивность, однако в ней

возбуждается люминесценция в области 780 нм, связанная с  $\text{Fe}^{3+}$ . Таким образом, можно предположить, что данная полоса связана как с переходами  ${}^6\text{A}_{1g} \rightarrow {}^4\text{T}_{2g}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  ионах [10].

## Выводы

Изученный образец – согдианит, кольцевой силикат группы миларита с кристаллической структурой, образованной шестичленными двойными тетраэдрическими кольцами, с эмпирической формулой:  $(\text{Fe}^{3+}_{0.74}\text{Zr}_{0.64}\text{Ti}_{0.45}\text{Al}_{0.15})(\square_{1.02}\text{Na}_{0.98})\text{K}[\text{Li}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]$ . Исследуемый согдианит имеет пурпурно-розовый оттенок, проявление которого связано с d-d-переходами в ионе  $\text{Mn}^{2+}$ .

## Библиография

1. Бакакин В.В., Балко В.П., Соловьева Л.П. Кристаллические структуры миларита, арменита и согдианита // Кристаллография. – 1974. – Т. 19. – № 4. – С. 741-745
2. Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф. Катаева З.Т., Хорошилова Л.А., Янулов К.П. Согдианит новый минерал // Доклады АН СССР. – 1968. – Т. 182. – № 5. – С. 1176-1177.
3. Cooper M. A., Hawthorne F. C., Grew, E. S. The crystal chemistry of sogdianite, a milarite-group mineral // American Mineralogist. – 1999. – V. 84. – № (5-6). – P. 764–768.
4. Forbes W.C., Baur W.H., Kahn A.A. Crystal chemistry of milarite-type minerals // American Mineralogist. – 1972. – V. 57. – P. 463–472.
5. Fritsch E., Shigley J. E. Causes of the purple and pink colours of manganoan sugilites from the Wessels mine, South Africa // Mineralogical Magazine. – 1994. – V. 58. – № 393. – P. 681–685.
6. Geiger C.A., Grodzicki M. A  ${}^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectroscopic study of sogdianite: an example of a symmetric electric field gradient around  $\text{Fe}^{3+}$  // Physics and Chemistry of Minerals. – 2012. – V. 39. – P. 73–78.
7. Hawthorne F.C. The use of end-member charge-arrangements in defining new mineral species and heterovalent substitutions in complex minerals // Canadian Mineralogist. – 2002. – V. 40. – № 2. – P. 699–710.
8. Hawthorne F.C. On the definition of distinct species: a critique of current IMA-CNMNC procedures // Mineralogical Magazine. – 2023. – P. 1–31. doi:10.1180/mgm.2023.8.
9. Janeczek J. Chemistry, optics, and crystal growth of milarite from Strzegom, Poland // Mineralogical Magazine. – 1986. – V. 50. – P. 271–277.
10. Kutty T. R. N., Nayak M. Cation coordination and  $\text{Fe}^{3+}$  luminescence in  $\text{LiAlO}_2$  polymorphs prepared by a hydrothermal method // Materials Research Bulletin. – 1999. – V. 34. – № 2. – P. 249–262.
11. Park S.H., Hoelzel M., Boysen H., Schmidbauer E. Lithium conductivity in an Li-bearing double-ring silicate mineral, sogdianite // Journal of Solid State Chemistry. – 2007. – V. 180. – № 4. – P. 1306–1317.

**Формационные типы оруденения, связанного с интрузиями. Каримова Ф.Б.\*,  
Ахунджанов Р. (Институт геологии и геофизики им.Х.М.Абдуллаева, г.Ташкент,  
Узбекистан, karimova@mail.ru)**

### **Аннотация**

Рассматриваются формационные типы оруденения, связанного с интрузиями. Благодаря научным работам Х.М.Абдуллаева, О.А.Богатикова, В.И.Коваленко, Р.М.Константинова, В.С.Коптева-Дворникова, В.В.Ляховича, А.А.Маракушева, И.Х.Хамрабаева, Е.Т.Шаталова и многих других, мы располагаем рядом критериев выявления металлогенической специализации магматических образований и прогнозной оценки рудных районов.

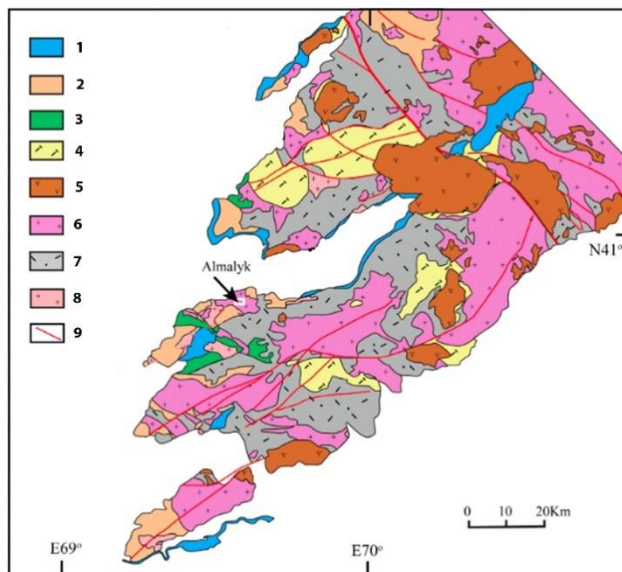
### **Ключевые слова**

Полихронный, полифациальный, полиформационный магматизм, рудно-магматические системы, флюидопоток.

### **Теория**

Продолжая разработку проблемы связи рудогенезиса с петрогенезисом И.Х.Хамрабаев [5, 6] пришел к заключению о том, что формирование сверхкрупных эндогенных месторождений Алмалыка (рисунок 1), связанных с магматическими процессами происходит длительное время (50-60 млн. лет). Он писал, что задолго до затвердевания расплава протекает постоянное обеспечение апикальной части магматической колонны флюидами и рудным веществом. Это приводит к увеличению давления, скрытым взрывам и массовому выделению рудоносных флюидов из остывающего расплава и накопление их в около- (над-) интрузивной зоне. В соответствии с этими представлениями, нами разработаны [2] петролого-генетические модели формирования редкометальных месторождений четырех типов. Первый тип – флюидизатно-эксплозивно-интрузивный – месторождение лития Шавазсай, связанное с деятельностью Такели-Каракушханинского палеовулкана. Рудообразование происходило после нижнепермского риолит-гранитного вулканоплутонизма в следующей последовательности: 1) образование туфов основного состава и накопление их вместе с высокоуглеродистыми породами в озерах; 2) формирование даек и силлов трахидолеритов, сиенит-порфиров и трахитов; 3) инъекции тонкобломочно-агломератовых туфов кислого и ультракислого состава; 4) формирование многоступенчатых силлов, даек и некков онгориолитов. Редкометальное оруденение месторождения представляется продуктом флюидонасыщенных расплавов, поступавших из нижних частей литосферной мантии.

Второй тип – экструзивно-интрузивный - оруденение Ерташсайской площади. Суть его в образовании нектообразных тел щелочных онгориолитов, переходящих с глубиной в редкометальные щелочные граниты. Отличительной чертой пород является: наличие шпировых обособлений, состоящих из эгирина, кварца и флюорита, присутствие редкоземельных минералов, титанита, рутила, хромита и хромшпинели. Рудоносность пород выражена в зараженности их W, Mo, Sn, Nb, Zr, Hf, U, Th и PЗЭ. Данные свидетельствуют о значительной роли мантийных флюидов в формировании расплава ассоциации щелочных онгориолитов-лейкогранитов.



**Рисунок 1.** Схематическая геологическая карта размещения месторождений Алмаляка (с изменениями из Долгополова и др., 2016 г.); 1. Мезозойско-кайнозойские отложения. 2. Верхнедевонские -Нижнекаменноугольные карбонаты. 3. Турбидиты нижнего силура. 4. Пермские кислые вулканы. 5. Пермские интрузии. 6. Каменноугольные интрузии. 7. Каменноугольные дуговые вулканы. 8. Девонские интрузии. 9. Разломы, разрывные нарушения

Третий тип – апогранитно-интрузивный месторождения тантало-ниобатов и редкоземельных металлов Келенчек-Ташсай. Здесь оруденение локализовано среди альбититов, образованных по порфиroidным гранитам. Редкометалльные лейкограниты размещены в виде маломощных даек среди этих пород. Предполагается переход даек с глубиной в шток. Лейкограниты характеризуются обилием выделений (флюидных обособлений) флюорита, ассоциирующего с минералами Ti, Nb, PЗЭ, U, Th. Рудоносность лейкогранитов определяется также заражённостью их Rb, Cs, Hf, Nb, Ta, W, Au, As, Sn, U, Th и PЗЭ. Количество редкоземельных металлов в альбититах достигает 0,11 %.

Четвертый тип – экзогрейзеновый - вольфрамовое и флюоритовое оруденение - Саргардон-Шабрезской площади. Здесь на глубине 800-1000 м редкометалльные лейкограниты слагают шток, внедрённый в крупное интрузивное тело порфиroidных гранитов (интрузив в интрузиве). Дайки онгонитов размещены в более древнем гранитном интрузиве и обнажены на поверхности. Они ассоциируют с другими дайками, представленными кварцевыми диоритовыми порфиритами и граносиенит-порфирами. Образование месторождения связано с флюидами фронтальной части расплава лейкогранитов.

На основании проведённых исследований нами выдвинута идея об общности рудно-магматической системы, сформировавшей редкометалльные ассоциации кислых интрузивов и различные типы редкометалльных месторождений Чаткало-Кураминского региона. Представляется, что редкометалльные месторождения образованы из флюидонасыщенных высокофтористых редкометаллоносных магм гипомагматических, в понимании Х.М.Абдуллева [1], интрузивов. Внедрение и кристаллизация их на различных уровнях земной коры привела к образованию в гипабиссальных условиях в связи с интрузивом редкометалльных лейкогранитов - экзогрейзенового вольфрамового (с Sn, Mo, Nb, Ta, Be, Li, флюоритом) месторождения Саргардон, альбититового Ti-Nb-Ta-редкоземельного (с Zr, Hf, Au, U, Th и др.) месторождения Келенчек-Ташсайской площади и в субвулканической,

приповерхностной фациях флюидизатно-эксплозивно-интрузивного редкощелочного (с Nb, Ta, Zr, Hf, W, Mo, Au, U, Th, РЗЭ и флюоритом) месторождения Шавазсай и оруденения Ерташсайской площади. Происхождение расплавов считается следствием метамагматизма – взаимодействия остаточных гранитных и аляскитовых магм с мантийными флюидами.

Разработанные нами модели в части связи редкометалльного оруденения месторождений Срединного Тянь-Шаня со скрытыми штоками лейкогранитов [2] можно теоретически обосновать с позиции новых представлений на формирование молибден-порфировых месторождений типа Клаймакс, разработанных J.B.Lowenstern [4], H.Shinohara и K.Kazahaya [7]. Дегазация флюидонасыщенного (35-55% объема) расплава представляется основной причиной возникновения месторождений типа Клаймакс. Эта модель объясняет: 1) наличие больших объемов металла и флюидонасыщенность молибден-порфировых систем; 2) локализацию (размещение) высокотемпературных гидротермальных жил и оруденения в верхушке (околоинтрузивной и надинтрузивной зонах) гранит-порфировых интрузивов, а не внутри их; 3) радиальное и концентрическое пространственное положение жил; 4) совпадение времени конца минерализации и затвердевания интрузии; 5) вертикальную и горизонтальную зональность размещения пород в магматических каналах, которая выражена, согласно этим исследователям, сменой от центра к краям штоков гранит-порфиров тонкозернистым аплитом и ультракислым риолитом; 6) образование густых обсидиановых потоков с низкой пористостью из первично богатых водой магм; 7) сухость расплава, накапливающегося в магматической камере в результате конвекции после удаления воды и летучих компонентов на фронте продвижения расплава по каналу; 8) возможность образования месторождений типа Клаймакс путем длительного течения флюида из большого объема (более 20 км<sup>3</sup>) магмы, относительно не богатой (1,5 г/т) молибденом.

Вероятно, этот механизм действует в рудно-магматических системах гипабиссальных интрузивов при наличии их связи с очаговыми бассейнами расплавов, испытавшими метамагматическое преобразование. Примерами являются разработанные нами модели формирования медно-молибденовых месторождений типа Кальмакыр и молибден-вольфрамовых месторождений Саргардонского типа [2]. Они объясняют также явления высокотемпературного метасоматоза (биотитизация, флогопитизация, турмалинизация, грейзенизация - цвиттеры, магнезиальное и известково-глиноземистое скарнообразование) и более низкотемпературных околорудных преобразований пород (мусковитизация, серицитизация, оплавление и др.), наблюдаемые на других медно-молибденовых, редкометалльных, редкощелочных месторождениях Срединного Тянь-Шаня и широкое развитие турмалинизации в гранитоидных интрузивах и связанных с ними месторождениях золота, вольфрама, олова и других металлов Южного Тянь-Шаня.

## **Выводы**

Вышеуказанные модели рудно-магматических систем указывают на возможность формирования редкометалльных месторождений в магматическом этапе и являются яркой иллюстрацией теоретического обоснования генетической связи оруденения с интрузиями, образованными из ультракислых расплавов. Этими представлениями осуществляется переход от моделей постмагматизма к высокотемпературному метасоматозу и рудообразованию магматического этапа [6]. Потенциальная рудоносность магмы определяется по породам, слагаемым их минералам и обусловлена флюидонасыщенностью расплава. Поэтому на современном этапе петролого-

металлогенические исследования следует дополнять изучением состава расплавных включений и флюидных обособлений [2, 3]. Полученные результаты позволят на достоверной фактической основе судить об исходном содержании летучих компонентов в расплавах и об эволюции магм со времени их возникновения в очагах и до полной кристаллизации в магматических камерах и вулканических постройках.

### **Библиография**

1. Абдуллаев Х.М. Рудно-петрографические провинции. М.: Недра. 1964. – 136 с.
2. Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Суюндикова Г.М. Ассоциации редкометалльных кислых интрузий (Чаткало-Кураминский регион, Западный Тянь-Шань). Т.: Фан АН РУз. 2009. – 165 с.
3. Akhundjanov R., Mamarozikov U.D., Suyundikova G.M., Zenkova S.O. Intrusives and ore formations of gold and rare metal deposits of Uzbekistan // ACROFI – III and 14th International Conference on Thermobarogeochemistry (TBG XIV). Abstracts Volume. Novosibirsk: Publising House of SB RAS. 2010. – P. 4-5.
4. Lowenstern Jacob B. Dissolved volatile concentrations in an oreforming magma. // *Geology*. 1994. – V. 22. № 10. – P. 893-896.
5. Хамрабаев И.Х. Петролого-геохимические критерии рудоносности магматических комплексов (на примере Узбекистана). Т.: Фан. 1969. – 212 с.
6. Хамрабаев И.Х. Важнейшие аспекты современных проблем петрогенезиса и рудогенезиса / Петрология и рудоносность магматических формаций складчатых областей. Т.: Университет. 2000. – С. 3-5.
7. Shinohara Hiroshi, Kazahaya Kohei, Lowenstern Jacob B. Volatile transport in a convecting magma column: Implications for porphyry Nomineralization. // *Geology*. 1995. – V. 23. № 12. – P. 1091-1094.

*Изоскейпы (карты распределения) биодоступного стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  для ряда регионов России. Киселева Д.В. \* (ИГГ УрО РАН, kiseleva@igg.uran.ru), Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН, УГГУ), Окунева Т.Г. (ИГГ УрО РАН), Солошенко Н.Г. (ИГГ УрО РАН), Панкрушина Е.А. (ИГГ УрО РАН), Рянская А.Д. (ИГГ УрО РАН)*

## **Аннотация**

Для оценки мобильности древних популяций и идентификации неместных индивидов требуется проводить сравнение полученных в них изотопных отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  с так называемой локальной меткой биодоступного стронция, характерной для каждого конкретного местонахождения. Проведены исследования изотопного состава стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  образцов, характеризующих биодоступный стронций – растительности, почвы, поверхностной и подземной воды, а также костных и зубных остатков современной фауны, раковин моллюсков, отобранных во время полевых экспедиций в 2020-2022 гг. Изотопный анализ стронция проведен методом МК-ИСП-МС на магнитосекторном масс-спектрометре двойной фокусировки Neptune Plus после хроматографического выделения стронция. Полученные в ходе исследования данные по распределению  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  во многом расширяют возможности исторических интерпретаций и позволят провести верификацию традиционных археологических культурных и географических моделей. Кроме археологических и археометрических приложений, полученные данные планируется использовать для исследования гидрологических особенностей бассейнов крупных рек ряда областей, а также в сельскохозяйственной отрасли для выявления контрафактной продукции и фальсификатов, подтверждения происхождения пищевых продуктов растительного происхождения.

## **Ключевые слова**

Изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , биодоступный стронций, изоскейпы

## **Источники финансирования**

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-18-00593.

## Теория

Показано [Ericson, 1985], что изотопное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , характерное для конкретного региона проживания, остается неизменным при поступлении из подстилающих пород через почву и пищевую цепочку в твердые ткани (зубы и кости) человека и животных. Для индивидов, употреблявших местную пищу и воду, изотопные отношения Sr в зубах и костях будут отражать особенности региона, где они проживали во время формирования скелетных тканей. Поскольку эмаль формируется, в основном, в детстве и практически не подвергается перестройке после минерализации, изотопные отношения Sr в ней характеризуют место проживания индивида в детстве (при условии, что употреблялись в пищу местные продукты), а дентин и кость постоянно обновляются и встраивают Sr, характеризуя, таким образом, место проживания в течение последних нескольких десятилетий (опять же, при условии потребления местной пищи) [Price et al., 2002].

Для оценки мобильности древних популяций и идентификации неместных индивидов требуется проводить сравнение полученных в них изотопных отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  с так называемой локальной меткой биодоступного стронция, характерной для каждого конкретного местонахождения. При этом для получения корректных выводов о происхождении объектов сравнение археологических образцов следует проводить с пробами, содержащими биодоступный стронций, то есть прошедший цикл не только гидрохимических преобразований и выветривания, но и биопурификацию в живых организмах (растениях, животных). В качестве таких фоновых образцов используется целый ряд материалов – зубная эмаль ископаемых и современных животных, речная вода, почва, растительность, раковины моллюсков. Итогом исследования таких материалов является построение референтных карт распределения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , или изоскейп (isoscapes, iso – isotope, scape – landscape), представляющих собой линии/области с известными изотопными отношениями биодоступного стронция на различных территориях.

Актуальным является изотопно-геохимическое исследование целых регионов, с которыми можно связать происхождение (рождение) и миграции человека и животных в древности, а также вероятные ареалы происхождения шерстяного и растительного текстиля и других артефактов с использованием данных изотопного анализа стронция. Более того, созданные базы данных биодоступного стронция могут быть использованы на практике для решения задач социально-экономического развития, например, в сельскохозяйственной отрасли для выявления контрафактной продукции и фальсификатов, а также подтверждения происхождения пищевых продуктов растительного происхождения.

Целью работы являлось построение Sr-изоскейп (карт распределения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  биодоступного стронция) на территории Оренбургской, Курганской, Ростовской областей, а также отдельных районов Свердловской, Челябинской, Тюменской и Омской областей и республики Башкортостан.

## Материалы и методы

Образцы, характеризующие биодоступный стронций (растительность, почва, поверхностная и подземная вода, а также костные и зубные остатки современной



фауны, раковины моллюсков) собраны за время проведения полевых работ в 2022 – 2022 годах; использованные стратегии пробоотбора приведены в работе [Kiseleva et al., 2022].

Измерения проведены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) в блоке чистых помещений (классы 6 и 7 ИСО). В образцах воды проводили определение содержания Sr методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре NexION 300S в режиме количественного анализа. Исходя из полученных содержаний, рассчитывали коэффициенты упаривания для хроматографического выделения стронция из воды. Хроматографическое выделение стронция на смоле SR (Triskem) проведено по одностадийной схеме [Kasyanova et al., 2019]. Измерения изотопного состава стронция проводили на магнитосекторном мультиколлекторном масс-спектрометре с двойной фокусировкой с индуктивно-связанной плазмой (МК-ИСП-МС) Neptune Plus. Для контроля измерений изотопного состава стронция использовали изотопный стандарт NIST SRM 987.

## Результаты и обсуждения

Построенные изоскейпы (карты распределения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) в различных образцах биодоступного стронция приводятся в форме цифровых баз данных (БД), зарегистрированных в Роспатенте [Киселева и др., 2021], содержащих файлы kml для геоинформационных систем (например, QGIS) и навигационных программ (например, Google Earth, SAS Planet и др.) (рис. 1). На данный момент они выполнены для Оренбургской, Курганской, Ростовской областей [Киселева и др., 2022а, б], а также отдельных районов Свердловской, Челябинской, Тюменской и Омской областей и республики Башкортостан.

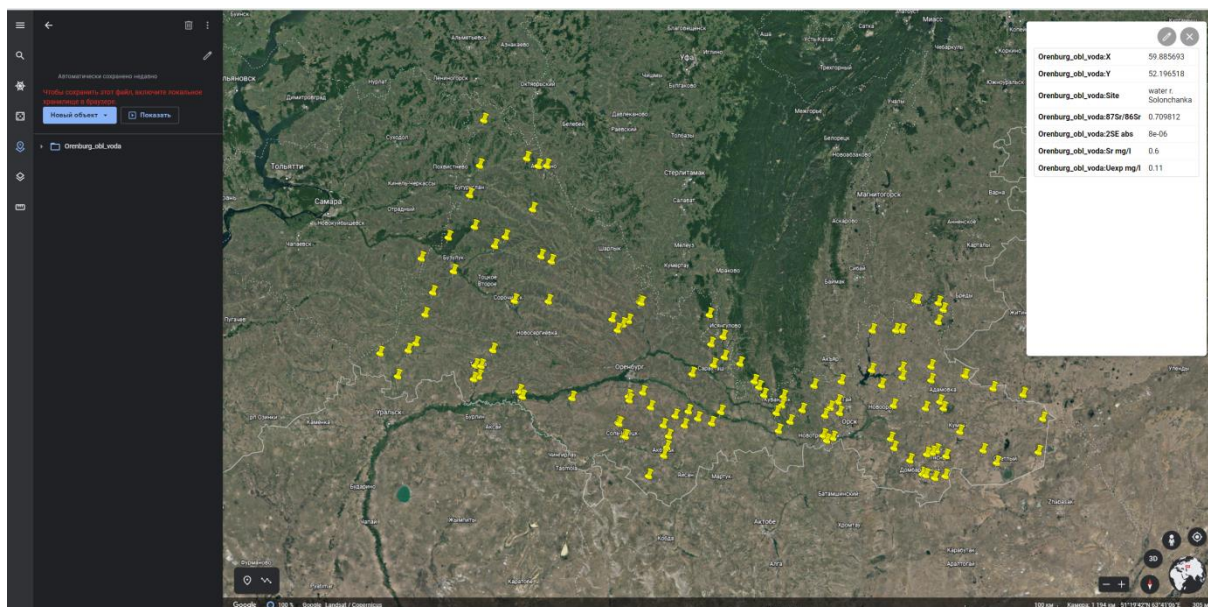


Рисунок 1. Внешний вид окна Google Earth при загрузке файла kml с изотопными данными

## Выводы

Проведены исследования изотопного состава стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  образцов, характеризующих биодоступный стронций – растительности, почвы, поверхностной и подземной воды, а также костных и зубных остатков современной фауны, раковин моллюсков, отобранных во время полевых экспедиций в 2020-2022 гг. Изотопный анализ стронция проведен методом МК-ИСП-МС на магнитосекторном масс-спектрометре двойной фокусировки Neptune Plus после хроматографического выделения стронция. Полученные в ходе исследования данные по распределению  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  во многом расширят возможности исторических интерпретаций и позволят провести верификацию традиционных археологических культурных и географических моделей. Кроме археологических и археометрических приложений, полученные данные планируется использовать для исследования гидрологических особенностей бассейнов крупных рек ряда областей, а также в сельскохозяйственной отрасли для выявления контрафактной продукции и фальсификатов, подтверждения происхождения пищевых продуктов растительного происхождения.

## Библиография

1. Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Окунева Т.Г., Солошенко Н.Г., Рянская А.Д., Панкрушина Е.А., Карпова С.В., Уразова К.К., Сидорук А.Р. Содержание стронция и изотопное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водотоках и водоемах Оренбургской области. Свидетельство о регистрации базы данных 2021622747, 02.12.2021. Заявка № 2021622683 от 27.11.2021.
2. Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Окунева Т.Г., Солошенко Н.Г., Хорькова А.Н., Сидорук А.Р. Содержание стронция и изотопное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в родниках Ростовской области. Свидетельство о регистрации базы данных 2022622673, 28.10.2022. Заявка № 2022622635 от 26.10.2022 а.
3. Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Окунева Т.Г., Солошенко Н.Г., Хорькова А.Н., Сидорук А.Р. Содержание стронция и изотопное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в поверхностных водотоках и водоемах Ростовской области. Свидетельство о регистрации базы данных 2022622752, 07.11.2022. Заявка № 2022622634 от 26.10.2022 б.
4. Ericson J. E. Strontium isotope characterization in the study of prehistoric human ecology. *Journal of Human Evolution*, 1985(14): 503–514.
5. Kasyanova A.V., Streletskaya M.V., Chervyakovskaya M.V., Kiseleva D.V., 2019. A Method for  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Isotope Ratio Determination in Biogenic Apatite by MC-ICP-MS Using the SSB Technique. *AIP Conference Proceedings* 2174, 020028
6. Kiseleva D.V., Shagalov E.S., Ryanskaya A.D., Pankrushina E.A. Sampling Methodology for Assessing a Multi-proxy Bioavailable Strontium Isotope Baseline for the Orenburg Region (Russia): Fieldwork Results. *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*, 2022. P. 127–135.
7. Price T. D., Burton J. H., Bentley R. A. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry*, 2002(44): 117–35.

*Кызатинский каледонский гранитоидный комплекс – типичный представитель аляскитовой формации. Ф.К. Диваев\* ([divaev2749@mail.ru](mailto:divaev2749@mail.ru)), Б.П. Мамиров ([b.mamirov.geol@mail.ru](mailto:b.mamirov.geol@mail.ru)), П.Б. Хажубаев ([farhodxajibaev@gmail.com](mailto:farhodxajibaev@gmail.com)), Р.Т. Узоков ([rustam\\_uzoqov94@mail.ru](mailto:rustam_uzoqov94@mail.ru)), Б.И. Гайбуллаев ([gaybullayevbehruzbek0710@gmail.com](mailto:gaybullayevbehruzbek0710@gmail.com))  
ГУ «Институт минеральных ресурсов» (ИМР), Министерство Горнодобывающей Промышленности и Геологии РУз, Ташкент, Узбекистан*

#### **Аннотация**

Приводятся характеристики геологического строения и вещественного состава пород кызатинского гранитоидного комплекса Восточного Узбекистана, которые по своим параметрам соответствуют эталонной формации аляскитов.

#### **Ключевые слова**

Фациально-формационный анализ, магматический комплекс, лейкократовый гранит, аляскит, редкоземельные элементы.

Породы данного комплекса распространены в Кураминском районе Восточного Узбекистана, входящего в состав Чаткало-Кураминского вулcano-плутонического пояса Срединного Тянь-Шаня.

Масштаб проявления комплекса невелик и ограничивается, в основном, пределами Алмалыкского рудного района. Здесь его породами сложены три разрозненных выхода: в междуречье рек Каракия и Алмалык (8 км<sup>2</sup>), в верховьях р. Алмалык (2 км<sup>2</sup>) и по водоразделу рек Каульды и Кызата (12 км<sup>2</sup>).

Кызатинский комплекс однороден по строению и составу (аляскиты, лейкограниты) и весьма разнообразен по структурно-текстурным особенностям слагающих его пород, внешне хорошо отличающихся от кислых герцинских гранитоидов. Наиболее широко распространены среднезернистые разновидности, а мелко-, крупно- и грубозернистые аляскитоиды присутствуют в подчиненном количестве. Возрастные взаимоотношения различных структурных типов этих пород не установлены, но наблюдаются все постепенные переходы между ними.

Появление мелкозернистых разновидностей пород (верховья рр. Кызата, Чилин и др.) они связывают с приконтактными явлениями в интрузивах, а грубозернистых и порфириовидных – с характерными для пород комплекса процессами метасоматической переработки (альбитизация, микроклинизация, грейзенизация и др.). В целом, высокая вариабильность структурно-текстурных особенностей аляскитоидов отражает малоглубинный характер их становления.

Наиболее развиты лейкократовые светлорозовые, светло-желтые, белесые, реже краснобурые и мясокрасные равномернозернистые, иногда порфириовидные породы, состоящие из ксеноморфного или пластинчатого блестящего полевого шпата, изредка в укрупненных зернах, изометричного серого или белого кварца, образующего гнезда и скопления. Весьма редко наблюдается кучное расположение зерен биотита, превращенных в темные участки хлорита, гидроокислов железа и марганца, либо замещенных светлым мусковитом.

По своему количественному минеральному составу породы комплекса отвечают субщелочному биотитовому лейкограниту (аляскитовому граниту).

Аляскитоиды комплекса также вскрыты на глубине скважинами на участке Катранга и по правому борту р. Саукбулак. Мелкие выходы этих пород присутствуют в бассейнах рр. Сардоб, Умбетты, на территории Таджикистана в горах Калканата.

По своей форме они представлены дайкообразными, штокообразными, пластообразными, линзовидными телами и их фрагментами, локализованными среди песчано-сланцевых отложений силура, и блок-ксенолитами в интрузивных породах

верхнепалеозойского возраста.

Под микроскопом структура пород переходная между аллотриоморфнозернистой и гипидиоморфнозернистой. Участками, иногда повсеместно появляется гранофир.

Плагиоклаз встречен в редких незональных и слабозональных таблитчатых и короткопризматических, нередко ксеноморфных зерен. По составу отвечают олигоклазу от №23-25 до №31-33. Часто замещается альбитом, серицитом. Калишпат присутствует в ксеноморфных зернах двух генераций: ранняя – крипто- и микропертитовый ортоклаз и поздняя – микроклин-пертит. В крупно- и грубозернистых гранитоидах зерна пертитового (включая вторичные пертиты замещения) микроклина замещают плагиоклаз. В отдельных зернах фиксируется микроклиновая решетка. Часто калишпат интенсивно катаклазирован.

Кварц присутствует в многочисленных изометричных, либо ксеноморфных лапчатых зернах, нередко окруженных «венчиком» микрогранофира. Поздний кварц замещает микроклин. Бiotит (малотитанистый лепидомелан) в свежих зернах и их скоплениях крайне редок. Отчетливо плеохроирует: Ng – зеленый, Np – бледно-желтый. Обычно замещен хлоритом, фенгитом, прозрачным кварцем, лимонитом.

Акцессорные минералы кызатинского комплекса довольно разнообразны по видовому составу: магнетит, ильменит, монацит, знаки фторapatита, сфена, ортита, шеелита, торита, ураноторита, рутила, колумбита, ксенотима, граната, турмалина, анатаза, лейкоксена, пирита, галенита, базовисмутитина, халькопирита, молибденита, сфалерита и самородного золота.

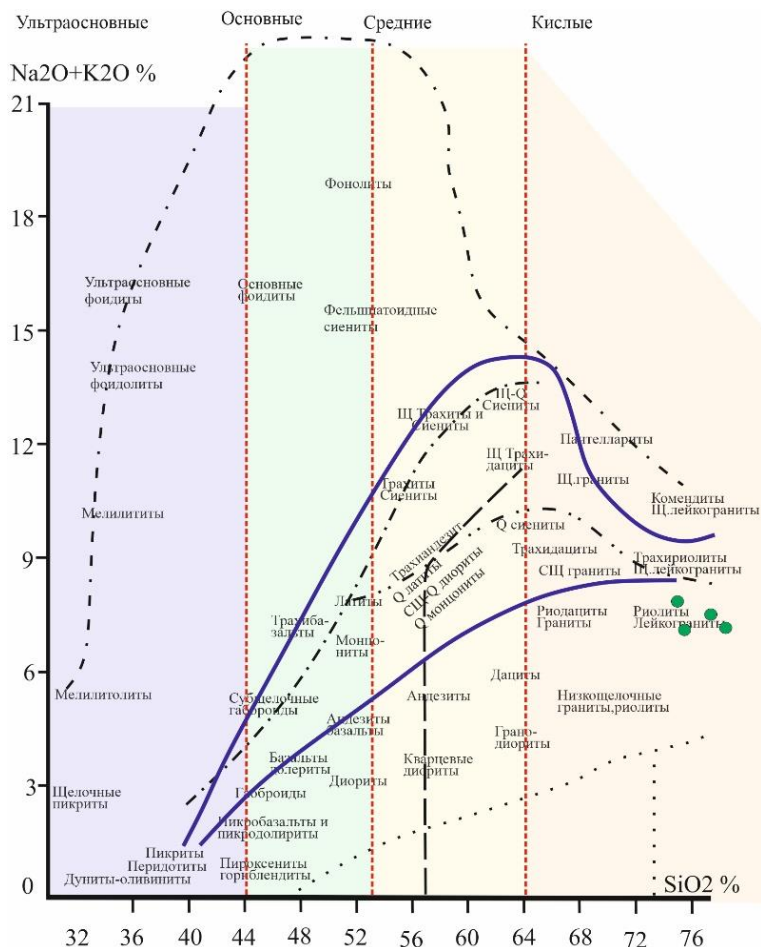
В эндоконтактах со сланцами на расстоянии до 0,5 м от контакта наблюдаются переходы аляскитоидов в плотные розовые или серые неравномернoзернистые, иногда порфиоровидные и мелкозернистые лейкограниты, до биотитовых гранит-аплитов и микрогранофиров. Эти же породы формируют во вмещающих сланцах мелкие послонные инъекции; в участках катаклаза здесь проявлены процессы окварцевания, мусковитизации и альбитизации пород.

В составе жильных пород кызатинского комплекса встречаются извилистые прожилки и линзовидные тела мелкозернистых аляскитов, и гранит-аплитов мощностью до 0,5 м. Нередки аплиты штокеркового типа с постепенными переходами в аляскитоиды. Аплиты сложены альбитом (№4-8), кварцем, микроклином и редкими листочками мусковита. Также иногда присутствуют гнезда, жилы и линзы фациальных и инъекционных пегматитов мощностью до первых десятков сантиметров и протяженностью до 10-20 м.

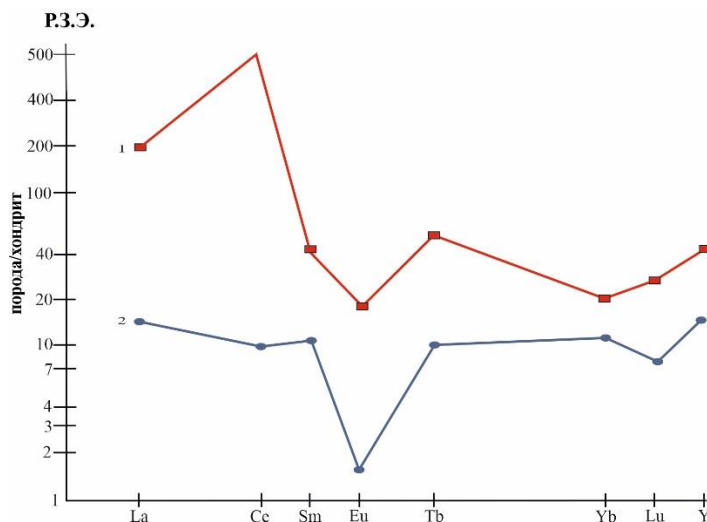
Из петрохимических особенностей необходимо отметить прежде всего высокую кремнекислотность, подчёркиваемую большим содержанием нормативного кварца – 37-45%, высокую глинозёмистость ( $al^I = 5,7-7,9$ ), отражённую в постоянном присутствии нормативного корунда (до 2,7%) и очень высокую общую железистость ( $f_{общ} = 73-86\%$ ).

Коэффициент апаитности невысокий ( $Ka = 0,53-0,60$ ), соответствующий известково-щелочному ряду. На классификационной диаграмме  $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$  [6] фигуративные точки анализов сосредоточены в соответствующем им лейкогранитов. На графике содержания редких земель, нормированных на хондритовые содержания, тренд кызатинских лейкогранитов оказался ниже эталонного тренда пород кислого состава что говорит о пониженном в целом содержании редких земель в гранитах кызатинского комплекса.

Из элементов – примесей можно отметить Au (2,1 кл), Mo (6,3 кл), Sn (2,4 кл), Rb (15 кл), Cs (3,7 кл), Bi (6,2 кл), по особенно высокие содержания характерны для Se (56 кл), Cd (107кл) и Te (180 кларков).



**Рисунок 1.** Классификационная диаграмма  $SiO_2 - (Na_2O - K_2O)$  для пород кызатинского гранитоидного комплекса: 1-  $\circ$  средние составы кызатинского комплекса по разным авторам (всего 75 анализов).



**Рисунок 2.** Распределение редкоземельных элементов в породах кызатинского комплекса. 1 – средний состав кислых пород по Виноградову, 2 – граниты кызатинского комплекса

Каких-либо рудопроявлений, связанных с породами кызатинского комплекса пока не установлено.

По химическим параметрам гранитоиды кызатинского комплекса образуют компактную группу составов в области взаимоперехода между семействами лейкогранитов (к ним относится преобладающая часть составов) и субщелочных

лейкогранитов. Величина  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  колеблется в пределах 7,2-8,9%. Отношение  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,5-0,67$  характеризует комплекс как калиево-натриевую серию, а величина коэффициента глиноземистости  $a' = 4,6-10$  определяет породы как весьма высокоглиноземистые.

В монографии «Магматические формации СССР» [5] дается следующее определение аляскитовой формации: «Формация объединяет устойчивую ассоциацию пород ультракислого и кислого состава (аляскиты, лейкократовые биотитовые граниты) слагающих интрузивные (аллохтонные) тела характерной округлой изометричной формы, нередко концентрического строения».

Здесь необходимо заметить, что в последнем варианте Петрографического кодекса России [6] ультракислые умеренно щелочные граниты выделены в отдельный вид горных пород – т.н. кариты, которые являются чаще всего продуктами внутрикамерной дифференциации на месте становления интрузива.

Приведенные характеристики полностью соответствуют определению формации аляскитов, поэтому породы охарактеризованного кызатинского комплекса вполне уверенно можно коррелировать с аляскитовой формацией.

Возраст кызатинского комплекса устанавливается по интрузивным отношениям с лландоверийскими песчано-сланцевыми отложениями (нижняя возрастная граница) и по непосредственному перекрытию его пород нижнедевонской катрангинской вулканогенной свитой, что определяет верхний возрастной предел. Из других данных, подтверждающих раннепалеозойский возраст кызатинских гранитоидов, следует отметить несомненное прорывание их гранодиоритами кармазарского комплекса. Формирование кызатинского комплекса предполагается в условиях надсубдукционного магматизма активной окраины Казахстанской плиты. Радиологические датирования возраста Rb-Sr и U-Pb методами [1, 4], показали значения  $418 \pm 4$  и  $416 \pm 9$  млн.лет, соответствующие границе силура и девона.

#### **Выводы:**

Приведенные в статье характеристики геологического строения и вещественного состава пород кызатинского гранитоидного комплекса полностью соответствуют определению понятия «формация аляскитов» и потому является её конкретным представителем на территории Восточного Узбекистана.

#### **Библиография**

1. Ахунджанов А., Сайдыганиев С.С. Рубидий-стронциевый возраст, источники расплавов и рудоносность среднепалеозойских магматических образований Алмалык-Ангренского горнорудного района (Срединный Тянь-Шань) // Геология и минеральные ресурсы, 2002, № 3, с 42-53
2. Вернадский В.И. Очерки геохимии. Избр.соч. Т.1. М., Изд-во АН СССР, 1962, 392с.
3. Геологическая карта Узбекистана масштаба 1:500 000. /Козырев В.В., Михайлов В.В., Ташкент, 1998.
4. Магматические формации СССР. Т.2 / Масайтис В.Л., Москалёва В.Н., Румянцева Н.А. и др. Л. Недра, 1979, 279 с.
5. Петрографический кодекс России. Издание третье, дополненные. Санкт-Петербург. Изд. ВСЕГЕИ. 2009. 200 с.
6. Geodynamic evolution of the western Tien Shan, Uzbekistan: Insights from U-Pb SHRIMP geochronology and Sr-Nd-Pb-Hf isotope mapping of granitoids. A. Dolgoplova, Seltmann R. a.o. Gondwana Research. Volume 47, July 2017, p. 76-109.

*Алмазы Горного музея: история формирования, научная и образовательная ценность коллекции. Дирксен А. \* (Горный университет, dxnalex16@gmail.com), Гаврильчик А. К. (Горный университет, gavrilchik\_AK2@pers.spmi.ru), Васильев Е. А. (Горный университет, Vasilev\_EA@pers.spmi.ru)*

## Аннотация

Среди различных собраний Горного музея особую ценность занимает коллекция алмазов. По фондовым документам первые алмазы поступили в 1847 году. В настоящий момент коллекция алмазов Горного музея включает более 420 образцов. В собрании представлены алмазы из различных регионов: Баия, Мату-Гросу, Минес-Жерайс (Бразилия); Конега (ЮАР); республики Саха, Урала, Украины. Кристаллы месторождений Урала и Бразилии в большинстве случаев характеризуются признаками растворения, механического износа и следов радиационного воздействия и соответствуют выделенному ранее уральско-бразильскому типу.

В коллекции музея содержится 113 образцов из трубки Мир, 102 – из трубки Айхал, из Удачной – 35. Уникально собрание алмазов Урала по набору источников. Разнообразие морфологических особенностей алмазов, их источников, обуславливает образовательную, научную и историческую ценность коллекции. В работе приводятся результаты предварительного комплексного изучения коллекции.

## Ключевые слова

Алмаз, Горный музей, ИК спектроскопия, фотолюминесценция, ФЛ томография

## Источники финансирования

Исследования проводятся в рамках гранта РНФ 21-77-20026.

## Теория

Экспозиция Горного музея включает 230 тысяч редчайших образцов руд, минералов, драгоценных камней. Особое место среди различных тематических собраний Горного музея занимает коллекция алмазов. По фондовым документам первые алмазы поступили в Горное училище в 1847 году. Есть в коллекции Горного музея и экспонаты, связанные с историческими личностями. К примеру, Николай I подарил музею бразильский алмаз в породе. Помимо него, Император Бразильский передал в дар музею алмаз в конгломерате. Музей содержит поступления из собраний частных лиц: Кеммера А. Б, Перовского Л. А, Лангсдорфа, Григорьева Д. П, Купффера Э. А, Маркова. Основная часть коллекции формировалась из материалов, переданных музею из Третьего Геологического Управления по распоряжению Министерства Геологии, Министерства Финансов из управления драгметаллов, Министерства Финансов из кассы по приему и выдачи ценностей.

Коллекция алмазов Горного музея насчитывает более 420 единиц и представлена образцами из различных регионов: Баия, Мату-Гросу, Минес-Жерайс (Бразилия); Конега (ЮАР); республика Саха (трубки Мир, Айхал, Удачная), Урал.

Кристаллы алмаза месторождений Урала и Бразилии характеризуются признаками растворения, механического износа и следов радиационного воздействия. В. П. Афанасьев рассматривал данный тип алмазов как уральско-бразильский [1]. В 2004 г. А. Ф. Хохряковым было экспериментально установлено, что округлые алмазы уральского типа являются конечной формой растворения кристаллов независимо от исходной формы. Эти исследования позволяют рассматривать процессы растворения как определяющие при формировании морфологических особенностей округлых алмазов уральского типа [5]. Признаки механического износа заключаются в выкрашивании ребер, серповидных трещинах, леденцовой скульптуре. В Коллекции Горного музея представлены алмазы из Крестовоздвиженских промыслов (р. Полуденка), Шуваловского прииска, месторождения Лог, Северная, русла реки Вижай, Тыпыл и реки Койвы [3]. В коллекции музея содержится много якутских алмазов: 113 образцов из трубки Мир, 102 – Айхал, 35 – Удачной. Такой размер выборки является достаточно большим для статистического анализа и обобщения результатов. Кристаллы из коренных месторождений Якутии являются в большинстве плоскогранными октаэдрами. На этих кристаллах очень удобно изучать внутреннее строение фотолюминесцентной томографией, анализировать морфологию и ориентацию включений. По данной коллекции алмазов были написаны статьи Глазова, диссертация Нефедова [2,5].

Для алмазов любая окраска, кроме бесцветной, желтоватой, коричневатой и черной является редкой. В коллекции Горного музея присутствуют алмазы, окрашенные в лиловый, зеленоватый и серые оттенки (Рисунок 1). Морфология алмазов, хранящихся в Горном музее, крайне разнообразна и представлена октаэдрами, додекаэдрами, ромбододекаэдрами и сферокристаллами.



*Рисунок 1. Алмазы провинции Мату-Гросу (Бразилия) из коллекции Горного музея.*

Разумеется, музейные коллекции имеют огромную ценность. Собранные в Горном музее образцы действительно уникальны и поражают своим разнообразием. Помимо практической пользы, в виде наглядного примера во время обучения студентов, коллекция музея, собранная из разных алмазоносных провинций, имеет огромную научную ценность. Благодаря многолетним стараниям сотрудников горного



музея была собрана уникальная и многообразная коллекция, позволяющая провести сравнительную характеристику различных месторождений и определить особенности образования минералов.

Была проделана огромная работа профессором Глазовым по описанию морфологических особенностей каждого образца. На основе коллекции Горного музея была написана диссертация Нефедова Ю. В, посвященная алмазам уральского типа.

В настоящее время ведется более детальное изучение образцов Урала описанной выше коллекции в рамках гранта РФФИ. Обоснование выбора методов исследования базировалось на принципе неразрушающего воздействия при изучении кристаллов. Методы оптической спектроскопии (ИК-Фурье спектроскопия, метод фотolumинесценции) позволяют проводить исследования без разрушения образца. Основным методом исследования алмазов – ИК-спектроскопия, так как позволяет не только качественно, но и количественно определить концентрации дефектов в структуре алмаза [6].

Определение типа и содержания азотных и других структурных дефектов в кристаллах алмаза проводилось методом инфракрасной спектроскопии с использованием ИК-Фурье спектрометра Vertex 70 с ИК-микроскопом Nupregion 1000. Исследование люминесценции проводится на аппарате DIAMOND INSPECTOR VIEW PRO в двух диапазонах УФ излучения LWUV, SWUV, изучение фотolumинесценции проводится на аппарате Renishaw inVia Raman Microscope с лазером 488 и 787 нм.

На основе данных ИК-спектроскопии была построена диаграмма Тейлора для различных месторождений (Рисунок 2). Средние содержания V1 дефектов в различных месторождениях отличаются друг от друга, что позволяет использовать этот показатель для типизации месторождений и россыпей.

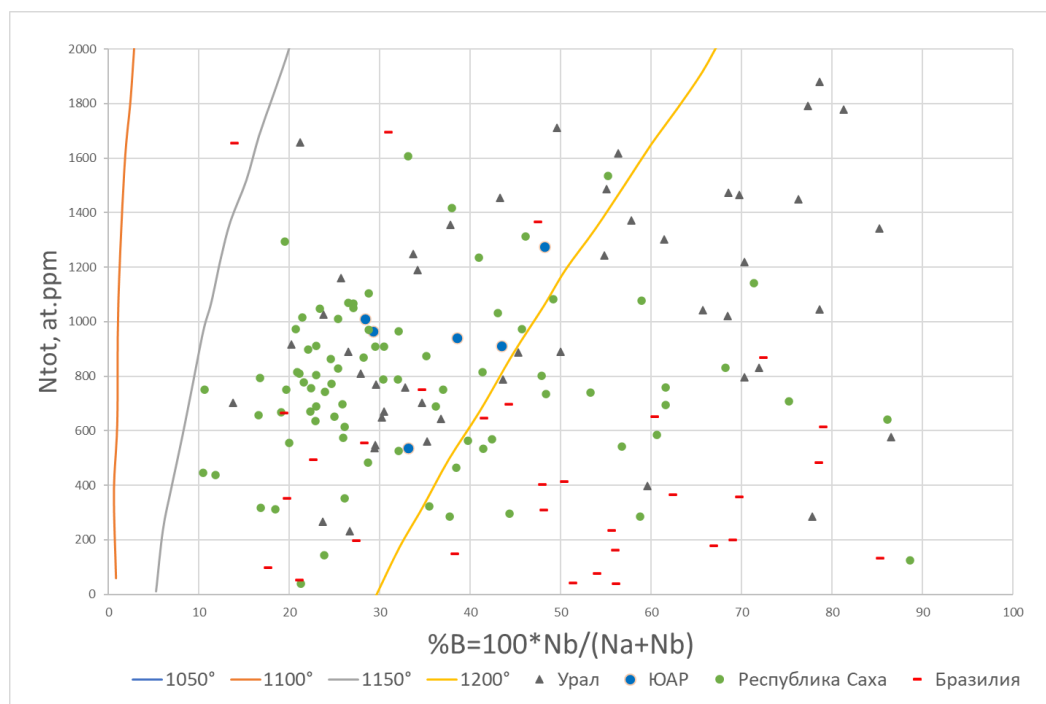


Рисунок 2. Диаграмма Тейлора для алмазов Горного музея из различных объектов.

В докладе будут приведены полученные данные по изучению внутреннего строения кристаллов, фотолюминесценции.

## **Выводы**

Таким образом, коллекция Горного музея является уникальным хранилищем первичной геологической информации в виде кристаллов алмаза из различных источников, разных алмазоносных провинций. Достаточный объем выборки из различных провинций позволяет сделать статистический анализ и обобщить полученные в ходе исследований данные. Данная коллекция может быть использована для получения новых данных при исследовании и анализа кристаллов алмазов, а также для решения научных проблем, возникающих при изучении месторождений алмазов. Коллекция алмазов Горного музея дает возможность проследить историю формирования алмазов, эволюцию их структуры в процессе роста в результате различных изменений. Именно поэтому коллекция алмазов Горного музея имеет не только образовательную, но и научную ценность.

## **Библиография**

1. Афанасьев, В. П. Атлас морфологии алмазов России / В. П. Афанасьев, Э. С. Ефимова, Н. Н. Зинчук, В. И. Коптиль. – Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ, 2001. – 298 с.
2. Глазов А. И. Особенности геометрии округлых кристаллов // Записки Горного института. – 2012, Т.199.
3. Граханов, С. А. К вопросу о распространении неоген-нижнечетвертичных россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы / С. А. Граханов // Вестник Воронежского Университета. – 2000. – №5 (10). – 63 с.
4. Нефедов Ю. В. Закономерности проявления азотных дефектов в кристаллах алмаза уральского типа.: дис. ...канд. геол.-минерал. наук. – Санкт-Петербург, 2014- с.13-28.
5. Хохряков, А. Ф. Растворение Алмаза: Экспериментальное исследование процессов и модель кристалломорфологической эволюции: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.05 / Хохряков Александр Федорович. – Новосибирск, 2004. – 336 с.

**Новые данные о симметрии, кристаллической структуре и особенностях распределения катионов в ташелгите  $\text{CaMgFe}_2+\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$ . Зарубина Е.С.\* (ФИЦ КНЦ РАН, [zarubina-gems@yandex.ru](mailto:zarubina-gems@yandex.ru)), Расцветова Р.К. (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, [rast.crys@gmail.com](mailto:rast.crys@gmail.com)), Русаков В.С. (МГУ, [rusakov@phys.msu.ru](mailto:rusakov@phys.msu.ru)), Николаев А.Г. (КФУ, [anatolij-nikolaev@yandex.ru](mailto:anatolij-nikolaev@yandex.ru)), Аксенов С.М. (ФИЦ КНЦ РАН, [aks.crys@gmail.com](mailto:aks.crys@gmail.com))**

## Аннотация

На основе полученных ранее дифракционных данных выполнено повторное уточнение кристаллической структуры минерала ташелгита с идеализированной формулой  $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$  в рамках ромбической пространственной группы *Pbam* (параметры элементарной ячейки:  $a = 23.5718(5)$ ,  $b = 17.1823(4)$ ,  $c = 5.6973(1)$  Å). Тонкие детали кристаллической структуры и особенности распределения катионов по позициям выполнены на основе данных мессбауэровской и оптической спектроскопии. Установлено, что несмотря на повышение симметрии, основной мотив и характер распределения катионов по октаэдрическим и тетраэдрическим позициям сохраняется. Тем не менее, из-за меньшего числа независимых позиций в модели пр.гр. *Pbam* распределение становится менее упорядоченным по сравнению с моделью пр.гр. *Pc*.

## Ключевые слова

Ташелгит, мессбауэровская спектроскопия, оптическая спектроскопия, шпинель, кристаллохимия, рентгеноструктурный анализ

## Источники финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (№ 20-77-10065).

## Введение

Ташелгит был впервые найден Е.И. Нефедовым в известковых скарноидах Горной Шории вблизи реки Ташелга (Западная Сибирь) и описан как сложный оксид Al, Mg, Ca и Fe, образующий сростки кристаллов сине-зеленого цвета в виде очень тонких иголок длиной до 2 мм [5]. К сожалению, предложенное Е.И. Нефедовым название “лодочниковит” (в честь советского геолога и петрографа В.Н. Лодочникова) так и не было официально закреплено за данным минералом, поскольку он не прошел официальную процедуру утверждения в качестве самостоятельного минерального вида. Несмотря на это, для него были описаны все необходимые оптические и физические параметры, а также определены сопутствующие минералы, среди которых преобладает кальцит в ассоциации с хибонитом, гроссуляром, везувианом, магнетитом, герцинитом, лейкосапфиром, апатитом и перовскитом.

Только по прошествии более чем полвека были определены количественный химический состав, кристаллическая структура, термические и спектроскопические характеристики [2]. Химический состав ташелгита изучен электронно-зондовым методом, а его эмпирическая формула имеет вид ( $Z = 8$ )  $\text{H}_{1.27}\text{Ca}_{0.90}\text{Mg}_{1.06}\text{Mn}_{0.04}\text{Fe}^{2+}_{1.00}\text{Fe}^{3+}_{0.11}\text{Al}_{8.80}\text{O}_{17.00}$ , которая соответствует идеализированной формуле  $\text{CaMgFe}^{2+}\text{Al}_9\text{O}_{16}(\text{OH})$  [2]. Степень окисления железа была определена по

соотношению интегральных интенсивностей линий  $FeK_{\beta 5}$  и  $FeK_{\beta 1}$  в спектре рентгеновского излучения. Присутствие гидроксильных групп подтверждено ИК-спектроскопией. Первоначальное рентгеноструктурное исследование ташелгита было выполнено в моноклинной (псевдоромбической) сингонии в рамках пространственной группы  $Pc$  (параметры элементарной ячейки:  $a = 5.6973(1)$ ,  $b = 23.5718(5)$ ,  $c = 17.1823(4)$  Å;  $\beta = 90.046(3)^\circ$ ;  $V = 2307.5(1)$  Å<sup>3</sup> [3]). Выбор моноклинной пространственной группы был связан с наличием в массиве дифракционных данных некоторого числа отражений, нарушающих более высокую симметрию.

Нами повторно изучена кристаллическая структура ташелгита с использованием полученного ранее массива дифракционных данных (монокристалльный дифрактометр Xcalibur Oxford Diffraction; CCD-детектор; MoK $\alpha$ -излучение) [3], а также получены данные о распределении катионов железа на основе данных мессбауэровской и оптической спектроскопии.

Анализ дифракционных отражений показал, что из всего массива дифракционных данных, содержащего  $46118I > 3\sigma(I)$ , моноклинной пр. гр.  $Pc$  не соответствуют 23 отражения типа  $h0l$ :  $l=2n+1$  с  $I > 3\sigma(I)$ . При этом, формальный анализ опубликованной ранее структуры ташелгита [3] с помощью программы Platon указывал на сильную псевдосимметрию и пр. гр.  $Pmcb$  (нестандартная установка пр. гр.  $Pbam$ ), которой не соответствовало 31 отражение типа  $h0l$ :  $l=2n+1$  и  $hk0$ :  $k=2n$  с  $I > 3\sigma(I)$ . Поскольку количество отражений, не соответствующих пр. гр.  $Pmcb$ , отличалось всего на восемь, по сравнению с пр. гр.  $Pc$ , было решено повторно уточнить кристаллическую структуру ташелгита в рамках ромбической сингонии с использованием  $46088I > 3\sigma(I)$ . Дальнейшее уточнение выполнено с использованием стандартной установки с параметрами элементарной ячейки  $a = 23.5718(5)$ ,  $b = 17.1823(4)$ ,  $c = 5.6973(1)$  Å; пр. гр.  $Pbam$ . После усреднения эквивалентных отражений ( $R_{int}=5.34\%$ ) осталось  $3480I > 3\sigma(I)$  ( $\theta_{max}=54.57^\circ$ ;  $\sin\theta/\lambda < 1.147$  Å<sup>-1</sup>), из которых  $2647I > 3\sigma(I)$  ( $\theta_{max}=45^\circ$ ;  $\sin\theta/\lambda < 0.9$  Å<sup>-1</sup>) были использованы для дальнейшего поиска и уточнения кристаллической структуры ташелгита. Кристаллическая структура решена методом “charge flipping” с использованием программы JANA2006 и уточнена до итогового значения  $R_1 = 4.90\%$  в анизотропном приближении атомных смещений. Из-за сложного химического состава и большого числа структурных позиций распределение катионов проводилось на основе кристаллохимических критериев (средние расстояния катион-анион в позиции, а также число электронов  $e_{calc}$ ), с учетом данных мессбауэровской и оптической спектроскопии.

Степень окисления железа, а также особенности его распределения по позициям в кристаллической структуре ташелгита установлены по данным мессбауэровской спектроскопии. Образец порошка минерала изучен при комнатной температуре с помощью мессбауэровского спектрометра MC1101Э. В качестве источника выступали ядра <sup>57</sup>Co в матрице Rh. Калибровка мессбауэровского спектрометра осуществлялась при комнатной температуре с помощью стандартного поглотителя  $\alpha$ -Fe. Анализ мессбауэровского спектра (Рис. 1), выполненный с помощью программы SpectrRelax, показал, что он состоит из трех квадрупольных дублетов (a, b и c) с соотношением интенсивностей (%)  $I(a) : I(b) : I(c) = 36.5(14) : 37.6(13) : 25.9(9)$  и сверхтонкими параметрами: сдвигами  $\delta(a) = 0.882(9)$ ,  $\delta(b) = 0.882(9)$ ,  $\delta(c) = 0.316(19)$  мм/с и квадрупольными расщеплениями  $\Delta(a) = 0.888(9)$ ,  $\Delta(b) = 0.479(10)$ ,  $\Delta(c) = 0.195(13)$  мм/с. Очевидно, что дублеты (a) и (b) соответствуют двухвалентному железу в октаэдрической координации, а (c) – трехвалентному железу в тетраэдрической и октаэдрической координации. При этом, количество  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  от общего содержания

( $\Sigma\text{Fe}$ ) составляет 74% и 26%, соответственно, что эквивалентно 0.82 и 0.29 атомам на формулу.

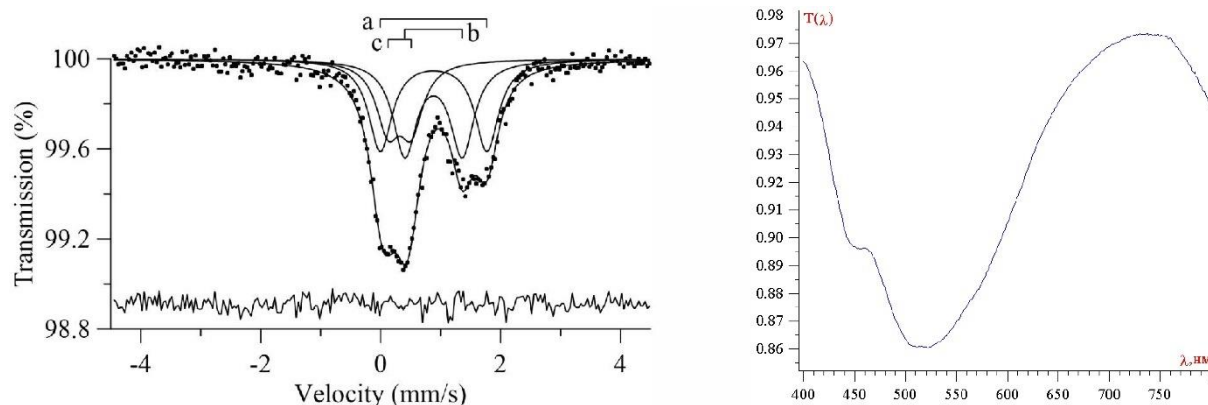


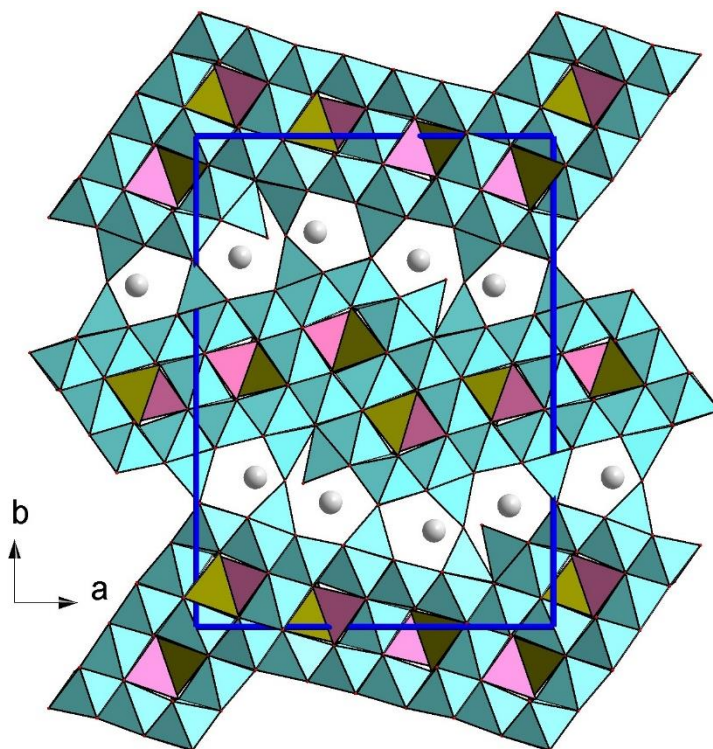
Рисунок 1. Мессбауэровский (слева) и оптический (справа) спектры ташелгита.

Оптические спектры ташелгита были записаны на приборе МСФУ-М в области 400-800 нм. В спектрах обнаружены две широкие интенсивные полосы поглощения 650, 750 нм и слабые узкие полосы поглощения 463, 510, 515, 560 нм. Полоса 750 нм проявляет небольшую интенсивность и более строгую поляризационную зависимость. Так, в спектрах поляризации  $E||c$  она отсутствует и появляется, когда плоскость поляризации составляет угол около  $60^\circ$ . Когда этот угол составляет  $90^\circ$  (т.е. поляризации  $E \perp c$ ) полоса 750 нм достигает максимальной интенсивности (Рис. 1), что позволяет связывать ее с парами  $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ , в которой происходит прямое обменное взаимодействие за счет лобового перекрытия d-орбиталей соседствующих ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , в полиэдрах, связанных через общие ребра. Такая локальная ситуация в структуре ташелгита может происходить, когда ион  $\text{Fe}^{2+}$  находится в октаэдрической позиции, замещая  $\text{Al}^{\text{VI}}$  в лентах Al-октаэдров, простирающихся в направлении параметра  $a$ , а ион  $\text{Fe}^{3+}$  находится в соседнем октаэдре, замещая Al в дискретных Al-октаэдрах, служащих «распорками» между соседними лентами.

Как уже ранее было отмечено [3] кристаллическая структура ташелгита уникальна по своей сложности и разнообразию и содержит функционально различные атомы Al с тремя типами координации: октаэдры, тетраэдры и тетраэдрические диортогруппы (Рис. 2). Ее основу составляют необычные двумерные гофрированные модули шпинелевого типа, которые объединяются с помощью тетраэдрических диортогрупп, формируя гетерополиэдрический каркас с общей формулой ( $Z = 2$ )  $\{T_{16}M_{28}\phi_{68}\}$ , где  $T$  – и  $M$  – тетраэдрические и октаэдрические катионы, соответственно;  $\phi$  – анионные лиганды. Отрицательный заряд каркаса компенсируется за счет атомов кальция, которые располагаются в крупных  $\text{CaO}_n$ -полиэдрах ( $n = 7, 9$ ) в пространстве между соседними гофрированными модулями шпинелевого типа. Таким образом, общую формулу ташелгита можно записать в виде ( $Z = 8$ ):  $A\{T_{16}M_{28}\phi_{17}\}$  или, с учетом выделения состава отдельных модулей  ${}^{\text{Int}}\{AT_2\phi\}{}^{\text{SpI}}\{T_2M_7\phi_{16}\}$ . Несмотря на повышение симметрии, основной мотив и характер распределения катионов по октаэдрическим и тетраэдрическим позициям сохраняется. Тем не менее, из-за меньшего числа независимых позиций в модели пр.гр.  $P_{\text{Bam}}$  распределение становится менее упорядоченным по сравнению с моделью пр.гр.  $P_{\text{C}}$ .

Шпинелевые модули являются распространенными в природных и синтетических соединениях [1,4]. Следует отметить, что в ассоциации с ташелгитом

был встречен минерал хибонит с идеализированной формулой  $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ . При этом, в его кристаллической структуре выделяются два типа слоистых модулей: шпинелевый (Spl) с общей формулой  $\{T_2M_6O_{16}\}$  и перовскитовый (Prv) с общей формулой  $\{ABM_2O_3\}$ , которые чередуются в соотношении (Spl) : (Prv) = 1 : 1. В этой связи возникновение минерала ташелгита, характеризующегося сложной структурой, основу которой составляют шпинелевые модуля, хорошо согласуется с ассоциирующими минералами, в частности, магнетитом (структурный тип шпинели), а также хибонитом, структура которого содержит шпинелевые модули. Отличие в стехиометрии шпинелевых модулей в структуре хибонита и ташелгита связано с уникальным волнообразным изгибом слоев в структуре последнего.



**Рисунок 2.** Общий вид кристаллической структуры ташелгита. Голубым цветом показаны октаэдры и тетраэдры, заселенные атомами алюминия; розовым – магния; темно-зеленым – железом; серые шары – атомы кальция.

## Выводы

Таким образом, структура ташелгита была решена дважды в рамках моноклинной и орторомбической симметрии и уточнена его кристаллохимическая формула. Разница между двумя моделями заключается в степени их упорядоченности. Возможность наличия в монокристалле двух вариантов симметрии может указывать на фазовый переход типа упорядочения из-за особенностей кристаллизации минералов в скарноидах Горной Шории.

## Библиография

1. Аксенов С.М., Чаркин Д.О., Банару А.М. и др. // ЖСХ. 2023 (в печати).
2. Ананьев С.А. Коноваленко С.И., Расцветаева Р.К. и др. ЗРМО. 2011. Т. 140. № 1. С. 49–57.

3. Расцветаева Р.К., Аксенов С.М., Верин И.А. Кристаллография. 2010. Т. 55. № 4. С. 606 – 611.
4. Ferraris G., Makovicky E., Merlino S. Crystallography of Modular Materials. OUP, 2008. 372 p.
5. Nefedov E.I. // Geologie. 1955. V. 4. № 5. P. 525–528.

*Первая кольцевая структура в докембрийских метаморфитах Центрального Памира. Литвиненко А.К. \* (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [akl1954@yandex.ru](mailto:akl1954@yandex.ru)), Одинаев Ш.А. (Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной АН Таджикистана; Институт геохимии Гуанджоу, Китайской АН, e-mail.: [Sharif.Geolog@mail.ru](mailto:Sharif.Geolog@mail.ru))*

## **Аннотация**

В метаморфических породах музкольской серии, PR<sub>1</sub>, претерпевшей два цикла регионального метаморфизма, и составляющей тектоническую структуру – Музкол-Рангульский антиклинорий, нами установлена кольцевая структура. В её строении участвуют: в центральной части – роговообманковые перидотиты, переходящие сначала в горнблендиты, а на периферии - в габброиды. Последние по кольцевому разлому граничат с апоосадочными метаморфитами.

Площадь массива составляет 8 км<sup>2</sup>. Во всех его породных разновидностях отмечаются субщелочные и щелочные разновидности. Образование массива происходило в позднем протерозое в три фазы интрузивного магматизма. Массив парагенетически связан с кольцевым разломом. Это первый кольцевой массив Центрального Памира.

## **Ключевые слова**

Кольцевая структура, Музкол-Рангульский антиклинорий, Центральный Памир, магматизм, роговообманковые перидотиты, горнблендиты, габброиды.

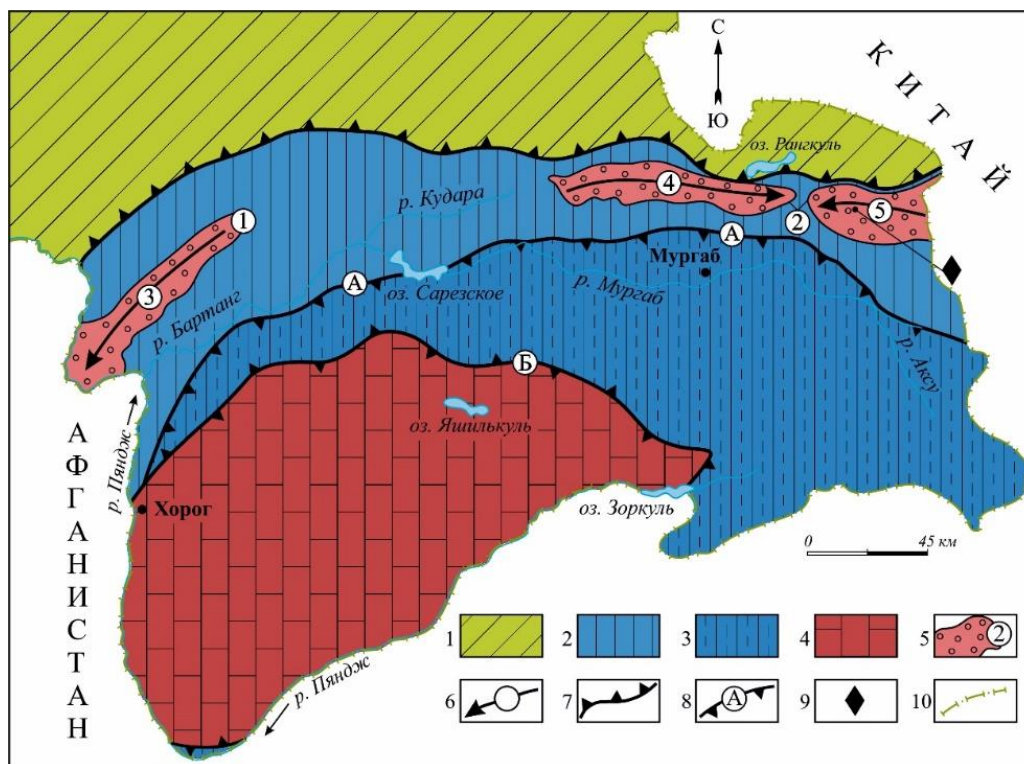
## **Теория**

Рассматриваемая кольцевая структура локализована в Музкол-Рангульском антиклинории, который занимает восточную часть киммерийской зоны Центрального Памира (рисунок 1). Его длина в пределах территории Республики Таджикистан составляет более 400 км при ширине 30-70 км. Юго-западный фланг прослеживается на территорию Афганистана, а восточный — в Китай. На севере Центральный Памир по Ванч-Акбайтальскому глубинному разлому граничит с герцинской зоной Северного Памира, на юге по Рушанско-Пшартскому — с Юго-Восточным и Юго-Западным Памиром. Центральный Памир вместе со структурно-формационными зонами Юго-Восточного и Юго-Западного Памира составляют Южнопамирскую киммерийскую складчатую область в составе Альпийско-Гималайского горно-складчатого пояса [1].

Музкол-Рангульский антиклинорий осложнен двумя антиклиналями: Сарымулинской (на западе) и Шатпутской (на востоке) (рисунок 1). Антиклинорий сложен музкольской метаморфической серией (PR<sub>1</sub>), расчлененной на четыре свиты [5]. Серия претерпела полициклический метаморфизм от высокотемпературной амфиболитовой до зеленосланцевой фаций [2].

Нами вблизи периклинального замыкания Шатпутской антиклинали выявлен новый крупный массив ультраосновных-основных магматических пород. Массив расположен в средней части хребта, занимая оба склона, разделяющего долины рек Кукурт-Зорбурулюк. Его площадь составляет более 8 км<sup>2</sup>. В его границах локализованы: месторождение ювелирного скаполита Черногорское и линзы гранитных пегматитов с самоцветами.

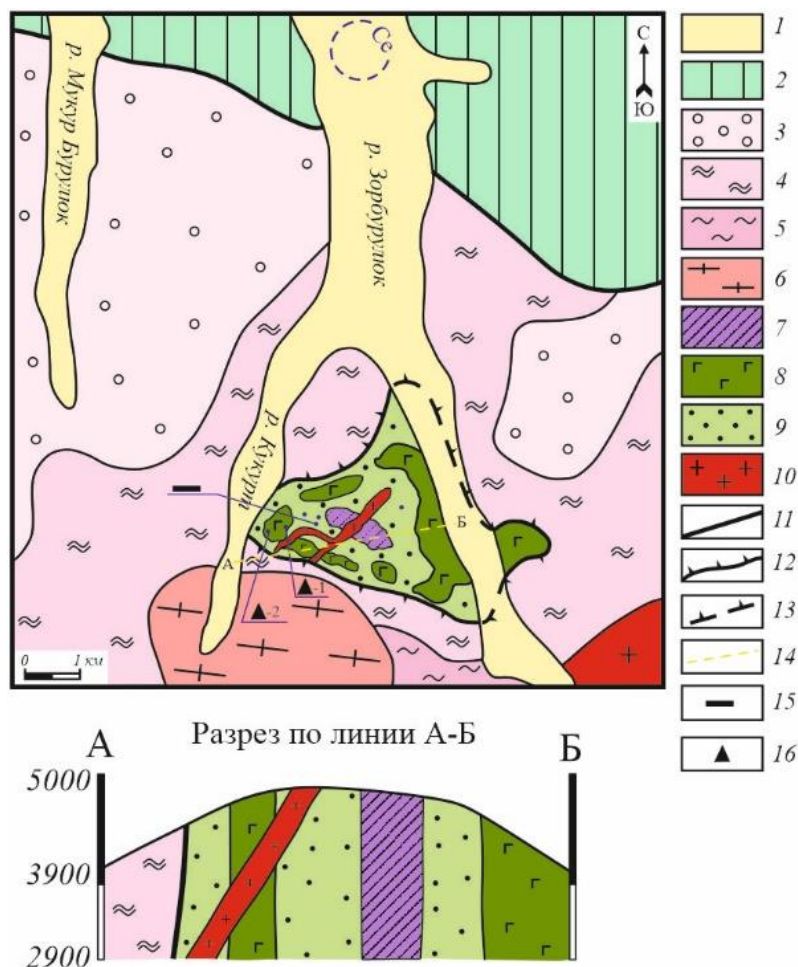




**Рисунок 1.** Положение кольцевого массива в Музкол-Ранкульском антиклинории. Тектоническая схема Б.П. Бархатова [1] с небольшими изменениями и дополнениями авторов. 1 – герцинская Северопамирская складчатая система; 2–4 – тектонические зоны в киммерийской складчатой системе Ю. Памира: 2 – Ц. Памир; 3 – Ю.-В. Памир; 4 – Ю.-З. Памир; 5 – фундамент Ц. Памира, цифры в кружках (1–2) метаморфические серии: 1 – шипадская; 2 – музкользская; 6 – антиклинории, стрелка указывает направление погружения шарнира: 3 – Ванч-Язгулемский; 4–5 – Музкол-Ранкульский: 4 – Сарьмулинская и 5 – Шатпутская антиклинали; 7 – Ванч-Акбайтальский разлом; 8 – разломы: А – Рушанско-Пшартский; Б – Гунт-Аличурский; 9 – кольцевой интрузивный массив; 10 – граница

В центральной части массива, на водоразделе расположено тело роговообманковых перидотитов площадью 0,9х0,3 км (рисунок 2). Породы чёрного цвета разбиты трещинами кливажа. Они сложены оливином до 5 мм в поперечнике, состоящим из 78 % минала форстерита и 22 % фаялита. Количество оливина - более 50%. В парагенезисе с ним наблюдается энстатит. Между зёрнами оливина распределены агрегаты серпентина, который замещает пироксен и роговую обманку. Оливин остался не затронутым серпентинизацией. В серпентине наблюдаются реликтовые призмы энстатита, с железистостью около 20% и роговой обманки с содержанием Na<sub>2</sub>O до 4.74%. Аксессуары: алюмо-хромистый магнетит, герцинит, пирротин, магнезит, ильменит, ильменорутит, фторапатит (до 5.8% F), пентландит с 1.4 % CoO. Их размеры составляют 2-4 мм. Среди аксессуарных были установлены циркон, монацит и ксенотим [5].

На основе минерального и химического состава (таблица) породы центральной части массива мы определяем как роговообманковые перидотиты. Высокое содержание в породе CaO до 4.58% обязано роговой обманке, другие Ca-содержащие минералы не установлены. Высокое содержание щелочей – 1.7-2.5 мас.% – послужило основанием для отнесения этой породы к щелочным роговообманковым перидотитам.



**Рисунок 2.** Геологическая карта и разрез кольцевого массива.

1, 2 — породы: 1 — современные рыхлые, 2 — палеозойские осадочно-вулканогенные; 3–5 — свиты музкольской серии: 3 — бурулюкская, 4 — сарыджилгинская, 5 — сассыкская; 6 — гранитогнейсы зорбурулюского комплекса (PR<sub>3</sub>); 7 — роговообманковые перидотиты; 8 — габброиды; 9 — горнблендиты; 10 — граниты шатпутского комплекса (KZ); 11–Ванч-Акбайтальский разлом; 12 — Кукурт-Зорбурулюкский разлом; 13 — линия предполагаемого разлома; 14 — линия разреза; 15 — контур цериевой аномалии (монацита); 16 — месторождение Черногорское; 17 — месторождения драгоценных камней в гранитных пегматитах: 1 — Топазовое, 2 — Амазонитовое

Тело роговообманковых перидотитов вмещают горнблендиты чёрного цвета. Содержание в них роговой обманкой составляет от 60 до 95%. Она образует длиннопризматические кристаллы до 8 мм и более [4].

Вторыми по значению следуют слюды: флогопит и биотит. Их количество до 20 % объёма породы. Они отличаются только по химическому составу.

Третьим следует плагиоклаз – 11–20% минала анортита. В его обособлениях встречаются скаполит (мариалита), нефелин, содалит и калишпат с 2.4 мас.% Na<sub>2</sub>O. Второстепенные минералы составляют апатит, титанит, рутил и ильменит.

По химическому составу горнблендиты разделены на три группы (таблица). По их периферии локализованы тела габброидов. Среди них выделяются щелочные (таблица). Массив контактирует по разлому с метаморфическими породами.

**Таблица.** усреднённые химические составы пород кольцевого массива, в мас.%

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ппп	Сум- ма
Роговообманковые перидотиты щелочные													

1.	38.6	1.0	6.8	19.9	0.2	25.9	4.6	1.9	0.5	0.3	0.1	-	100
Горнблендиты ультраосновные, щелочные													
2.	46.8	1.4	13.1	11.1	0.1	6.3	11.3	7.2	0.2	0.4	1.3	-	99.2
Горнблендиты ультраосновные													
3.	35.7	5.6	9.7	21.3	0.3	7.9	14.2	1.6	0.2	1.8	н.о.	1.1	99.4
4.	44.0	4.6	14.5	14.7	0.5	7.6	9.5	2.9	0.3	0.6	0.2	-	99.4
Горнблендиты основные, щелочные													
5.	50.3	1.8	15.3	10.4	0.1	7.7	7.1	5.6	1.0	0.1	н.о.	0.6	99.6
6.	51.2	1.3	15.2	3.4	0.1	5.6	11.9	8.4	0.2	0.3	н.о.	2.3	99.9
Щелочные габброиды													
7.	42.5	1.2	18.6	7.4	0.1	2.6	13.3	5.4	1.7	0.6	-	5.0	98.4
Габброиды													
8.	47.6	2.3	11.3	10.6	0.1	11.3	10.1	2.6	1.1	0.3	н.о.	1.5	99.8

Примечание. Дополнительно установлен V от 0.02 до 0.57, Sr от 0.01 до 0.53, Nb до 0.01, Zr от 0.01 до 0.04, Cu от 0.01 до 0.05, Co и Ni до 0.01, Y от 0.001 до 0.007 мас.%. В №3 SO<sub>3</sub> 0.61%. н.о. – не определялось. №7-8 заимствованы: 7 – [6], 8 – [3].

### Выводы

1. В Музкол-Рангульском антиклинории выделен новый, самый крупный щелочной ультрабазит-базитовый массив, в составе кукуртского комплекса. Ранее эта площадь картографировалась как сарыджилгинская свита.

2. Выделенный массив имеет зональное, кольцевое строение: в центре находятся роговообманковые перидотиты, обрамлённые горнблендитами, а по периферии – габброиды. Массив контролируется кольцевым разломом.

### Библиография

1. Бархатов Б.П. Тектоника Памира. Л.: ЛГУ. 1963. 241 с.
2. Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1991. 336 с.
3. Дмитриев Э.А. Кукуртский пироксенит-габбровый комплекс // Петрография Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1988. Т.2. С.138-140.
4. Литвиненко А.К., Моисеева С.Б., Одинаев Ш.А., Утенков В.А. Геология Черногорского месторождения ювелирного скаполита на Центральном Памире // Геология рудных месторождений. 2019. Т.61. №5. С.96-108.
5. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1976. 207с.
6. Терехов Е.Н., Круглов В.А., Левицкий В.И. Редкоземельные элементы в корунд-содержащих метасоматитах и связанных с ними породах Восточного Памира // Геохимия. 1999. №3. С.238-250.

**Блеклые руды золото–серебряного эпитеермального проявления Телевеем, Чукотка.  
Малышева Д.С.\* (Геологический ф-т МГУ, dariamali5heva@yandex.ru), Власов Е.А.  
(Геологический ф-т МГУ), Вигасина М.Ф. (Геологический ф-т МГУ)**

**Аннотация**

В работе впервые приводятся данные о составе блеклых руд золото–серебряного рудопоявления Телевеем. Блеклые руды имеют резко выраженное зональное строение, по составу отвечают рядам теннантит-тетраэдрит и арсеноголдфилдит-стибиооголдфилдит. Отложение блеклых руд происходило в окислительных обстановках на фоне повышения активности теллура.

**Ключевые слова**

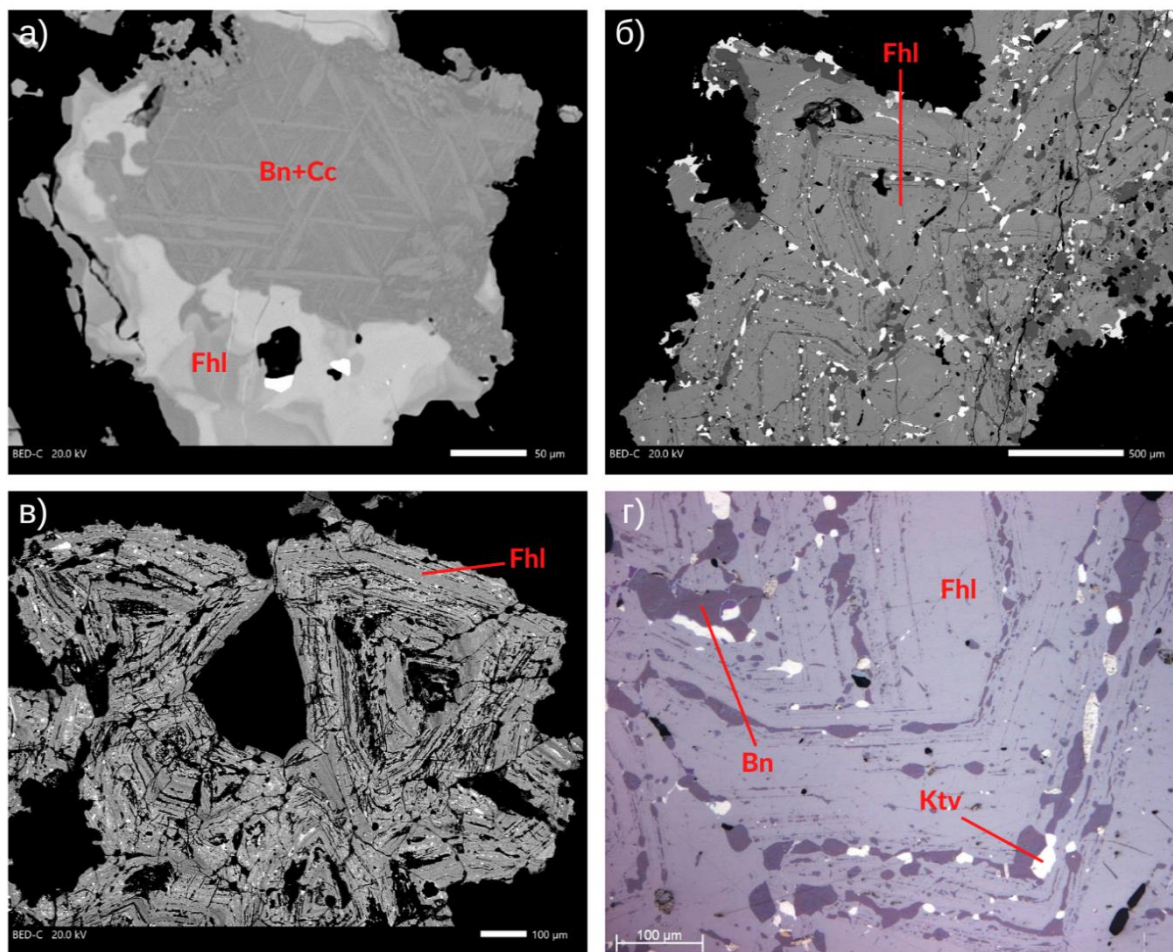
Блеклые руды, арсеноголдфилдит, стибиооголдфилдит, золото-серебряные эпитеермальные вулканогенные месторождения, Чукотка.

Золото-серебряное эпитеермальное проявление Телевеем расположено в верховьях р. Анадырь и приурочено к Телевеемской вулканоструктуре, сложенной кремнекислыми игнимбритами, риолитами, дацитами, андезитами и туфами среднего состава эмунеретской свиты, кремнекислыми игнимбритами и туфами эргываамской свиты верхнего мела. Стратифицированные вулканические толщи прорваны многочисленными субвулканическими телами андезибазальтов, андезитов и диоритов позднемелового возраста. На площади рудопоявления широко развиты метасоматические изменения, относящиеся к фациям аргиллизитов и вторичных кварцитов. Зоны аргиллизации и вторичные кварциты вмещают кварцевые жилы и прожилки с рудной минерализацией [1].

На проявлении Телевеем выделены руды двух основных типов – золото-серебро-сульфосольные и золото-серебро-теллуридные [1]; в рудах второго типа установлены минералы группы блеклых руд. Блеклые руды, как правило, представлены зернами неправильной формы, реже блеклые руды образуют хорошо сформированные кристаллы тетраэдрического габитуса (рис.1). Размер выделений минералов достигает 5 мм.

По химическому составу блеклые руды отвечают рядам теннантит-тетраэдрит и арсеноголдфилдит-стибиооголдфилдит (рис.2). Минералы образуют сростки с более ранними пиритом и халькопиритом, но чаще всего ассоциируют с борнитом. Отложение борнита началось раньше - блеклые руды нередко замещают борнит. На это, в частности, указывает пересечение «заливами» блеклой руды структур распада твердого раствора в борните (рис.1а). В определенный момент борнит, блеклые руды, а также некоторые теллуриды (раклиджит, часть костовита и рикардита) кристаллизовались совместно. Следует отметить, что совместный рост теллуридов отмечается только с минералами ряда арсеноголдфилдит-стибиооголдфилдит (рис.1б,г). Обложение бо́льшей части минералов теллура (самородный теллур, теллуриды золота и серебра, разнообразные теллуриды меди и др.), а также самородного золота, происходило после завершения кристаллизации блеклых руд.

Для блеклых руд проявления Телевеем характерно ярко выраженное зональное строение (рис.1). От внешних (более ранних) зон к центру зерен уменьшается содержа-



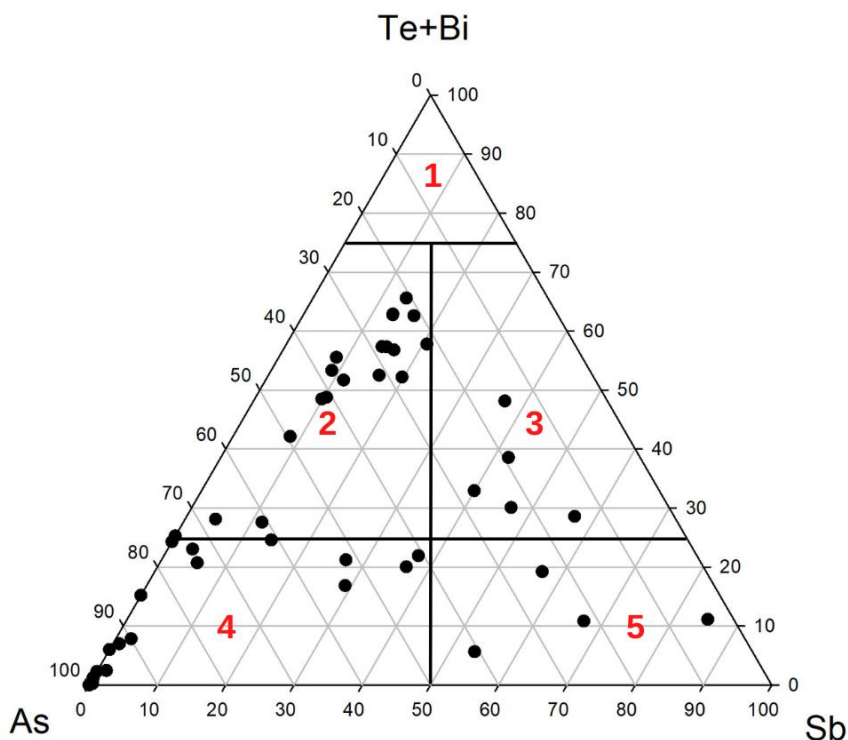
**Рисунок 1.** Блеклые руды рудопрооявления Телевеем, Чукотка. Фото а-в – в отраженных электронах, фото г – в отраженном свете. Fhl – блёклые руды, Bn – борнит, Cc – халькозин, Ktv – костовит.

ние Fe, Zn, As и увеличивается Cu, Sb, Te, Se. В кристаллах свободного роста наблюдается ритмичная (осцилляционная) плоско-параллельная зональность (рис.1б-г), представляющая собой многократное чередование зон, отличающихся соотношением, в первую очередь, As, Sb и Te.

Более ранние блеклые руды теннантит-тетраэдритового ряда, как правило, медистые, реже цинкистые и только один анализ отвечает тетраэдриту-(Fe). В составе минералов ряда арсеноголдфилдит-стибиоголдфилдит, завершающих отложение блеклых руд, резко преобладает Cu, содержание Zn и Fe<sup>2+</sup> нередко оказываются ниже уровня определения электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа. При этом в минералах ряда арсеноголдфилдит-стибиоголдфилдит отчетливо проявляется изоморфизм S-Se. Содержание последнего достигает 1,8 мас.%. Отличительная черта изученных блеклых руд – низкое содержание в их составе серебра. Как правило, его концентрация не превышает первых десятых долей мас.%. Максимальное содержание серебра зафиксировано в арсеноголдфилдите (5,0 мас.%).

## Выводы

Блёклые руды, отличаясь широкими вариациями состава, являются чутким ин-



**Рисунок 2.** Составы блёклых руд проявления Телевеем, Чукотка. С использованием данных *Biagioni et al., 2022*. 1 – голдфилдит, 2 – арсеноголдфилдит, 3 – стибิโอголдфилдит, 4 – серия теннантита, 5 – серия тетраэдрита.

дикатором процессов рудоотложения. Состав блёклых руд проявления Телевеем типичен для эпитермальных вулканогенных золото-серебряных месторождений. Резко выраженная зональность блёклых руд свидетельствует об изменчивости условий рудоотложения. Развитие в рудах проявления высокомедистых блёклых руд, а также появление в их составе селена можно связать с окислительными обстановками рудоотложения. Причиной обеднённости блёклых руд серебром является высокая активность теллура – бо́льшая часть серебра входит в состав разнообразных теллуридов (штютцит, гессит, петцит, воынскийт) [2,3].

## Библиография

1. Власов Е.А., Прокофьев В.Ю., Николаев Ю.Н., Калько И.А. Новая находка золото-теллуридной минерализации на Чукотке: минералогия и условия формирования рудопроявления Телевеем // Руды и металлы. 2016. №4. С. 48-59
2. Спиридонов Э.М., Игнатов А.П., Шубина Е.П. Эволюция блёклых руд вулканогенного месторождения Озерновское (Камчатка) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 9. С. 82-94.
3. Спиридонов Э.М., Филимонов С.В., Куликова И.М., Назьмова Г.Н., Кривицкая Н.Н., Брызгалов И.А., Гусева Е.В., Коротаева Н.Н. Минералы группы блёклых руд – индикаторы рудогенеза // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. ИГЕМ РАН, Москва, 2008. С.356-359.
4. Biagioni C., Sejkora J., Musetti S., Makovicky E., Pagano R., Pasero M., Dolníček Z. Stibiogoldfieldite,  $\text{Cu}_{12}(\text{Sb}_2\text{Te}_2)\text{S}_{13}$ , a new tetrahedrite-group mineral // Mineralogical Magazine. 2022. 86(1) p. 1-22.

*Палеогеотерма и глубинные разрезы под кимберлитовыми телами Алакит-Мархинского кимберлитового поля (Сибирский кратон). Милаушкин М.В.\* (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) [milaushkin1997@mail.ru](mailto:milaushkin1997@mail.ru)) Мальковец В.Г. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) [vladimir.malkovets@gmail.com](mailto:vladimir.malkovets@gmail.com)) Гибшер А.А. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) [n.gibsher@gmail.com](mailto:n.gibsher@gmail.com)) Яковлев И.В. (ИГМ СО РАН, АК «АЛРОСА» (ПАО) [yakistar2020@mail.ru](mailto:yakistar2020@mail.ru))*

## Аннотация

Исследованы ксенокристаллы клинопироксена и граната из концентрата тяжелой фракции трубок Юбилейная, им. Бобкова, ЦНИГРИ, им. Щукина. С помощью мономинеральной клинопироксеновой термобарометрии и программного пакета FITPLOT реконструирована палеогеотерма, соответствующая тепловому потоку 39,8 мВт/м<sup>2</sup>. Мощность литосферы во время проявления кимберлитового магматизма в D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> составляла 230 км, мощность «алмазного окна» 110 км. Редкоэлементный состав гранатов указывает на преобладание пород двух типов – деплетированных перидотитов и метасоматизированных силикатными расплавами деформированных лерцолитов. Определены P-T-условия равновесия гранатов и рассчитаны глубины основания деплетированной литосферы (“У край”). С применением методологии реконструкции глубинных разрезов по перидотитовым гранатам были построены разрезы мантийных колонн. Преимущественное распространение гарцбургит-дунитовых гранатов приходится на интервал глубин 125-160 км, а мощность алмазного окна составляет ~34 км для трубки Бобкова, ~73 км для ЦНИГРИ, ~23 км для Щукина. Вероятней всего, мощность алмазного окна варьирует в зависимости от объема поднимающихся расплавов-флюидов, и степени их воздействия на литосферу.

## Ключевые слова

кимберлитовая трубка, литосферная мантия, гранат, хром-диопсид, геотерма

## Введение

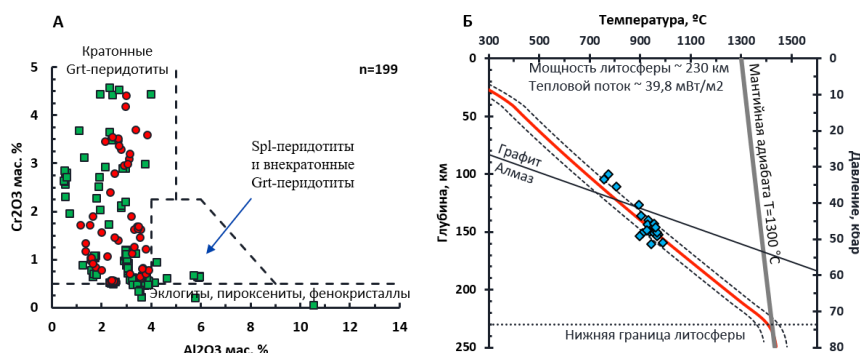
Мономинеральная клинопироксеновая геотермобарометрия широко используется в мантийной петрологии по причине относительной редкости мантийных ксенолитов, а также высокой степени вторичных изменений слагающих их минералов. Она применяется для реконструкции мантийных палеогеотерм, и позволяет оценить термальное состояние мантии в момент кимберлитового магматизма, мощность субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) и ее строение под отдельными участками кратона. Термобарометрия по гранату и исследование его геохимических характеристик позволяет выяснить характер и степень метасоматических процессов в мантийных колоннах под отдельными кимберлитовыми телами. В данной работе с помощью программы FITPLOT [5] была реконструирована мантийная палеогеотерма под трубкой Юбилейная. Для этого использовались P-T оценки для клинопироксена из концентрата тяжелой фракции (КТФ), рассчитанные с помощью термобарометра, предложенного в работе [6]. По гранатам из КТФ с помощью термобарометра [8] и методологии по глубинному картированию, были охарактеризованы основные особенности мантии под трубками им. Бобкова, ЦНИГРИ, им. Щукина.

## Материалы и методы

Исследован химический состав клинопироксенов из концентрата тяжелой фракции (199 зерен) трубки Юбилейная и микроэлементный состав гранатов из кимберлитовых трубок им. Бобкова (113 зерен), ЦНИГРИ (108 зерен), им. Щукина (170 зерен). Состав клинопироксенов определялся методом PCMA на приборе Jeol JXA 8100 в Центре коллективного пользования «Многоэлементных и изотопных исследований» ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Состав гранатов определялся методом (ЛА-ИСПМС) с использованием квадрупольного масс-спектрометра XSERIES2 (Thermo Scientific), объединенного с устройством лазерного пробоотбора в Лаборатории экспериментальной геохимии и петрологии мантии Земли (Геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета).

## Результаты

На основе содержания  $Cr_2O_3-Al_2O_3$  установлено, что 87,44% ксенокристаллов клинопироксена (174 зерна) соответствуют кратонным гранатовым перидотитам; 6,53% зерен содержат  $<0,5\%$   $Cr_2O_3$  и попадают в поле эклогитов и пироксенитов; 6,03% в поле внекратонных шпинелевых перидотитов (Рисунок 1, а). Для расчета P-T параметров, с помощью термобарометра [6], использованы 63 зерна хром-диоксида, которые прошли проверку по протоколу [9]. В результате расчета из 63 зерен были исключены те, давления которых превышали 60 кбар, или были меньше 20 кбар, а также имели завышенные рассчитанные температуры ( $>1100$  °C). Оставшиеся точки, в большинстве своём, варьируют в пределах 895-989 °C и имеют значения давлений от 40 кбар до 52 кбар, что соответствует глубинам  $\sim 125-162$  км.



**Рисунок 1.** А. Дискриминационная диаграмма  $Cr_2O_3/Al_2O_3$  [6] и состав изученных клинопироксенов из трубки Юбилейная. Квадраты – не прошли отбор по фильтрам из протокола [9]; круги – зерна, использованные для реконструкции палеогеотермы. Б. Реконструированная геотерма под трубкой Юбилейная. Ромбики – P-T параметры клинопироксенов; пунктирные линии – погрешность реконструкции геотермы.

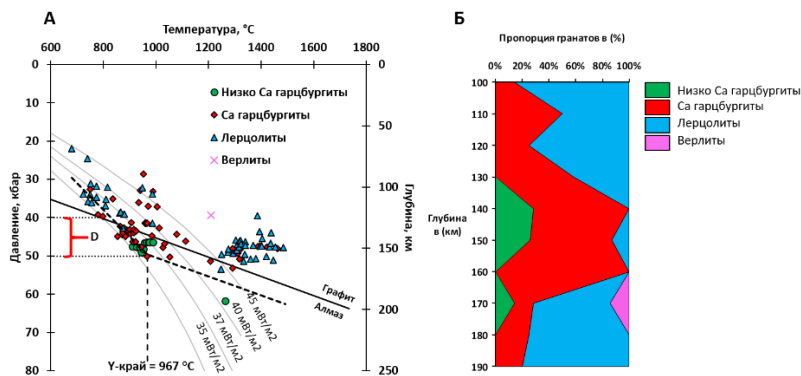
Построение линии геотермы по P-T параметрам производилось в программе FITPLOT [5]. В программу были введены значения мощности и теплогенерации верхней и нижней земной коры в исследуемом районе, 12 и 29 км; 1,12 и 0,4 мкВт/м<sup>3</sup>, соответственно [1, 4]. Значение теплогенерации в мантии принято равным 0, а значение температуры мантийной адиабаты на поверхности 1300 °C [5]. В результате было установлено значение поверхностного теплового потока равное 39,8 мВт/м<sup>2</sup>. Мощность литосферы, определенная по пересечению геотермы с мантийной адиабатой, составила 230 км. По пересечению линии геотермы с границей перехода графит-алмаз и линией перехода литосфера-астеносфера определена мощность «алмазного окна» равная 110 км (Рисунок 1, б).



Для идентификации парагенезисов гранатов использована классификация CaO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2]. По содержанию CaO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> гранаты трубки Бобкова подразделяются на низкокальциевые гарцбургиты (9,7%), кальциевые гарцбургиты (42,5%), лерцолиты (46,9%) и верлиты (0,9%) (Рисунок 2, а). По распределению Y, Zr для трубки Бобкова характерны деплетированные гранаты (~42,48%, от общей выборки) с низкими содержаниями Y, Zr. К гранатам с признаками силикатного метасоматоза (высокие содержания Y, Zr) относится 27,43% гранатов (31 зерно), также присутствует 27,43% гранатов с признаками флогопитового метасоматоза (высокие содержания Zr, низкие содержания Y) и 2,65% (3 зерна) попадают в область фертильных гранатов. По отношению Y/Zr кальциевые и низкокальциевые гарцбургиты попадают преимущественно в область деплетированных парагенезисов и область флогопитового метасоматоза. Лерцолитовые гранаты аккумулируются в области расплавленного метасоматоза и области деплетированных парагенезисов.

По содержанию CaO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> гранаты трубки ЦНИГРИ подразделяются на низкокальциевые гарцбургиты (13,9% от 108 зерен), кальциевые гарцбургиты (28,7%), лерцолиты (56,5%) и низкохромистые гранаты (0,9%). Особенности редкоэлементного состава гранатов указывают на наличие деформированных лерцолитов, метасоматизированных силикатными расплавами (50% лерцолитов находится в области силикатного метасоматоза). Трубка им. Щукина характеризуется большим количеством гранатов из пород, подвергшихся силикатному метасоматозу. Среди гарцбургит-дунитовых только половина попадает в поле деплетированных гранатов.

Для оценки P-T параметров в гранатах был использован термобарометр [8], основанный на коэффициенте распределения Ni между гранатом и оливином, сосуществующими в равновесии. На основе рассчитанных температур равновесия гранатов и содержания в них Y, была определена нижняя граница деплетированной литосферы – «Y-край». В гранатах из трубки Бобкова он составляет 967°C, ЦНИГРИ - 1041°C, Щукина – 855 °C. Для построения геотермы по гранатам перидотитового парагенезиса проведена проекция их температур на известную геотерму 35 мВт/м<sup>2</sup>.



**Рисунок 2.** А. P-T-разрез литосферной мантии на основании данных Ni-в-гранате термометрии по [8] и Cr-в-гранате барометрии по [8]; геотермы по [3]; Б. Реконструкция глубинного разреза для трубки Бобкова по данным о распространенности разных типов перидотитовых пород по [7].

В результате для трубки Бобкова установлено преимущественное распространение гарцбургитовых гранатов в интервале глубин 125-159 км, а мощность алмазного окна ~34 км. Низкокальциевые гарцбургиты соответствуют полю стабильности алмаза (910-988°C и 46-49 кбар), в то время как часть Са-гарцбургитов находится вне его. Реконструирован разрез мантийной колонны по спроецированным на геотерму гранатам. Наблюдается высокая концентрация гранатов из

деплетированных пород на глубинах 130-160 км (Рисунок 2, б). Мощность «алмазного окна» под трубками ЦНИГРИ и Щукина составляет ~73 км и ~23 км, а глубина распространения гарцбургитовых гранатов 150-200 км и 125-150 км, соответственно.

## Выводы

Исследованы ксенокристаллы клинопироксена и граната из КТФ трубок Юбилейная, им. Бобкова, ЦНИГРИ, им. Щукина. Реконструирована палеогеотерма для трубки Юбилейная, соответствующая тепловому потоку 39,8 мВт/м<sup>2</sup>. Мощность литосферы на время проявления кимберлитового магматизма в D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> составляла 230 км. Мощность «алмазного окна» под трубкой Юбилейная составляла 110 км. Рассчитанные P-T параметры клинопироксенов соответствуют диапазону глубин 125-160 км. Области распространения гарцбургитов в мантийных колоннах под трубками Бобкова, ЦНИГРИ, Щукина несколько отличаются. Трубка Бобкова 125-159 км, ЦНИГРИ 150-200 км, Щукина 125-150 км. «Алмазное окно» может значительно варьировать под разными трубками. Вероятней всего, его мощность варьирует в зависимости от объема поднимающихся расплавов-флюидов, и степени их воздействия на литосферу.

## Библиография

1. Cherepanova Y. et al. Crustal structure of the Siberian craton and the West Siberian basin: An appraisal of existing seismic data //Tectonophysics. – 2013. – Т. 609. – С. 154-183.
2. Griffin W. L. et al. Secular variation in the composition of subcontinental lithospheric mantle: geophysical and geodynamic implications //Structure and evolution of the Australian continent. – 1998. – Т. 26. – С. 1-26.
3. Hasterok D., Chapman D. S. Heat production and geotherms for the continental lithosphere //Earth and Planetary Science Letters. – 2011. – Т. 307. – №. 1-2. – С. 59-70.
4. McKenzie D., Jackson J., Priestley K. Thermal structure of oceanic and continental lithosphere //Earth and Planetary Science Letters. – 2005. – Т. 233. – №. 3-4. – С. 337-349.
5. Mather K. A. et al. Constraints on the depth and thermal history of cratonic lithosphere from peridotite xenoliths, xenocrysts and seismology //Lithos. – 2011. – Т. 125. – №. 1-2. – С. 729-742.
6. Nimis P., Taylor W. R. Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer //Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2000. – Т. 139. – С. 541-554.
7. O'Reilly S. Y., Griffin W. L. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications //Tectonophysics. – 2006. – Т. 416. – №. 1-4. – С. 289-309.
8. Ryan C. G., Griffin W. L., Pearson N. J. Garnet geotherms: Pressure temperature data from Cr-pyrope garnet xenocrysts in volcanic rocks //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1996. – Т. 101. – №. B3. – С. 5611-5625.
9. Ziberna L. et al. Error sources in single-clinopyroxene thermobarometry and a mantle geotherm for the Novinka kimberlite, Yakutia //American Mineralogist. – 2016. – Т. 101. – №. 10. – С. 2222-2232.

***О природе благороднометалльно-графитогосной минерализации сопредельных территорий Северо-Востока Китая и юга Дальнего Востока России. Молчанов В.П.\* (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, vpmol@mail.ru), Сун Фенгуй (Цзилиньский университет, КНР)***

**Аннотация**

В пределах единой зоны региональной графитизации, вытянутой в субмеридиональном направлении на многие десятки километров сопредельных территорий Приморского края (Россия) и провинции Хэйлунцзян (Китай), выявлены многочисленные проявления благороднометалльной минерализации, отнесенные к одной Цзямусы-Ханкайской провинции. На ее северном фланге расположены объекты Дальнереченской группы (наиболее крупное – Филинское), в центре – месторождения Лесозаводской группы (Тургеневское, Тамгинское), на юге – графитоворудный гигант Люмао.

Результаты изотопно – геохимического изучения карбонатных пород этих месторождений, имеющих общую историю с формированием благороднометалльной минерализации, свидетельствуют об участии в рудогенезе производных глубинных флюидов. Кроме того, в рудообразующую систему поступали углерод и кислород по меньшей мере еще из двух изотопно-контрастных источников. Одни минералы образовались под воздействием внедрившихся кислых расплавов на карбонатные породы, другие - вследствие участия в рудообразовании метеорных вод.

**Ключевые слова**

Золото, графит, карбонаты, изотопия углерода и кислорода.

**Теория**

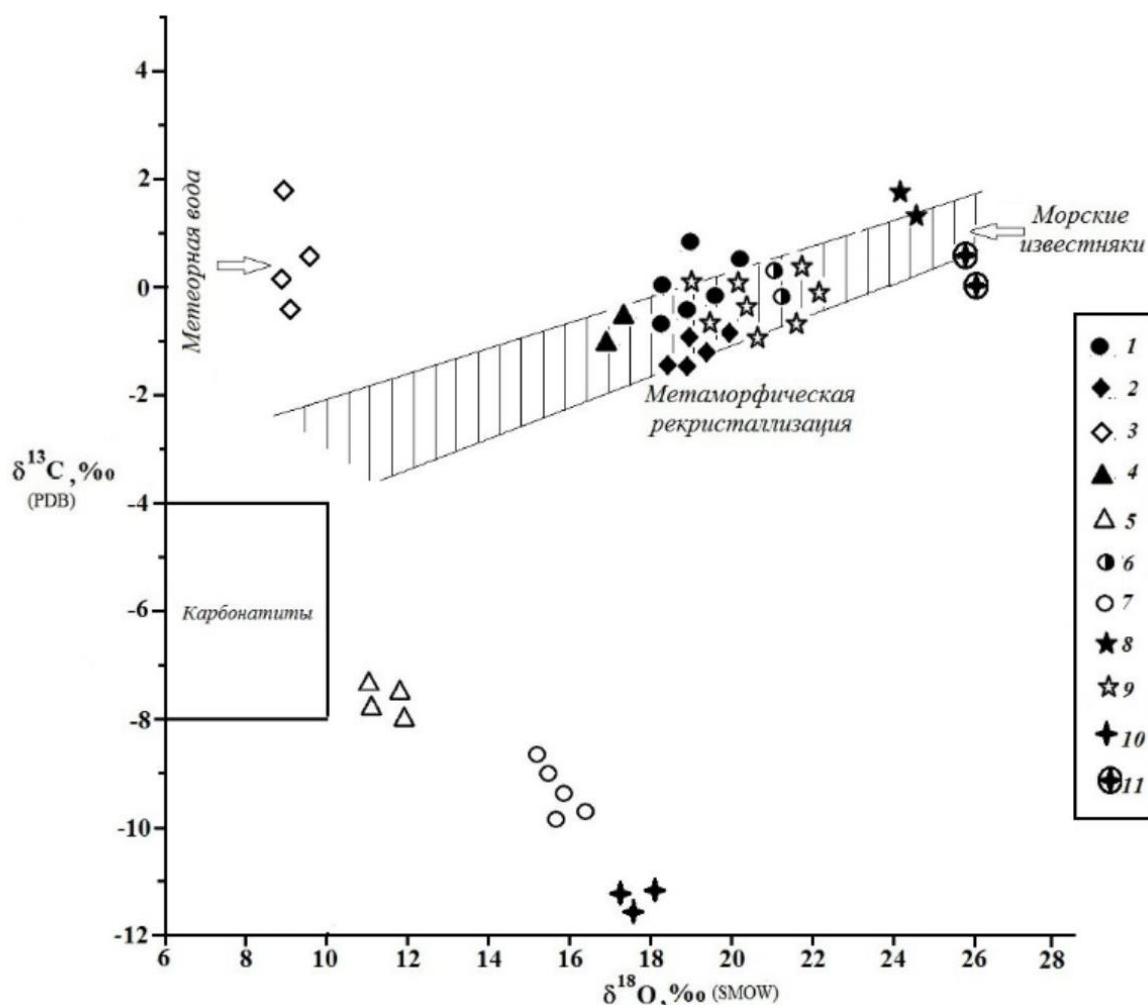
Графитоносные породы занимают обширные территории в пределах Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая. Только в Приморском крае они образуют широкую зону, вытянутую в субмеридиональном направлении на многие десятки километров вдоль границы Ханкайского и Цзямусы террейнов от г. Дальнереченска на севере через г. Лесозаводск до г. Цзиси (провинция Хэйлунцзян, КНР). Одним из важнейших результатов геологических исследований последних десятилетий в пределах этой зоны является открытие [2] проявлений благороднометалльной минерализации. В ее северной, российской, части (Дальнереченская площадь) выявлено пять месторождений (наиболее крупное из них - Филинское), в центре (Лесозаводская площадь) расположено свыше тридцати объектов (в том числе известные месторождения графита Тамгинское и Тургеневское), а в южном, китайском, сегменте (Машаньская площадь) размещено около сорока месторождений, в том числе и графитоворудный гигант Люмао, на долю которого приходится более половины мировой добычи кристаллического графита. Учитывая широкое площадное проявление металлоносных графитизированных пород при их значительной мощности по вертикали (до 3000 м), можно полагать, что они, помимо графита, аккумулируют значительные ресурсы благородных металлов. Было предложено [3] объединить упомянутые графитоносные площади в одну Цзямусы-Ханкайскую провинцию. К числу ключевых проблем геологии изученных месторождений относится установление

источников их рудного вещества. Для решения этой проблемы изучен изотопный состав карбонатных пород, несущих важную генетическую информацию о происхождении и условиях формирования благороднометальной минерализации. Отбор проб осуществлялся из карьеров и керна буровых скважин, обнажений вмещающих пород и рудных образований большинства известных к настоящему времени объектов Дальнереченской, Лесозаводской и Машаньской графитоносных площадей.

Изотопный анализ кислорода и углерода карбонатов выполнен с использованием высоковакуумной системы для разложения карбонатов в фосфорной кислоте [4] и изотопного масс-спектрометра MAT (Fisher Scientific, Germany). Вес анализируемых образцов составлял около 5 мг. Измерения изотопного состава проведены относительно лабораторного стандарта, калиброванного по международным стандартам NBS-18, NBS-19 и IAEA-CO-8. Результаты измерений  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  даны в отношении к международным стандартам VSMOW и VPDB соответственно. Погрешность определения величин  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  ( $1\sigma$ ) составляла 0,05‰ для лабораторного стандарта и 0,1‰ для образцов.

На диаграмме соотношений изотопных составов кислорода и углерода карбонатных минералов (рис.) отчетливо видны два тренда их эволюции. Один из них отвечает тренду трансформации морских карбонатных пород на ранней стадии рудообразующего процесса. Так, величины  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  мраморов варьируют в пределах соответственно 22,2 – 25, 4 ‰ и - 0,7 – 3,6 ‰, соответствующим осадкам метаморфогенного происхождения [1]. В скарнах изотопные составы кислорода и углерода дистанцированы от мраморов, сдвигаясь с сторону более легких значений от 16,2 до 20,3 ‰ и от -1,2 до 2,0 ‰. Обогащение скарнов легкими кислородом и углеродом неоднократно описано в литературе [5,6]. Оно связывается с метаморфической рекристаллизацией пород и привнесом в них изотопно-легких растворов, а также с процессами высокотемпературного разложения карбонатов, сопровождающимися кинетическими эффектами разделения изотопов. Еще в большей степени облегчен кислородно-изотопный состав карбонатов пострудных прожилков (9,0-10,0 ‰), что указывает на появления в системе изотопно легких метеорных вод. Их участием в формировании карбонатов скарнов, как отмечалось ранее [7,8,9] можно объяснить высокую степень облегчения кислорода последних. Полигенность источников углерода и кислорода послужило причиной широкой дисперсии значений  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  карбонатных пород.

Другой тренд зафиксировал облегчение изотопного состава кальцитов графитовых жил в направлении от Тургеневского и Тамгинского месторождений к Люмао. Поле значений первого из них совпадает с контурами мантийного источника [10]. Кальциты Тамгинского месторождения деплетированы тяжелыми изотопами С в меньшей мере, изменяясь соответственно от -8,5 до -10,0 ‰. Степень облегченности изотопного состава С достигает максимальной величины в кальцитах Люмао (от -11,5 до - 12,0 ‰). Наиболее вероятной причиной появления легкого углерода могло быть заимствование мантийными флюидами в процессе рудообразования биогенного вещества из вмещающих пород. В тоже время изотопные параметры рудных карбонатов (рис.) указывают на последовательное обогащение тяжелыми изотопами кислорода карбонатов Люмао относительно Тамгинского и Тургеневского месторождений. Вполне возможно, что это изотопное смещение происходило в результате попадания в систему тяжелого кислорода за счет высокотемпературного разложения карбонатных пород в процессе их метаморфической рекристаллизации.



**Рисунок.** Характер соотношений изотопных составов кислорода и углерода карбонатных минералов Цзямусы-Ханкайской провинции. Месторождения: 1 - Филинское (скарны); 2,3 - Высота 316 (2 - скарны, 3 - пострудные кальциты); 4,5 - Тургеневское (4 - скарны, 5 - графитовая руда); 6,7 - Тамгинское (6 - скарны, 7 - графитовая руда); 8, 9 - Ружинское (8 - мрамора, 9 - скарны); 10, 11 - Люмао (10 - графитовая руда, 11 - мрамора). Поле составов мантийных карбонатных пород по [10]

## Выводы

Резюмируя вышесказанное отметим, что полученные данные по изотопии углерода и кислорода карбонатных минералов российских и китайских месторождений Цзямусы-Ханкайской графитоносной провинции позволяют полагать об участии в формировании сингенетичной им рудной минерализации по меньшей мере, два изотопно-контрастных источника: флюидов мантийного происхождения и осадочных пород с органическими соединениями. Кроме того, в рудообразующую систему поступали углерод и кислород по меньшей мере еще из двух изотопно-контрастных источников. Одни минералы образовались под воздействием внедрившихся кислых расплавов на карбонатные породы, другие - вследствие участия в рудообразовании метеорных вод.

## Библиография

1. Фор Г. Основы изотопной геологии. Москва: Мир. 1989. 590 с.

2. Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Молчанов В.П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива, Приморье // Докл. РАН. 2004. Т. 379. № 4. С. 524-529.
3. Ханчук А.И., Сун Фенгуй, Молчанов В.П., Гребенникова А.А., Гребенников А.В. Благородные металлы в графитосодержащих породах месторождения Люмао (Китай) // Докл. РАН. 2017. Т. 473, № 1. С. 80-82.
4. Velivetskaya T A, Ignatiev A V, Gorbarenko S A. Carbon and oxygen isotope microanalysis of carbonate. Rapid communications in mass spectrometry. 2009. V.23. p. 2391-2397.
5. Bowman J.R. Stable-isotope systematics. Mineralized intrusion-related skarn systemst. Ed. D. R. Lentz. Min. Assoc. Can. Short Course 26. 1998. p. 99-145.
6. Baumgartner L.P., Valley J.W. Stable isotope transport and contact metamorphic fluid flow. Rev.Mineral. Geochem. 2001. 43 p. 415-467.
7. Taylor B.E., O'Neil J R. Stable isotope studies of metasomatic Ca-Fe-Al-Si skarns and associated metamorphic and igneous rocks, Osgood Mountains, Nevada. Contrib. Mineral. Petrol. 1997. 63 (1) p. 1-50.
8. Brown P.E., Bowman J R., Kelly W.K. Petrologic and stable isotope constrains on the source and evolution of skarn-forming fluids at Pine Creek, California. Econ.Geol. 1985. 80 p. 72-95.
9. Hall D.L., Cohen L H., Schiffman P. Hydrothermal alteration associated with the Iron Hat iron skarn deposit, eastern Mojave Desert, San Bernardino Country, California. Econ.Geol. 1988. 83 p. 568-587.
10. Taylor H.P., Frechen J. Degens E.T. Oxygen and carbon studies of carbonations from the Laacher See District. West Germany and the Alno District, Sweden // Geochim et Cosmochim Acta. 1967. V. 31. P. 407-430.

***Петрографические особенности баженовских отложений. Нестерова Л.Л.\*  
(Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ, [L\\_Nesterova@ugrasu.ru](mailto:L_Nesterova@ugrasu.ru)),  
Бабарыкин В.В. (Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ,  
[v\\_babarykin@ugrasu.ru](mailto:v_babarykin@ugrasu.ru))***

### **Аннотация**

Исследованы петрографические шлифы баженовской свиты в некоторых скважинах на западе Широтного Приобья, которые являются необходимой составной частью анализа перспектив нефтегазоносности данных отложений. Детализированы особенности описания шлифов, подтвержденные фотоматериалом.

### **Ключевые слова**

Отложения баженовской свиты, петрографические шлифы, нефтегазоносность.

### **Теория**

Снижающиеся темпы прироста углеводородов заставляют специалистов все более активно изучать возможности нефтегазоносности нетрадиционных поисковых объектов, к которым, безусловно, относится баженовская свита, считавшейся ранее типичным региональным флюидоупором, разделяющим верхнеюрские и неокомские продуктивные горизонты. Данная свита - это уникальное явление в геологическом строении Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и входит в состав одноименного горизонта, представленного битуминозными аргиллитами. Свита представляет собой единое геологическое тело - толщу кремнисто-глинисто-карбонатного состава мощностью в среднем около 30 м. Она же является региональным репером.

Существует немало теорий об условиях формирования баженовской свиты. Результаты работы [1] показали, что породы баженовской свиты сформировались в условиях низких потоков обломочного вещества в восстановительных условиях и периодически возникающем сероводородном режиме.

Известно также о множестве классификаций самих отложений, накопленных в титон-берриасские века на границе поздней юры и раннего мела, которые затем были выделены в виде пород баженовской свиты. В работе [3] предложили классификацию пород баженовской свиты по соотношению четырех породообразующих компонентов, представленных кремнистыми, глинистыми, карбонатными минералами и органическим веществом (керогеном). В работе [5] больше уделено внимания генезису карбонатных пород в баженовской и абалакской свитах, но все же наиболее распространены в этих отложениях глинисто-кремнистые породы с повышенным содержанием керогена. Отличительной особенностью баженовской свиты является ее обогащенность органическим веществом сапропелевого типа и биогенным кремнеземом

В изученном районе породы свиты при анализе их в керне, в шлифах и по химическому составу отчетливо подразделяются на четыре группы: низкоглинистые высококремнистые, высоко-глинистые низкокремнистые, карбонаты, а также глинисто-алеврито-песчаные породы аномальных разрезов [2].

Основными породообразующими компонентами, слагающими баженовский горизонт, являются минералы группы кремнезема (халцедон, опал, кварц), глинистые (в основном смешанно-слоистые, гидрослюдисто-монтмориллонитовые), карбонатные минералы (кальцит, доломит и, возможно, сидерит или анкерит), органическое вещество и пирит [4]. Различные соотношения количеств этих компонентов вместе со структурными и генетическими признаками пород обуславливают высокую литологическую неоднородность баженовского горизонта.

При исследовании наших шлифов все выше перечисленные минералы присутствуют, а также в достаточно большом количестве - пирит, что согласуется с восстановительной обстановкой осадконакопления [1] при формировании баженовских отложений. Помимо этих минералов, еще присутствуют фосфат (гидроксиапатит, связанный с ихтиодетритом), иногда альбит, хлорит и глауконит.

Шлифы баженовской свиты изучались по скважинам, расположенным, в основном, на западе Широтного Приобья, с помощью поляризационных микроскопов фирмы Leica и Полам-312. Фотографировались наиболее типичные участки шлифа, отражающие состав и структуру породы. Выполнялась фотосъемка в трех режимах: в параллельных и скрещенных николях, редко в отраженном свете для подчеркивания пиритизированных объектов. Интересующий объект на фото выделялся округлым или прямоугольным маркером, наносилась стрелка и надпись. Изучение шлифов проводилось в определенной последовательности.

Непосредственно при описании шлифов выявлялось количественное и пространственное соотношение всех ниже перечисленных компонентов, указывалось, в каком виде каждый из них находится, какие вторичные изменения они претерпели, а также перечислялись наблюдаемые органические остатки.

1. Органическое вещество (ОВ) находится в породе в тонкораспыленном состоянии и окрашивает ее в бурый или красновато-бурый цвет. А в отдельных местах по напластованию наблюдается концентрация битума темно-бурого и даже черного цвета в виде небольших линз и пятен, иногда прослоев. ОВ количественно оценивалось по плотности окраски битума от светло-коричневой до темно-коричневой со слоями (часто до нитевидных – когда длина превышает ширину в 10 и более раз 0,01x0,1 мм, 0,02x0,3-0,5 мм и т.д.), выходы битума по трещинам.

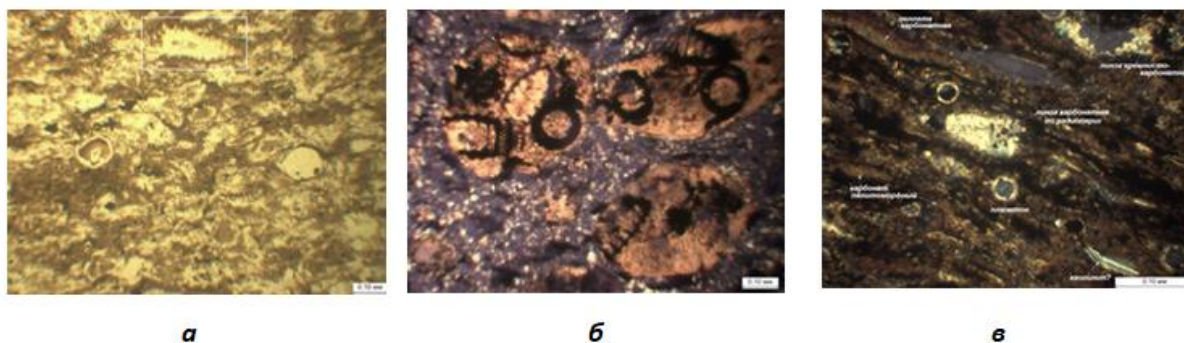
2. В минеральной части пород отмечается наличие: а) карбоната (рис. 1б) (кальцит, доломит, сидерит), размеры и формы их выделения (зерна, ромбические кристаллы, тонкозернистые выделения), степень кристалличности – кристаллический, сферический, зернистый или пелитоморфный; б) кремнезема аморфного или скрытокристаллического, который представлен в виде опала, халцедона (рис. 1 а, б) или раскристаллизованного кварца; в) пирита в тонкораспыленном виде, выполнения трещин по напластованию или замещения структуры радиолярий (рис. 1 б, в). Реже встречались глауконит, хлорит, лейсты каолинита, выделения фосфатов (копролиты) – количество, форма, размеры.

3. Оценивался состав, размер и формы линз: кремнистый, карбонатный, глинистый, глинисто-кремнистый, пиритовый; удлиненные, удлиненно-выпуклые, ленточные, нитевидные.

4. Органические остатки: радиолярии (рис. 1), ихтиодетрит, детрит макрофауны и растительных остатков, одноклеточный водорослевый планктон (рис. 1в) и редко фораминиферы.



Радиолярии в породе распределены по-разному (рис. 1): от единичных до прослоев, состоящих из ярко выраженных форм радиолярий удлиненно-пирамидальных, овальных, одутловатых и округлых, ср. размера от 0,08 до 0,25 мм (удлиненные), сцементированных глинисто-битумным веществом. Наблюдаются стадии перекристаллизации панцирей радиолярий вплоть до образования линз и прослоев тонкораскристаллизованного кремнезема. Характерна карбонатизация (рис. 1в). Радиолярии или их структуры по составу: кремнистые, карбонатные и пиритизированные полностью или фрагментарно.



**Рисунок 1.** Радиолярии, представленные в различных типах пород: а) Радиолярит, кремнистые радиолярии перекристаллизованные и состоящие в основном из халцедона. Ник. II; б) Карбонато-кремнистая порода с пиритизированными структурами радиолярий. Ник. X; в) Кремнисто-карбонато-глинистая порода с карбонатизированными радиоляриями, битуминозная, пиритизированная, с одноклеточным водорослевым планктоном. Ник. X

Планктон водорослевый однокамерный (кальциферы) 0,02-0,04 мм с карбонатной оболочкой (рис. 1 в), иногда агглютинированной, и кремнистым, битумным или карбонатным (редко пиритным) ядром, встречаются сплюснутые формы. Ихтиодетрит (рыбные остатки) встречается в виде мелкого детрита или крупных остатков. Детрит пелеципод и др. в виде вытянутых слоев, состоящих из крупных или мелких призм кальцита.

Обломочный материал размером 0,01-0,1 мм, но чаще 0,01-0,04 мм, как правило, в пределах 1-5 %, реже от 5 до 10 %.

Среди структур породы преобладает чешуйчатая. Если выделяются удлиненные вытянутые в одном направлении глинистые чешуйки, то структура – листоватая или смешанный тип – листовато-чешуйчатая, данный вид характерен для глинистых и кремнисто-глинистых пород. Другие структуры: пелитоморфная, микрокристаллическая, мелкозернистая, сферолитовая, комковатая – это, в основном, для карбонатных и глинисто-карбонатных пород; для кремнистых – пелитоморфная, гелеподобная или аморфная, слабонакристаллизованная.

При описании шлифов указывались вторичные изменения (рис. 1), характерные для той или иной породы. Среди них наибольшее распространение имеют пиритизация, карбонатизация, в т.ч. доломитизация, окремнение, реже хлоритизация, очень редко альбитизация, а также цеолитизация зерен плагиоклаза.

При детальном описании шлифов формировалось определенное название породы, в котором принимали участие: а) присутствующие биогенные или абиогенные линзы (как правило, кремнистые, карбонатные, глинистые, пиритовые, битумные и смешанные); б) насыщение породы органическими остатками (радиолярий,

водорослевого планктона, детрита рыбного, растительного или двустворок); в) органического вещества (битума); а также г) наличие основной матрицы, представленной глинистым, кремнистым, карбонатным или смешанным веществом и степенью их раскристаллизованности.

Предлагается классифицировать породы баженовской свиты по числу компонентов. Поскольку, часть пород изученных нами образцов, представлены чистыми разностями глинистых, карбонатных и кремнистых образований, то соответственно можно их выделить в группу однокомпонентных: глинистые, карбонатные (известняки), в т.ч. доломитизированные и доломиты (редко), кремнистые – силициты и радиоляриты (рис. 1 а). Однако в таком чистом виде породы встречаются довольно редко. Гораздо чаще наблюдаем смешанный состав в различных вариациях. Это могут быть двухкомпонентные: глинисто-карбонатные, карбонато-глинистые, кремнисто-карбонатные, карбонато-кремнистая (рис. 1б) и т.п.; трехкомпонентные: глинисто-карбонато-кремнистые, кремнисто-карбонато-глинистые (рис. 1в) и т.п. с определенным количеством органического вещества. А в аномальных разрезах встречаются обломочные породы в виде песчаников и алевро-песчаников.

### **Выводы**

Исследование петрографических шлифов является одним из аспектов, предопределяющих перспективы нефтегазоносности баженовской свиты, т.к. на их основе в дальнейшем восстанавливается палеогеографическая обстановка осадконакопления, а вторичные изменения, наблюдаемые в шлифах, являются важным фактором, определяющим фильтрационно-емкостные свойства пород.

### **Библиография**

1. Бычков А.Ю., Калмыков Г.А., Бугаев И.А., Балущкина Н.С., Калмыков А.Г. Геохимические особенности пород баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. № 6. С. 86-93.
2. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. 2005. №4. С. 118-135.
3. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. Классификация пород баженовской свиты// Геология и геофизика. 2016. Т57. №11. С. 2034-2043.
4. Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С.. Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. – М.: Наука, 1984. – 36 с.
5. Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Калмыков Г.А. и др. Строение и генезис известняков на границе абалакской и баженовской свит в центральной части Западно-Сибирского бассейна // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 5. С. 62–68.

*Минералого-геохимические особенности нефелина в Хибино-Ловозёрском (Кольский полуостров) и Вишневогорском (Южный Урал) щелочных комплексах. Никитин Е. К.\* (РГГУ, [kanonenfutteri@yandex.ru](mailto:kanonenfutteri@yandex.ru)), Шуряева П.В. (РГГУ, [polsha000000@gmail.com](mailto:polsha000000@gmail.com)), Смирнов А.А. (РГГУ, [smirnovaa@mail.ru](mailto:smirnovaa@mail.ru)), Должанская Т.Ю. (РГГУ, [dolzanskaya@rambler.ru](mailto:dolzanskaya@rambler.ru))*

## Аннотация

В работе проведено сравнение геологического строения, петрохимических особенностей и минерального состава Хибино-Ловозёрского и Вишневогорского щелочных комплексов; а также уделено внимание типохимизму разноокрашенных нефелинов из щелочных пегматитов.

## Ключевые слова

Хибино-Ловозёрский комплекс, Вишневогорский массив, щелочные породы, нефелиновые пегматиты, типохимизм минералов, индикаторные отношения.

## Теория

1. В коллекции Минералогического музея МГРИ представлено большое количество образцов из уникальнейших щелочных комплексов Кольского полуострова и Урала, Сибири, Южной Гренландии, Памира и Приазовья. Прекрасные музейные коллекции позволяют сравнить особенности минерального состава щелочных пород и пегматитов разных комплексов, исследовать геохимические параметры минералов, используя богатейших материал предшественников и собственные аналитические данные.

2. Хибино-Ловозёрский щелочной комплекс представляет собой один из сложных многофазных интрузий центрального типа. Он расположен в архейско-протерозойских метаморфических породах (Боруцкий, 2015; Гойчук и др., 2022). Причины формирования и этапы становления Хибинского и Ловозёрского массивов различными исследователями представляется по-разному, однако, всеми признается, что их характерной особенностью является кольцевое (в плане) строение. Комплексы пород, слагающие массивы, образуют как бы сложенные друг в друга дуги, открытые к востоку. Основная площадь массивов занята фойяитами (в центре) и хибинитами (по периферии), между которыми расположены породы так называемой “центральной дуги”: уртиты, луявриты, ричорриты и другие разновидности; кроме интрузивных серий, в районе распространены нефелинсодержащие пегматиты (Пеков, 2000–2001; Боруцкий, 2015).

3. На Южном Урале расположен, известный своими уникальными минералами ещё с середины XIX в., Ильменогорско-Вишневогорский комплекс щелочных пород и карбонатитов. В составе комплекса два главных миаскитовых массива – Вишневогорский (на севере) и Ильменогорский (на юге). Исследуемые образцы отобраны из щелочных пегматитов Вишневогорского массива, который образует крупное каплевидное тело, сложенное разнообразными нефелиновыми породами – мигматитами, интрузивными миаскитами, альбититами и серией нефелинсодержащих

пегматитов. Интрузивные разности миаскитов и пегматиты секут метаморфические породы архейско-протерозойского возраста (Левин и др., 1997).

4. Коротко остановимся на характеристике основных минералов, слагающих уральские и кольские щелочные породы. Горные породы обоих комплексов относятся к нефелиновым сиенитам со схожим, но различным в деталях минеральным составом. Главными минералами, безусловно, являются нефелин и полевые шпаты (микроклин и альбит-олигоклаз), щелочные пироксены и щелочные амфиболы, присутствуют минералы редких металлов и редкоземельных элементов (Должанская, 1991). В Вишневогорском массиве щелочные породы (миаскиты) содержат биотит, и в аксессуарных количествах – циркон, титанит, ильменит, промышленный пироксид. В Хибино-Ловозёрском комплексе содержится широкий набор разнообразных минералов циркония, титана, ниобия, тантала и РЗЭ – мелкозернистый апатит, эвдиалит-эвколит, астрофиллит, лампрофиллит, мурманит, ильменит, ринколит, ловчоррит, лопарит, рамзаит, нептунит, пектолит и др. (Пеков, 2001).

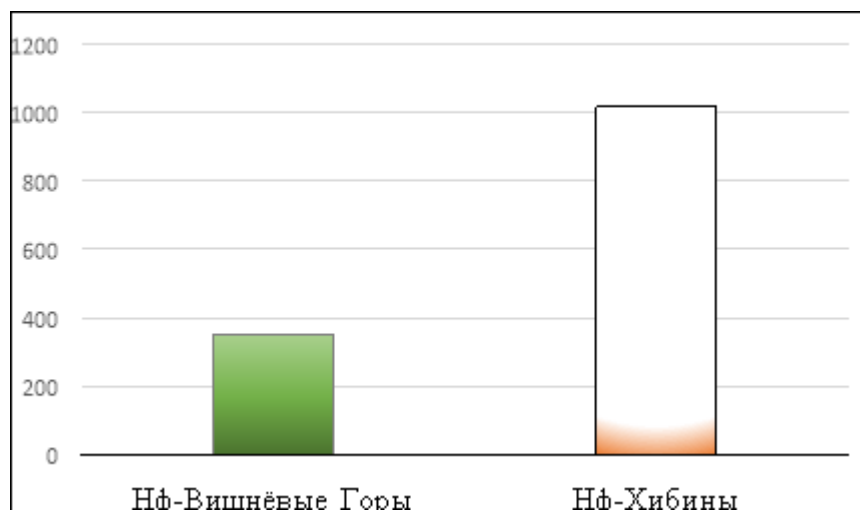


**Рисунок 1.** Щелочные нефелиновые пегматиты а) Хибинского массива (обр. 19x14 см) и б) Вишневогорского массива (обр. 9x8 см). Обр. из коллекции Минералогического музея МГРИ. Фото Т.Ю. Должанской, 2022 г.

Итак, основные отличия щелочных пород и нефелиновых пегматитов Кольского полуострова от пород щелочных массивов Южного Урала заключаются в следующем:

- а) Нефелин образует идиоморфные выделения от первых миллиметров в интрузивных породах до 20-30 см в пегматитах и обладает серовато-зеленым или густо-серо-зеленым цветом (рис. 1а), что является его типоморфным признаком по сравнению с бледно-окрашенными, либо серыми или серо-красно-коричневыми нефелинами пород Вишневогорского массива (рис. 1б);
- б) Типична широкая вариативность в минералогическом составе нефелиновых сиенитов, слагающих зоны кольцевых массивов;
- в) Характерна более высокие содержания нефелина и темноцветных минералов нефелина в отдельных типах щелочных пород и пегматитов (до 25-80%);
- г) Хибинские породы богаче специфическими редкометалльными и редкоземельными минералами, впервые открытыми в России и мире - эвдиалит, эвколит, юкспорит;
- д) Аномально высокие концентрации в горных породах, минералах и рудах фосфора, фтора, Sr, Ti, Zr и других редких и редкоземельных элементов.

5. Известно, что обычные микропримеси в нефелинах - Fe ( $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ ), Ca, в подчиненном количестве Ti, Mn, Mg,  $CO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $H_2O$ , частично входящие в решетку нефелина или присутствующие в виде механических включений. Возможность изоморфного вхождения  $Fe^{3+}$  вместо  $Al^{3+}$  доказана методами парамагнитного резонанса и электронного микронзондирования (Боруцкий, 2015; Гойчук и др., 2022). Наши исследования образцов из коллекции Минералогического показали, что серо-зелёном нефелине повышено содержание Fe, Ga, Sr. Анализы из многочисленных литературных источников прошлых также дают возможность проследить увеличение оксидов железа и Ti в серо-зелёных нефелинах. K/Na в минерале колеблется неравномерно. Однако, наблюдается тенденция увеличения натрия (уменьшения K/Na отношения) в вишневогорских образцах, где в ассоциации с нефелином практически всегда присутствует мелкозернистый альбит. Количество Li и Rb от темноокрашенных зелёных нефелинов увеличивается в сторону более светлых зон уральских нефелинов, а Sr и Fe, наоборот падает, что, отражает закономерности концентрации элементов-примесей в генерирующих их первичных магмах. Подобная закономерность в определенной степени может быть объяснена падением общей щелочности пород, повышением кремнекислотности (а, следовательно, и увеличения содержания светло-цветных минералов), что наблюдается в вишневогорских образцах. На упомянутую тенденцию - изменение щелочности - кислотности среды минералообразования формирующихся пород указывает и K/Rb индикаторное отношение, которое также использовано в качестве индикатора изменения щелочности среды минералообразования. Анализ светлоокрашенного нефелина из уральских щелочных пород дает возможность проследить явное увеличение содержаний Rb (до 100-110 ppm) и уменьшение K/Rb отношения по сравнению с хибинскими нефелинами (с 1000 до 350), что всегда типично для пород с увеличивающимся трендом кислотности (рис.2). В распределении Ga четкие закономерности пока не установлены, хотя содержание галлия в нефелине представляет практический интерес, поскольку возможно его попутное извлечение.



**Рисунок 2.** Гистограмма K/Rb отношения в нефелинах из нефелиновых пегматитов Хибинского (зелёное поле) и Вишневогорского (коралловое поле) массивов (по данным РФА МГРИ, 2023, ppm).

## Выводы

В результате исследований были выявлены следующие особенности:

- в серо-зелёном нефелине из щелочных пегматитов Хибинского массива повышено содержание Fe, Mn и Sr;

- нефелин Хибин отличается также повышенными содержаниями петрогенных элементов - K и Ca;

- к типоморфным особенностям нефелина Вишневогорского массива можно отнести более низкие содержания K, Ca и Fe;

- K/Rb отношение в нефелине Вишневогорского массива невысоко (по сравнению с хибинскими нефелинами), что всегда типично для пород с увеличивающимся трендом кислотности.

### **Библиография**

1. Боруцкий Б.Е. Очерки по фундаментальной и генетической минералогии: 7. Эволюция представлений о генезисе Хибинских апатит-нефелиновых месторождений и метасоматическая гипотеза их формирования // Новые данные о минералах. Вып.50, 2015.
2. Гойчук О.Ф., Коноплёва Н.Г., Паниковский Т.Л. и др. Нефелин – типоморфный минерал пород Хибинского щелочного массива: обзор литературных данных и перспективы изучения. Тр. Ферсмановской науч. сессии ГИ КНЦ РАН, 2022.
3. Должанская Т.Ю. Левин В.Я. и др. Новые минералы карбонатитов и щелочных пород Вишневых гор // Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала. - 2007, с. 46 - 47.
4. Должанская Т.Ю. Использование типоморфных особенностей полевых шпатов для выявления внутреннего строения щелочного массива Вишневых гор на Урале. - Прикл. и экол. аспекты минерал.: Тез. докл. Годич. сес. Всес. минерал. о-ва, Звенигород, 19 – 21 марта, 1990. Кн.2. – М., 1991. – С. 61 – 63.
5. Левин В.Я., Роненсон Б.М. и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Уралгеолком, Екатеринбург, 1997, 274 с.
6. Пеков И.В. Ловозерский массив: история исследования, пегматиты, минералы. - М., Земля, 2001. 432 с.
7. Larsen, A. O., Kolitsch, U., Gault, R. A., Giester, G., 2010 Eirikite, a new mineral species of the leifite group from the Langesundsfjord district, Norway. European Journal of Mineralogy 22, 875–880.
8. Pekov I.V. Lovozero Massif: History, Pegmatites, Minerals. - Moscow, OP, 2000. - 480 pp.

*Изменчивость минералов и минеральных парагенезов по разрезу фундамента Омолонского массива (Северо-Восток РФ). Левин Б.\*, Израиль, ber-levin@rambler.ru*

## Аннотация

В фундаменте Омолонского массива фиксируется закономерная изменчивость по стратиграфическому разрезу как минеральных парагенезов, так и состава отдельных минералов. Представляется, что характерный минеральный ассамбляж может играть такую же роль для стратиграфических построений в разрезах кристаллических фундаментов, как руководящие окаменелости в разрезах фанерозоя.

## Ключевые слова

Фундамент Омолонского массива, породообразующие минералы, парагенез минералов.

## Теория

Юго-восточные выступы фундамента Омолонского массива – Ауланджинский и Закоронный – имеют расслоенный характер [2,4]. Первый из них изучен наиболее детально в силу лучшей обнаженности и повышенной дробности расслоения. На Государственной карте м-ба 1:50000 разрез Ауланджинского выступа выглядит так:

### **Золотогорская серия:**

Анюткинская свита (2300 м) разделена на три подсвиты. В ней преобладают гиперстеновые и двупироксеновые гнейсы, реже только с диопсидом; присутствуют двупироксеновые сланцы и глиноземистые породы (гранатовые, биотит-гранатовые ± силлиманит и/или кордиерит); редки эклогитовые сланцы (Gr+Di+Hyp+Pl) и ультрамафиты. В нижней подсвите, сравнительно с другими, повышена роль двупироксеновых сланцев (до 25%), а в верхней - глиноземистых пород (до 10%).

Гранат-пириболитовая толща (до 300 м) – эклогитоподобные породы (Gr+Di+Pl±Hrb±Hyp), гранат-амфиболовые и гранат-гиперстеновые плагиогнейсы, гранатовые амфиболиты, а также безгранатовые породы, аналогичные залегающим ниже.

Важенковская свита в Ауланджинском выступе обнажается в виде отдельных блоков гранатовых гнейсов в теле параавтохтонной интрузии биотитовых гранито-гнейсов (ее стратотип в соседнем Закоронном выступе – 860 м)

### **Приискательская серия:**

Гошинская свита (до 1500 м) – переслаивание амфиболитов, амфиболовых гнейсов и кварцитов в равных соотношениях, а также редкие гранат-биотитовые породы и еще более редкие эклогитовые амфиболиты (Gr+Pl+Hrb+Di±Hyp).<sup>1</sup>

Дождинская свита (1000-2000 м) – амфиболовые гнейсы, местами с прослоями амфиболитов и гранат-биотитовых гнейсов.

Евгеньевская свита (750-2000 м) – биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы, подчас с графитом, и редкие амфиболиты.

<sup>1</sup> О различиях эклогитоподобных пород в золотогорской и приискательской сериях см. в статье автора [3]. Там же приведена карта-схема Ауланджинского выступа.

Разрез Закоронного выступа отличается большей массивностью горных пород и несколько повышенной карбонатностью – присутствуют прослои кальцифиров (в Ауланджинском выступе таких нет), но в целом он коррелирует с ауланджинским разрезом. Анюткинской свите здесь соответствует диопсид-гнейсовая толща, содержащая и более редкие гиперстеновые гнейсы, маломощной гранат-пириболитовой толще – тоже маломощная кальцифировая толща, а еще выше здесь идут уже напрямую свиты ауланджинского разреза за исключением выпадающей тут гошинской свиты.

Обе серии сходны своим циклическим строением – содержание темноцветных пород в каждой из них уменьшается снизу вверх от 25-30% до 2-5%, а глиноземистые породы (гранатовые, гранат-биотитовые, биотитовые), наоборот, резко возрастают вверх по разрезу каждой серии от 0-2% до 90-95 %.

Уже в самом общем плане видно различие минеральных парагенезов по сериям: в золотогорской их основу составляет гиперстен, в приискательской – роговая обманка. Детальное же изучение выявило гораздо более дробную их изменчивость по разрезу. Суммарно по всему комплексу пород – и распространенных и достаточно редких – каждая свита (толща) имеет свой собственный набор минеральных парагенезов (рис. 1).

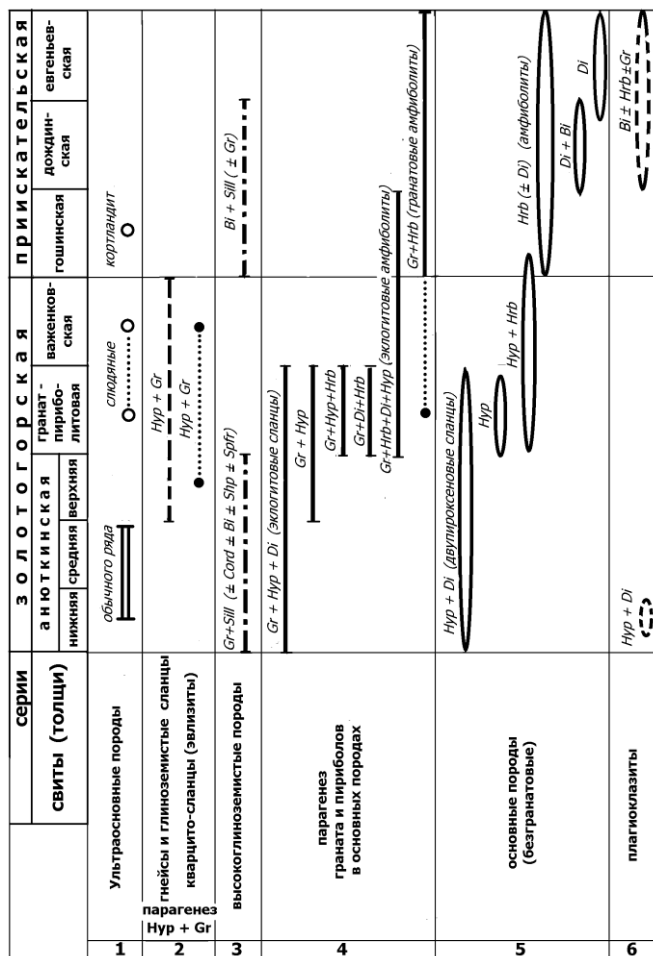
Итак, по разрезу Ауланджинского выступа представляется, что в аналогичных комплексах определенные сочетания минералов могут иметь стратиграфическое значение, сходное с ролью ископаемой фауны в фанерозое. Это положение проверено на сопоставлении с Закоронным выступом. Очень характерные по своему составу слюдяные ультрамафиты, по химизму сходные с лампроитами, в обоих выступлениях обнаружены в одинаковом стратиграфическом положении – в двух верхних подразделениях золотогорской серии.

Отмеченная выше цикличность строения серий хорошо отражается и на составе конкретных глиноземистых минералов – биотите и гранате. Так, железистость биотитов одинаково возрастает снизу вверх по разрезу каждой из серий (рис.2). В нижних свитах обеих серий, общая железистость биотитов глиноземистых пород не поднимается выше 42, а в верхних частях тоже их обеих только начинается с 45. Биотиты из меланократовых пород в целом заметно менее железисты, но, в общем, и они подчиняются такой же закономерности – циклическому изменению по разрезу.

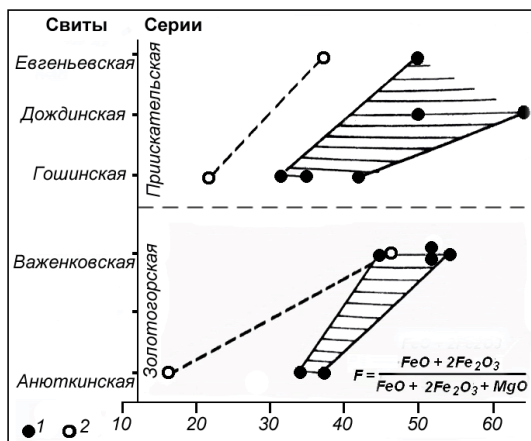
В составах гранатов из гранатовых и гранат-биотитовых гнейсов тоже проявлена циклическая закономерность их изменения по разрезу фундамента (рис. 3). Всего по гранатам сделано 93 определения из 38-ми образцов пород. Для уверенности выводов состав гранатов в большей своей части определялся дважды – по двум разным зернам из одного образца, а четыре гранатовых зерна из разных частей разреза проанализированы детально – по диаметру каждого сделано 5-7 определений через равные промежутки. Химические составы в каждом из этих четырех зерен оказались практически идентичными, не различающимися более чем на точность определений. Очевидно, это свидетельствует о равновесности минералов и всей системы.

На рис. 3 оконтурены поля распространения гранатов. Просматривается одинаковая тенденция их изменчивости в обеих сериях – несколько повышенное содержание гроссуляр-спессартиновой составляющей в низах серий, увеличение содержания пирропа в средних их подразделениях и повышение содержания альмандина в их верхах (компонента андрадита исчезающе мала). Оба цикла сходны формой, но сдвинуты относительно друг друга по линии альмандин-пирроп – пирроповая компонента выше в нижней, золотогорской серии.

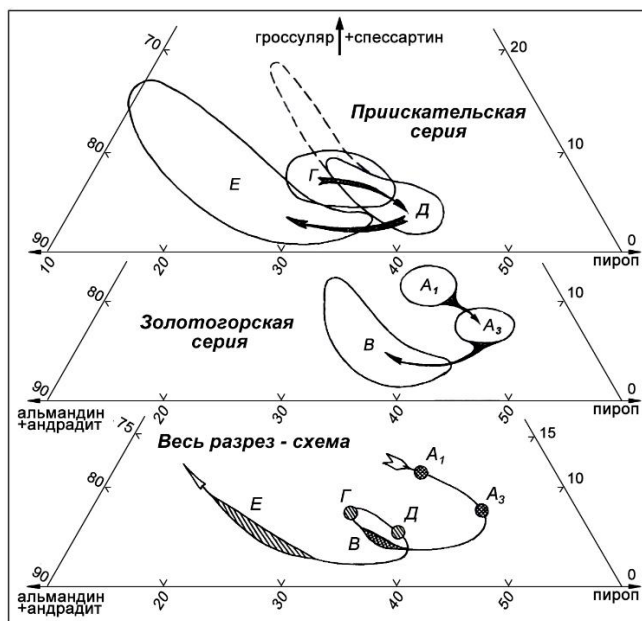




**Рисунок 1.** Минеральные парагенезы по разрезу Ауланджинского выступа. Линзами и разными линиями (кроме точечных) показано вертикальное распространение парагенезов. Кружки - единичные находки парагенеза в конкретном подразделении, а соединяющие их точечные линии - интерполяция по разрезу. Пириболы – совместное обозначение пироксенов и амфиболов, пириболит – порода с пироксенами и/или амфиболами. *Vi* - биотит, *Cord* - кордиерит, *Di* - диопсид, *Gr* - гранат, *Hrb* - роговая обманка, *Hyp* – гиперстен, *Ol* – оливин, *Sarf* - сарфирин, *Shp* - шпинель, *Sill* – силлиманит.



**Рисунок 2.** Изменчивость железистости биотитов по разрезу фундамента Омолонского массива. 1 – биотиты из глиноземистых гнейсов и плаггиогнейсов (в парагенезе с гранатом); 2 – биотиты из меланократовых пород.



**Рисунок 3.** Поля распространения анализов гранатов из разных свит (подсвет) разреза фундамента Омолонского массива. Стрелки везде направлены по восстанию разреза. Буквами обозначены свиты (подсветы):  $A_1$  – нижнеанюткинская,  $A_3$  – верхнеанюткинская,  $B$  – важенковская,  $Г$  – гошинская,  $Д$  – дождиная,  $Е$  – евгеньевская. Штриховое ограничение поля  $Д$  протянуто к единичному образцу. На общую схему тренда изменчивости гранатов (нижняя часть рисунка) вынесены статистические центры полей их распространения.

## Выводы

Итак, изучение состава минералов и их парагенезов может дать дополнительные критерии для обоснования и корреляции разрезов фундаментов платформ и срединных массивов. Этот вопрос может быть проверен и уточнен на сходных комплексах других регионов, сопоставленных в свое время в работах [1,5].

## Библиография

1. Левин Б.С. О сходстве стратиграфии глубокого докембрия массивов Северо-Востока СССР и Алданского щита. / Стратиграфия архея и нижнего протерозоя СССР. Труды V сессии науч. совета по геологии докембрия. (Уфа, 1977 г.) Л., Наука, 1979, с. 167-173.
2. Левин Б.С. Структура метаморфического цоколя юга Омолонского массива. / Метаморфические комплексы Северо-Востока СССР, их рудоносность и геологическое картирование. Магадан. 1991. с. 30-45.
3. Левин Б.С. Два типа эклогитоподобных пород в фундаменте Омолонского массива. // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2017, №3, с. 3-14.
4. Левин Б. Принцип Кюри – история становления и перспективы в геологии. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН -18. Апатиты. 2021. с. 258–264. <http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/Fersman/FNS.2021.18.048.pdf>
5. Шульдинер В.И. Докембрий на севере Тихоокеанского кольца. Новосибирск, Наука, 1973, 172 с.

**Принцип Кюри - два разных подхода к его интерпретации и применению. Левин Б. \*,  
Израиль, ber-levin@rambler.ru**

**Аннотация**

Проведено сравнение двух подходов к принципу Кюри. Показана легитимность обоих при разных вводных параметрах. Очерчены сферы применимости этих подходов.

**Ключевые слова**

принцип Кюри, симметрия, диссимметрия, ограничения принципа Кюри

**Теория**

В середине прошлого века академик А.В. Шубников и профессор И.И. Шафрановский поддержали и развили симметричный принцип Пьера Кюри, открытый более чем за полвека до них и не пользовавшийся до того особой популярностью в научных кругах. Формулировку принципа Кюри А.В. Шубников [7] вывел из общего текста статьи Кюри [2]: «Когда несколько различных явлений природы накладываются друг на друга, образуя одну систему, их диссимметрии складываются. В результате остаются лишь те элементы симметрии, которые являются общими для каждого явления, взятого отдельно». И он же придал законченную форму видам предельной симметрии Кюри (рис.1), показав их применение к свойствам минералов.

И. И. Шафрановский [6] эту систему предельных симметрий приложил к процессу роста минералов, и показал зависимость формы кристаллов от симметрии питающей среды. Но дальше развитие принципа Кюри снова застопорилось – в очень редких статьях последователи Шафрановского лишь использовали его наработки в попытках определения генезиса минеральных индивидов, и не более того. Однако еще он сам наметил возможный путь развития всей идеи: «1. Принцип симметрии П.Кюри имеет универсальное значение. 2. Проявление принципа симметрии иллюстрируется разнообразными примерами на геологических, петрографических и минералогических объектах» [5]. Он же в своих популярных книжках приводил примеры проявлений симметрии в окружающем мире, однако, еще оставалось невскрытым как работает на них конкретно принцип Кюри. Мысль Шафрановского о приложении этого принципа к решению задач геологии пока что не была подхвачена.

Ситуация изменилась в последние годы, когда дискуссия в журнале «Записки РМО» по статье автора [3] выявила два разных подхода к применению принципа Кюри. Один из них изложен конкретно в цитируемой статье, и он, как раз, развивает идею Шафрановского о расширении границ применения принципа Кюри (далее здесь - широкий подход). Второй подход постулирован в единственном критическом выступлении в той дискуссии [1], и базируется он на жестких ограничениях применения принципа Кюри (далее это - узкий подход).

Перед сопоставлением этих подходов, стоит заметить, что в шубниковской формулировке принципа Кюри не заложено никаких ограничений. Речь в ней идет о трех агентах исследуемого действия - паре (как минимум) взаимодействующих субъектов (явления природы), плюс еще объект их воздействия (система). О субъектах сказано - «накладываются друг на друга», т.е. они равноправны. Никаких границ или

запретов для них не указано, да и их объект имеет лишь ограничения по симметрии. Более того, субъект (любой) и объект здесь вообще суть позиции взаимозаменяемые, т.к. одна и та же сущность может быть субъектом, производящим действие, а в другой ситуации может стать объектом чьего-то воздействия. Например, физическое поле может быть субъектом, действующим на вещественные сущности (поле гравитации «тянет» камень к Земле), а может, наоборот, быть объектом воздействия (электрическое поле, создающееся падающей водой в гидроэлектростанциях). То же самое, по существу, происходит и при явлениях пьезоэффекта, как раз и изучавшихся братьями Кюри. Итак, в исходных условиях принципа Кюри не заложено никаких ограничений. Таковые, однако, возникают при использовании принципа в той или иной сфере.

В широком подходе специфика геологии, как исторической науки, привела, во-первых, к ограничению явлений именно геопроцессами (или шире - процессами прошедших времен), а во-вторых, к преобразованию формулировки Кюри в прямой рабочий инструментарий в виде двух взаимодополняющих аспектов: *А) В одной вещественной системе признаки с разной симметрией сформированы разными процессами с аналогичными симметриями. Б) Признаки системы с одинаковой симметрией, вероятней всего, созданы единым процессом со сходной симметрией.*

Эти два взаимосвязанных положения выведены непосредственно из принципа Кюри при комплексировании его с положением, о том, что в геологических объектах (в т.ч. и минералогических) могут совмещаться их признаки с разным типом симметрии (принцип Шубникова-Шафрановского) [3]. Существенно, что данные аспекты никак не отменяют шапошниковскую формулировку, а являются только ее практической конкретизацией для наук исторического плана, призванных восстанавливать процессы по их вещественным следам. А исходная формулировка принципа просто более обща и обнимает все науки, как исторические, так и наблюдающие процессы напрямую. Но вот именно в силу такой общности ее сложно применять в геологических исследованиях, что и доказуемо провалом в использовании принципа Кюри в последние десятилетия.

Узкий подход много сильнее ограничивает процессы, требуя, что б они были однородны и «прозрачны» друг для друга (кавычки – от самого автора этой идеи). В противном случае, по мнению Войтеховского, принцип Кюри не работает. Четкого и ясного объяснения, что понимать под однородностью и «прозрачностью» процессов (явлений), он не приводит, но по некоторым связкам в статье можно увидеть, что под однородностью процессов понимается их одновременность.

Это можно понять, например, из слов (на стр.74 в [1]): *«...стоит подчеркнуть, что геологические процессы всегда некоммутативны (неперестановочны). Именно на этом основано чтение геологической летописи. Начиная с Н. Стенона, геология во всех разделах разработала для этого немалый арсенал методов, вначале – относительной, затем – абсолютной геохронологии».* Установка здесь на обязательность определения возрастов имеет смысл, только если подразумевается выявление одновозрастности, иначе она тут вообще ни к чему. И то же самое, уже однозначно, утверждается в аннотации: *«Суперпозиции разнородных явлений следует разделять на однородные части с помощью методов относительной или абсолютной геохронологии».*

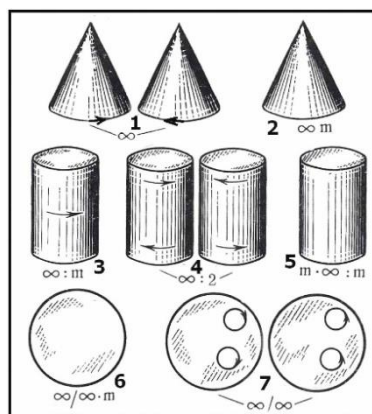
При этом еще более выпукло выступает различие двух позиций – при широком подходе не ставится никаких ограничений по времени воздействия разных процессов на одну систему. Более того, при анализе геологической истории одновременность процессов устанавливается гораздо труднее, чем последовательность во времени (если

вообще выявление одновременности оказывается возможным). Посему приложение принципа Кюри к разновременным процессам открывает ему намного более широкое поле действия, чем в случае обязательности установления их одновременности.

Примеры применения принципа Кюри в широком подходе приводились [3,4], а здесь надо разобраться в применении узкого подхода. Практически единственной сферой применения принципа Кюри в геологических науках до сих пор была зависимость морфологии растущих кристаллов от состояния питающей среды. В 60-е годы, это был, безусловно, большой прорыв И.И.Шафрановского в новую область применения этого принципа. Так вот сейчас узкий подход Ю.Л.Войтеховского есть некое теоретическое обоснование, подводимое им под те наработки Шафрановского [6].

В самом деле, при ситуации роста кристалла в питающем его потоке раствора, имеем два процесса – направленный поток и наращивание кристаллической решетки. И еще имеем результат совмещенного воздействия этих процессов – растущий кристалл, приобретающий определенную форму (морфологию). Оба обозначенных процесса протекают одновременно (1) и независимо друг от друга (2), т.е., согласно войтеховской терминологии, они *однородны (1) и «прозрачны» (2)* относительно друг друга. Оба условия узкого подхода выполняются, и из принципа Кюри морфология кристалла определяется симметриями обеих процессов - сложением их диссимметрий.

Отсюда следует, что установки Войтеховского для данной ситуации являются легитимными и, в общем, возражений не вызывают. Кроме одного – эта легитимность не может служить основанием для валового отвержения других возможных применений принципа Кюри. А это, к сожалению, и является лейтмотивом его статьи.



**Рисунок 1.** Предельные точечные группы симметрии Кюри.  
Взят из статьи А. В. Шубникова [7] и добавлена оцифровка с названиями групп: 1 - вращающийся конус; 2 - простой конус; 3 - вращающийся цилиндр; 4 - закрученный цилиндр; 5 - простой цилиндр; 6 - простой шар; 7 - шар с закрученными радиусами.

## Выводы

Первый вывод из всего вышеизложенного таков: широкий и узкий подходы не антагонистичны - каждый из них имеет право на существование при своих вводных параметрах. Более того, закономерно утверждение, что узкий подход – это частный случай широкого подхода, при условии одновременности воздействующих процессов. Но это только один аспект или срез взаимоотношения двух подходов. Второй срез более глубок - он вскрывает существенное различие этих двух подходов, разводя их по разным областям научного исследования. Суть дела в том, что узкий подход идет от

процессов с уже заранее известными характеристиками (одновременны - разновременны, «прозрачны - непрозрачны»), а широкий подход имеет обратное направление – от изучения конкретных, осязаемых проявлений (т.е. вещественных сущностей) к изначально еще неизвестным ему процессам. Он как раз и призван выявлять суть давно прошедших процессов исходя из определенных (и определяемых) качеств конкретных вещественных проявлений - минералов, горных пород, структур и пр. Тех самых качеств, которые фиксируются при прямом их изучении. Именно таковы задача и направление геологических исследований. Посему бессмысленно опутывать широкий подход установками узкого подхода - требовать заранее отделить процессы, как будто бы приемлемые для принципа Кюри, от каких-то неприемлемых.

Итак, эти подходы к принципу Кюри по-разному соотносятся друг с другом в двух разных срезах – от включения одного в другой, до заметного противостояния друг другу (при том - не антагонистичного). Последний оставшийся вопрос - о соотношении уже этих срезов. Первый из них привязан к наукам, изучающим процессы напрямую, наблюдающим их в конкретной связи с произведенными ими продуктами. Например, прямое исследование процессов кристаллизации в лаборатории. А на других уровнях вещественной иерархии в этом же срезе располагаются: современный вулканизм, седиментология и еще масса внегеологических наук (физика, химия и проч.). А второй срез – это сфера геологических исследований (включая и полевую минералогию), или в общем плане – все исторические науки. Во всех них процессы ненаблюдаемы, а в той или иной степени восстанавливаемы по оставленным ими вещественным следам.

Конечно, наблюдения процессов и их результатов в первом срезе могут служить ключами при геологических исследованиях (второй срез) – для того и сформулирован принцип актуализма. Это очень хорошо просматривается как раз в исследованиях И.И. Шафрановского. Однако надо понимать, что наличие такой связи между срезами не отменяет коренного отличия их друг от друга, да и «ключики» от первого среза совсем не всегда подходят к «замкам» второго - тут нет однозначного соответствия. Не говоря уж о том, что для глубинных процессов и вообще нет аналогов в первом срезе.

### **Библиография**

1. Войтеховский Ю.Л. Еще раз о принципе диссимметрии П. Кюри. // Зап. РМО, 2019, №3, с.118-129.
2. Кюри П. О симметрии в физических явлениях: симметрия электрического и магнитного полей // Избр. труды. М.-Л., Наука, 1966, с. 95–113.
3. Левин Б.С. Приложения принципа Кюри в геологии. //Зап. РМО, 2018, №6, с.136-144
4. Левин Б. Принцип Кюри – история становления и перспективы в геологии. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН - 18. Апатиты, 2021, с. 258–264. <http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/Fersman/FNS.2021.18.048.pdf>
5. Шафрановский И.И. Значение принципа П.Кюри в области геолого-минералогических наук. / Материалы к совещанию "Общие закономерности геологических явлений" (10-15 января 1966 г.). Вып.1. Л., ВСЕГЕИ, 1965, с. 45
6. Шафрановский И.И. Лекции по кристалломорфологии. М. Высшая школа, 1968, с.174.
7. Шубников А.В. О работах Пьера Кюри в области симметрии. // Успехи физ. наук. 1956, № 59, с. 541—602.

*Турмалин из миароловых пегматитов Пакистана. Левская А.М. \*(Институт Наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, st076488@student.spbu.ru), Пономарева Н.И. (Институт Наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, n\_ponomareva@mail.ru), Бочаров В.Н. (РЦ Геомодель, Научный Парк СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия, regbvn@gmail.com)*

## Аннотация

Настоящее сообщение посвящено результатам изучения турмалина из пегматитовой жилы Стак Нала района Гилгит - Скарду в Пакистане.

Миароловые редкометалльные пегматиты находятся в северо-восточной части массива Нанга Парбат - Харамош на севере Пакистана. Геологическая характеристика месторождения и минералогическое описание пегматитовой жилы Стак Нала даны в статье Б. Лоурса и соавторов [3].

В процессе исследования турмалина нами был изучен химический состав тёмноокрашенного, тёмно- и светло-зелёного турмалинов, определён их минеральный вид, а также установлены и изучены флюидные включения.

## Ключевые слова

Миароловые пегматиты, турмалин, шерл, эльбаит, флюидные включения.

## Методы исследования.

Изучение различных морфологических разновидностей турмалина проводилось с помощью поляризационного микроскопа Leica DM4500 P, снабженного цифровой камерой Leica DFC 495. Химический их состав изучался с помощью электронного сканирующего микроскопа SEM-501 Hitachi S-3400N, оснащенного энергодисперсионным спектрометром Oxford X-max 20 (Ресурсный Центр СПбГУ «Геомодель», аналитик Н.С. Власенко. Условия съёмки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 1.5 нА).

Состав минеральных и флюидных включений в турмалине изучался В.Н. Бочаровым на рамановском спектрометре Horiba LabRam HR800 (Ресурсный Центр СПбГУ «Геомодель»). Регистрация спектров комбинационного рассеяния выполнена в спектральном диапазоне 4000–100 см<sup>-1</sup>. Источником возбуждения служил аргоновый лазер с длиной волны 514.5 нм и 488 нм. Мощность лазера – 50 мВт, время экспозиции от 2 до 10 сек, число повторений – от 2 до 15, увеличение микроскопа – 50<sup>x</sup>. Калибровка прибора осуществлялась по Si-эталоны (520.7 см<sup>-1</sup>). Использовалась дифракционная решетка 1800 ш/мм, диаметр конфокального отверстия 300 мкм.

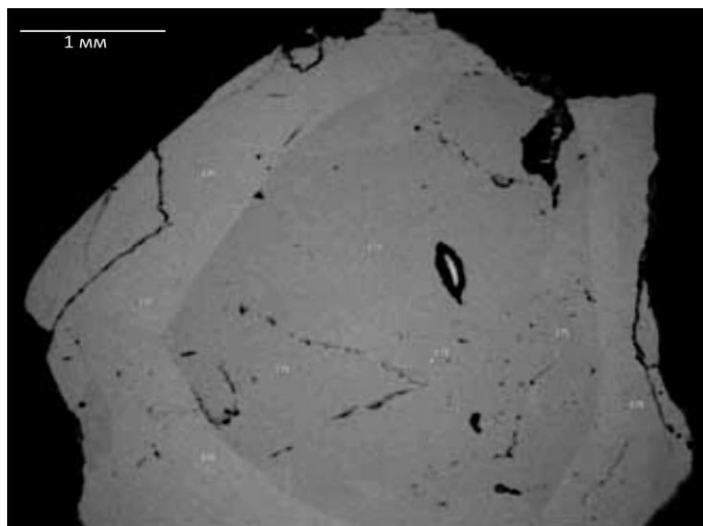
Детальное исследование турмалина и микроанализ минеральных включений выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM 3000 с приставкой для энергодисперсионного микроанализа OXFORD в режиме низкого вакуума, что позволяло использовать непроводящие образцы без предварительного напыления (Ресурсный Центр СПбГУ «Микроскопии и микроанализа»).

Определение температур образования флюидных включений в турмалине проводилось на кафедре минералогии в термобарогеохимической лаборатории.

### Результаты исследования.

Турмалин из миароловых редкометальных пегматитов Пакистана в имеющихся у авторов образцах представлен двумя морфологическими разновидностями. Турмалин I представлен тёмноокрашенными до чёрного кристаллами, ассоциирующими с кварцем и полевыми шпатами в приконтактной зоне жилы. Турмалин II в виде зелёных до светло-зелёных кристаллов приурочен к занорышам в центральной части пегматитовой жилы.

В кристаллах тёмноокрашенного турмалина I невооружённым глазом не видны различия в окраске центральных и периферических их зон, однако в отражённых электронах устанавливается чёткая зональность (рис.1). Центральные зоны кристаллов в отражённых электронах более тёмные, периферические участки значительно светлее, что соответствует различию в их составе. В центре кристаллов установлено (в мас.%):  $0,15 \pm 0,07$  MnO,  $0,09 \pm 0,03$  CaO,  $0,15 \pm 0,03$  TiO<sub>2</sub>;  $1,67 \pm 0,08$  Na<sub>2</sub>O. Во внешних зонах содержания этих компонентов заметно выше (мас.%):  $0,23 \pm 0,05$  MnO;  $0,34 \pm 0,17$  CaO;  $0,44 \pm 0,04$  TiO<sub>2</sub>;  $2,0 \pm 0,1$  Na<sub>2</sub>O.



*Рисунок 1. Зональный кристалл тёмноокрашенного турмалина. Изображение получено в отражённых электронах.*

В зелёном турмалине установлено (в мас %):  $1,22 \pm 0,15$  FeO;  $3,37 \pm 0,34$ ; MnO;  $1,07 \pm 0,29$  CaO;  $1,88 \pm 0,08$  Na<sub>2</sub>O. Светло-зелёный турмалин содержит заметно в меньших количествах перечисленные компоненты (в мас %):  $0,36 \pm 0,33$  FeO;  $2,14$  MnO;  $1,42 \pm 0,26$  Na<sub>2</sub>O и, в то же время, несколько больше CaO –  $2,14 \pm 0,62$ .

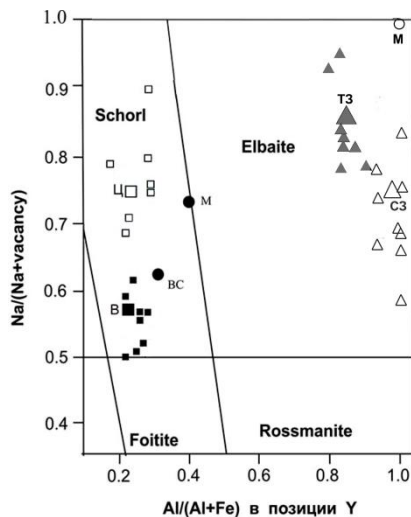
Для определения минерального вида турмалина I и турмалина II нами была использована диаграмма шерл–фоитит–россманин–эльбаит, предложенная Дж.Б. Сэлвеем и соавторами [4] (рис. 2).

Тёмноокрашенный турмалин относится к шерлу, при этом поля точек, соответствующих составам отдельных зон его кристаллов: центральной (квадраты) и внешней (залитые квадраты) – чётко разделены по величине отношения



Na/(Na+vacancy). Центральные зоны кристаллов по этому показателю близки к шерлу из Малханского месторождения [2], а внешние зоны – к шерлу из редкометальных пегматитов Восточной Сибири [1].

Турмалины II – зелёный и светло-зелёный – по составу являются эльбаитами (рис. 2). Точки, отвечающие составу зелёного и светло-зелёного турмалинов, образуют узкую область, вытянутую параллельно вертикальной оси, в интервале 0.9–1.00 по оси Al/(Al + Fe).

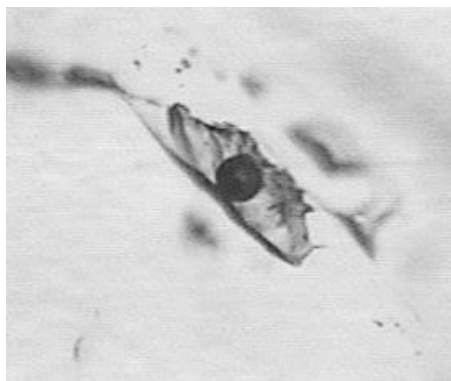


**Рисунок 2.** Распределение точек, отвечающих составам турмалинов из миароловых редкометальных пегматитов на диаграмме Дж.Б. Сэлвея и соавторов [4].

Обозначения: средние значения для центральной (Ц) и внешней (В) зоны кристалла. СЗ и ТЗ – средние значения для светло-зелёного и тёмно-зелёного эльбаита соответственно из жилы Стак Нала. Кругами обозначены турмалины из редкометальных пегматитов; М – миароловые пегматиты Малханского поля, Ц. Забайкалье [2]; ВС – сподуменовые пегматиты Восточной Сибири [1].

Микроскопическое исследование эльбаита позволило выявить большое количество газовой-жидких включений (рис.3), размер которых составляет 0,05- 0,08 мм. Газовая фаза представлена CO<sub>2</sub> [5].

Температуры гомогенизации включений составляют в среднем 176±14°C.



**Рисунок 3.** Газово-жидкое включение в эльбаите. Размер включения 0,08 мм.

## **Выводы**

Изученные турмалины из миароловых пегматитов Пакистана по составу соответствуют: тёмноокрашенный турмалин – шерлу, тёмно- и светло-зелёный турмалин – эльбаиту. Они сопоставимы с турмалинами редкометальных пегматитов Малханского пегматитового поля Центрального Забайкалья и Восточной Сибири.

Температуры образования эльбаита  $176\pm 14^\circ\text{C}$  также близки к температурам формирования минералов в миароловых пегматитах.

## **Благодарности**

Авторы благодарны П.Б. Соколову за предоставленный каменный материал, Н.С. Власенко за выполненные аналитические работы, а также Н.Р. Пинчук, С.Ю. Янсон, О.В. Кашпар, М.В. Никитиной за консультации и помощь при выполнении исследований турмалина.

## **Библиография**

1. Гранитные пегматиты. Т. 2. Редкометальные пегматиты/Под редакцией Б.М. Шмакина. Новосибирск: Наука, 1997. 282 с
2. Загорский В.Е., Перетяжко И.С. Пегматиты с самоцветами Центрального Забайкалья. Новосибирск: Наука. 1992. 224 с.
3. Laurs V.M., Dilles J.H., Wairrach Y., Kausar A. B., Snee L.W. Geological setting and petrogenesis of symmetrically zoned, miarolitic granitic pegmatites at Stak Nala, Nanga Parbat-Haramosh massif, Northern Pakistan. *The Canadian Mineralogist* 1998. Vol. 36, pp. 1-47
4. Selway J. B., Novak M, Cerny P, Hawthorne F.C. Compositional evolution of tourmaline in lepidolite-subtype pegmatites/ *European Journal of Mineralogy*. 1999. V. 11. N.3. Pp. 569-584.
5. Frezzotti, M. L., Tecce F., Casagli A., 2012. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. In *Journal of Geochemical Exploration* 112, 1–20.

*Вторая находка тунгстенита в магнезиальных скарнах месторождения Кухилал, Юго-Западный Памир. Литвиненко А.К.\* (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [akl1954@yandex.ru](mailto:akl1954@yandex.ru)), Якушина О.А. (ФГБУ «ВИМС», [yak\\_oa@mail.ru](mailto:yak_oa@mail.ru)), Лузин-Левинант М.П. (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [taximluzin@gmail.com](mailto:taximluzin@gmail.com))*

## **Аннотация**

В зелёном турмалине, обнаруженном в магнезиальных скарнах месторождения ювелирной шпинели и клиногумита Кухилал нами вторично установлен тунгстенит ( $WS_2$ ). Первая находка тунгстенита-2Н в форстерите данного месторождения установлена [5].

Скарны рассматриваемого месторождения сформировались в условиях гранулитовой фации метаморфизма в позднем архее [4]. Тунгстенит в составе скарнов имеет сингенетичный с ними характер кристаллизации. Это позволило включить тунгстенит в состав ранней минеральной ассоциации магнезиальных скарноидов наряду с благородной шпинелью, энстатитом и форстеритом

## **Ключевые слова**

Тунгстенит, Юго-Западный Памир, Кухилал, магнезиальные скарны, турмалин, благородная шпинель, форстерит, гранулитовая фация метаморфизма, позднеархейская эпоха

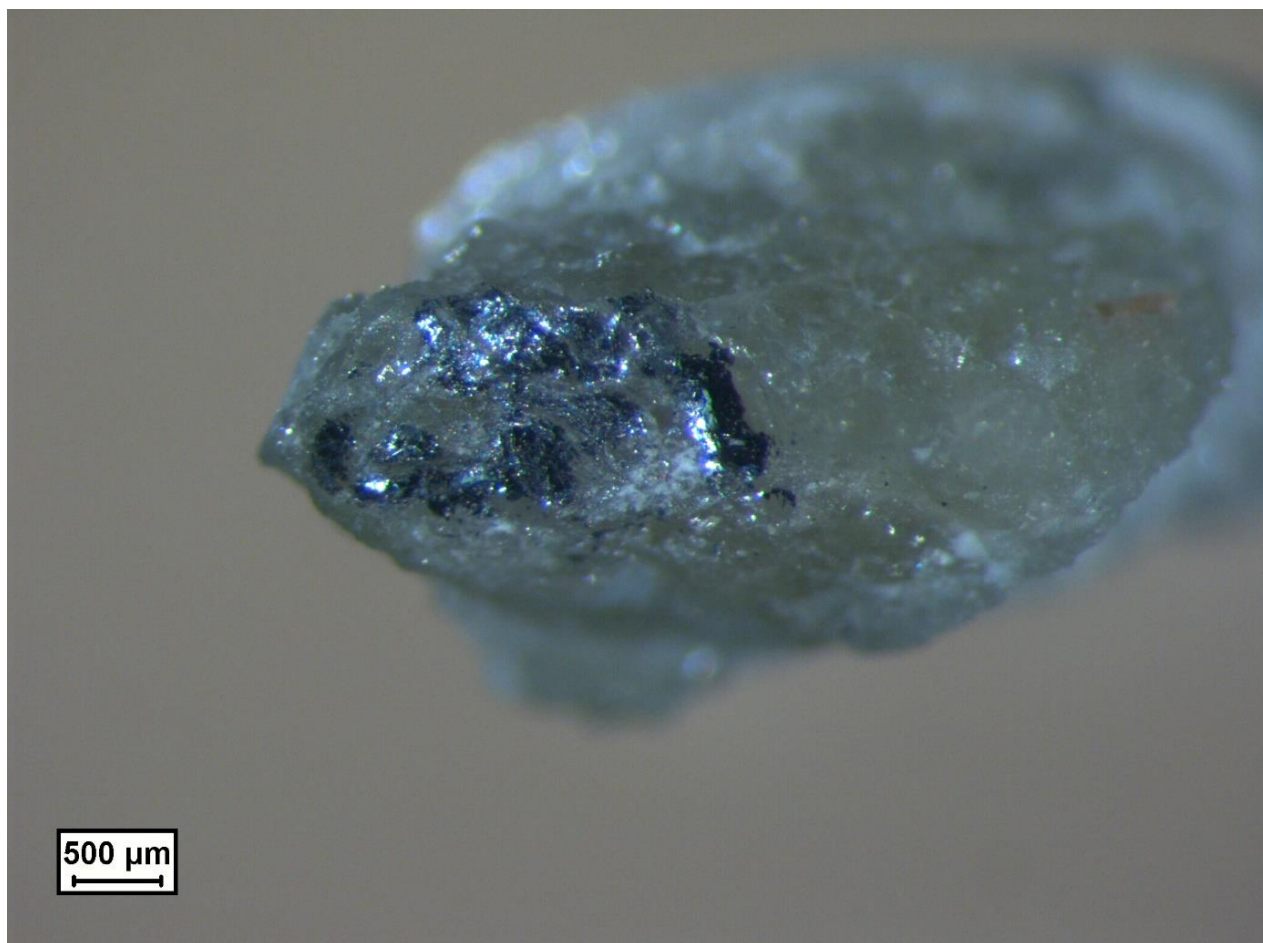
## **Теория**

Месторождение Кухилал расположено на правом борту р. Пяндж, в междуречье его правых притоков – рек Дарай-Сист и Дарай-Кухилал, в 47 км к югу от г. Хорог, на высоте 2500-2880 м. Площадь месторождения составляет 2,5 км<sup>2</sup>. В его строении принимают участие гнейсы и магнезитовые мраморы горанской серии, AR<sub>2</sub> [1]. Серия полициклически метаморфизована в условиях гранулитовой фации метаморфизма [2]. Магнезитовые мраморы вмещают многочисленные залежи магнезиальных скарнов с благородной шпинелью и клиногумитом.

Наиболее крупная из них называется Главной скарновой зоной, которая приурочена к висячему боку пласта магнезитов. Мощность Главной зоны доходит до 85 м. По простиранию она прослеживается более чем на 1000 м [4]. Висячий бок зоны срезан поверхностью надвига. Зона сложена энстатитовыми скарнами, в массе которых заключены линзовидные тела форстеритовых, жедритовых и жедрит-кианитовых скарнов. Кроме того, здесь отмечаются согласные и субсогласные плагиограниты, аплиты и пегматиты, а также останцы магнезитовых мраморов с оторочками форстеритовых скарнов. Контакт скарнов с подстилающими магнезитовыми мраморами неровный, извилистый. Магнезиты вблизи контакта обрамляются форстеритовыми скарнами, образующими протяженные лентовидные тела мощностью от 1-3 до 15 м. В них отмечается тальк, флогопит, серпентин, графит, пирит и пирротин. Шпинель в рассеянном виде встречается во многих породах месторождения: мраморах, кальцифирах, энстатитовых скарнах, а ее железистые разности, в виде очень мелких выделений в ассоциации с гиперстеном – только в апогнейсовых

эндоскарновых зонах [3]. Однако только в залежах форстеритовых скарнов шпинель приобретает значение породообразующего минерала и ее количество может достигать 40% объёма породы [3]. Форстеритовый скарн представляет собой белую средне-крупнозернистую породу, в которой рассеяны порфиробласты – кристаллы и сростки кристаллов шпинели и клиногумита в ассоциации с флогопитом, тальком, графитом, манассеитом, магнезиальным хлоритом, нигрином, пиритом и пирротинном. Отдельные мономинеральные скопления шпинели достигают 60x50x15 см, клиногумита — 20x20x10 см, пирита – 15x15x15 см. В парагенезисе с форстеритом и шпинелью находятся пирротин и пирит, образующие скопления до десятков сантиметров.

Агрегаты и кристаллы яблочно-зелёного турмалина (более 10 см в поперечнике) в магнезиальных скарнах месторождения Кухилал извлечены из штольни № 6, участка 5 в 2017 году горняками экспедиции «Чамаст». Они были определены как увит. Внутри кристаллов турмалина были обнаружены пластинчатые, чешуйчатые кристаллы до 8 мм в поперечнике и 3 мм толщиной, которые были диагностированы нами как тунгстенит. Они имели яркого чёрный цвет со свинцовым оттенком и очень сильный металлический блеском. Пластинчатые кристаллы слабо изогнуты, и в них просматриваются гексагональные формы индивидов (Рисунок 1).



*Рисунок 1. Включение тунгстенита-2H внутри расколотого кристалла турмалина*

Известно, что тунгстенит (tungstenite), входящий в группу молибденита, изоструктурен с последним и также как и молибденит, имеет два политипа – может кристаллизоваться в двух модификациях гексагональной 2H и тригональной 3R [7]. Детальное исследование кристаллических структур его политипов было выполнено в работе [6].

Минерал диагностирован рентгенографическим фазовым анализом на рентгеновском дифрактометре X'Pert PRO MPD, PANalytical, Нидерланды (свидетельство о поверке № С-ТТ/21-12-2022/210682530 до 20.12.2023 г.) Условия съемки дифрактограммы: монохроматизированное  $\text{CuK}\alpha$ -излучение (графитовый монохроматор на дифрагированном излучении), режим работы рентгеновской трубки:  $U=50\text{kV}$ ,  $I=40\text{mA}$ ; режим записи непрерывный, шаг  $0,02^\circ$  по  $2\theta$ , время набора импульсов 1,0 с; угловой интервал съемки  $3,5-75,0^\circ$  по  $2\theta$ ; внутренний стандарт кремний.

Под бинокулярным стереоскопическим микроскопом была отобрана мономинеральная фракция представленных на анализ выделений кристаллов, которые затем были измельчены в агатовой ступке. При размещении в кювете применялся методический прием нивелирования эффекта преимущественной ориентации пластинчатых кристаллов.

Экспериментальные данные – индексы отражающих плоскостей  $hkl$ , межплоскостные расстояния  $d$  (Å) и относительные интенсивности дифракционных отражений  $I$  (%) в сравнении с установленными в работе [5] и в международной базе данных ICDD приведены в таблице 1. Рассчитанные значения параметров элементарной ячейки составили:  $a = 3.162(2)$ ,  $c = 12.362(2)$  Å. Угловые положения дифракционных максимумов и значения параметров элементарной ячейки соответствуют гексагональному политипу тунгстенита-2H (пространственная группа  $P63/mmc$ ).

Полученные значения близки к таковым из работы [5], как и значения параметров элементарной ячейки –  $a = 3.161(1)$  и  $c = 12.343(3)$  Å.

Таблица 1. Дифрактометрические данные исследованного тунгстенита

Образец	Исследуемый тунгстенит-2H		Тунгстенит-2H, Кухи-Лал [5]		Тунгстенит-2H, ICDD01-087-2417		Тунгстенит-2H, mindat.org		
	$hkl$	$d$ (Å)	$I$ (%)	$d$ (Å)	$I$ (%)	$d$ (Å)	$I$ (%)	$d$ (Å)	$I$ (%)
	002	6,180	100	6,170	100	6,180	100	6,180	100
	004	3,089	16,1	3,087	7	3,090	6,1	3,089	16
	100	2,742	1	2,738	1	2,731	18,3	2,731	25
	101	2,679	1	2,672	1	2,667	26,9	2,667	25
	102	2,508	1	2,498	<1	2,498	12,4		
	103	2,279	1,5	2,279	3	2,276	54,4	2,2772	35
	006	2,057	18	2,057	6	2,060	6,6		
	104					2,046	3,0		
	105	1,883	1,5	1,833	2	1,833	19,3	1,8335	18
	106			1,645	<1	1,644	4,2		
	110	1,575	<1	1,581	<1	1,577	10,1	1,5783	16
	008	1,546	2,5	1,543	3	1,545	2,9		

## **Выводы**

1. Наша находка тунгстенита-2Н обнаружена в качестве сингенетического включения в зелёном турмалине.
2. Самой ранней минеральной ассоциацией месторождения Кухилал являются шпинель, форстерит, энстатит, шпинель и турмалин. Возраст её образования – поздний архей.
3. Образование тунгстенита может быть синхронным с временем становления шпинели и форстерита. Таким образом мы можем датировать время возникновения тунгстенита не моложе позднего архея.

## **Библиография**

1. Киселёв В.И., Буданов В.И. Месторождения докембрийской магнезиально-скарновой формации Юго-Западного Памира. Душанбе: Дониш, 1986. 223 с.
2. Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1991. 336 с.
3. Литвиненко А.К. Генетическая позиция благородной шпинели в магнезиальных скарнах Юго-Западного Памира // ЗВМО. 2003. Ч. СXXXII. №1. С. 76-81.
4. Литвиненко А.К. Минерагения драгоценных камней Нуристан-Южнопамирской провинции. Germany: Palmarium academic publishing. 2012. 325 с.
5. Паутов Л.А., Мираков М.А., Шодибеков М.А., Файзиев А.Р., Хворов П.В., Махмадшариф С. Находка тунгстенита-2Н на магнезиально-скарновом месторождении благородной шпинели Кухи-Лал (Юго-Западный Памир, Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2018. Т.52. Вып.4. С.91-101.
6. Schutte, W.J., de Boer, J.L., Jellinek, F. (1987) Crystal structures of tungsten disulfide and diselenide. Journal of Solid State Chemistry: 70: 207-209.
7. Tungstenite. <https://www.mindat.org/min-4051.html> (дата обращения 08.02.2023)

***Петрографическая характеристика рудовмещающих пород участка Майский (Узбекистан). Печерский Р.Д. \*(ГУ «ИМП», Ташкент, russell.4ay@gmail.com), Сайитов С.С. (ГУ «ИМП», Ташкент, [sardorsayitov@gmail.com](mailto:sardorsayitov@gmail.com))***

**Аннотация**

В настоящем материале приводится сокращенная петрографическая характеристика рудовмещающих пород участка Майский (Узбекистан). Для изучения вещественного состава были отобраны образцы разновидностей рудовмещающих пород, распространенных на участке. Были изготовлены прозрачные шлифы из отобранных образцов и изучены под микроскопом. Для определения количественного минерального состава рудовмещающих пород, результаты силикатного анализа были пересчитаны на минеральные составляющие пород.

**Ключевые слова**

Северо-восточный Тамдытау, участок Майский, рудовмещающие породы, минеральный состав, Узбекистан.

**Источники финансирования**

Исследования были выполнены в рамках хоз.договорной темы № 1125-15 «Минералого-геохимические особенности метасоматитов и руд участков Майский, Приконтактный и Северной минерализованной зоны».

**Теория**

Золоторудный участок Майский расположен в северо-восточной части гор Тамдытау. Геологическое строение Северо-восточного Тамдытау достаточно сложное, так как в районе широко развиты вулканогенные образования, проявлен интенсивнейший тектогенез, региональный и локальный метаморфизм пород [3].

Рудопроявление Майский сложено вулканогенно-осадочными образованиями (сланцы кварц-слюдистые, туфосланцы, переслаивание сланцев, песчаников и алевролитов) косбулакской свиты (покровная фация) верхнего силура.

Косбулакская свита (покровные фации) - лавы и туфы базальтов, андезибазальтов и андезитов, вулканомиктовые и полевошпат-слюдисто-кварцевые карбонат и углеродсодержащие песчаники, алевролиты, сланцы, с редкими невыдержанными прослоями гравелитов, конгломератов, кремнистых пород. Кроме того, отмечаются секущие фации эруптивных брекчий андезибазальтов и туффизитовые брекчии базальтов. Мелко- и среднепорфировые обильновкрапленниковые базальты, андезибазальты и андезиты [4].

На участке Майский были детально изучены породы, вскрытые канавами и скважинами. В результате исследования выделены различные типы пород, подвергшиеся метасоматическим преобразованиям и несущими рудную минерализацию:

*Метапесчаники и метаалевропесчаники* углисто серицит – полевошпат-кварцевые с обломочной структурой и с включениями, скоплениями Fe-Mg-Ca карбоната равномерно распределенного по площади пород (рис. 1). Структура

(лепидо)гранобластовая, алевропсаммитовая. Текстура сланцеватая, полосчатая за счет неоднородного состава прослоев (от существенно кварцевых до слюдистых). Обломочные зерна представлены кварцем, плагиоклазом размером до 0,07-0,25мм. Цемент слюдисто-кварцевый с примесью гидроксидов железа, карбоната.

Полевые шпаты часто серицитизированы, каолинизированы [1]. Зерна кварца корродированы. Форма угловатая, реже овальная [2]. Включения карбоната хорошо выделены на общем фоне - бурые ромбические, прямоугольные, ксеноморфные. По спайности - гидроксиды железа, что и придает включениям темную коричнево-рыжую окраску. Размер включений до 0,1-0,25мм.

Наблюдаются секущие и согласные со сланцеватостью прожилки кварца с примесью кальцита. По трещинам сланцеватости отмечено углистое вещество, скопления серицита, частицы которого сегрегируются вдоль трещин. Породы часто интенсивно лимонитизированы, подвержены брекчированию.

Отмечаются включения пирита, единичные зерна апатита, магнетита, берилла, целестина, эпидота, циркона, пироксена, амфибола, шпинели, медной зелени (очень редко).

Минеральный состав, пересчитанный с химического анализа, следующий (%): кварц 41,5-50; плагиоклаз 1,4-14,2; серицит 11-21,0; каолинит сл.-6,7; карбонат Mg-Ca с примесью железа-19-31,5; гидроксиды Fe 2,2-7,5; рутил 0,2-0,6; примесь углистого вещества.

*Алевросланцы, филлитовидные сланцы, углисто-слюдистые, карбонатсодержащие (рис. 2).* Обширная группа пород встреченная в пределах участка. Структура пород от гранолепидобластовой до лепидобластовой, текстура сланцеватая, полосчатая, микроскладчатая; Наличие включений железосодержащего карбоната в шлифах создает видимость «порфировой» структуры. Полосчатая текстура выражена неравномерным составом породы: существенно кварцевые микропрослои чередуются с углисто-слюдистыми с хорошо проявленной сланцеватостью, плейчатостью. Размер зерен, слагающих основную массу 0,03-0,04мм.

Полевой шпат серицитизирован, глинизирован; по трещинам сланцеватости - скопление углистого вещества. Размер включений карбоната CO до 0,п мм. Из рудных минералов отмечаются гидроксиды железа в виде вкрапленности, прожилков по трещинам. Ниже зоны окисления встречаются вкрапления пирита, арсенопирита. В концентратах гравиообогащения встречается свободное самородное золото.

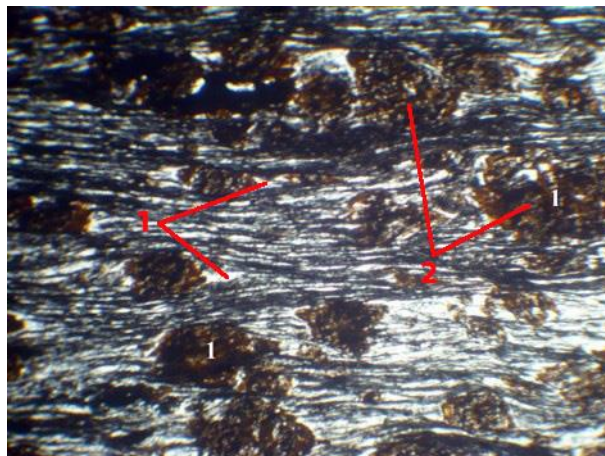
Минеральный состав, пересчитанный с химического анализа, следующий (%): кварц 40,8-51,6; плагиоклаз 1,4-1,5; серицит 19,5-22; каолинит сл.-4,7; карбонат (Fe-Mg-Ca)-17,1-28,9; гидроксид железа 3,9-5,0; рутил 0,4-0,5.





**Рисунок 1.** Метапесчаник полевошпатовый, кварцевый, карбонатизированный.

Увел. 60<sup>x</sup>; ник. X. 1-кварц; 2-карбонат.



**Рисунок 2.** Углисто-серицит-кварцевый филлит с порфиоровыми включениями железистого карбоната. Увел. 60<sup>x</sup>; ник. //.

1-кварц; 2-железистый карбонат.

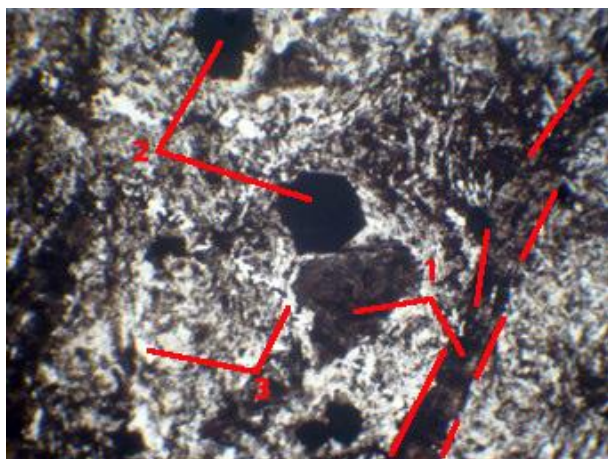
**Метаэффузивы.** Порода массивная с гранобластовой неравномернозернистой структурой. Основная масса состоит из мелкозернистого агрегата полевого шпата, кварца, серицита, глинистых частиц; размер зерен 0,04-0,1 мм. В мелкозернистом агрегате присутствуют включения (порфиоровидные) плагиоклаза, размером до 0,6 мм. Зерна угловатые, иногда прямоугольные. Отмечаются двойники. Кроме того, породы содержат включения бурого железосодержащего карбоната, прожилки бесцветного кальцита. Включения полевого шпата серицитизированы, каолинизированы. В участках брекчирования обломки породы сцементированы железистым карбонатом и кварцем; редко встречается слабо-зеленоватый хлорит в ассоциации с серицитом. Отдельные участки иногда полностью замещены гидроксидами железа. Наблюдается вкрапленность гетита (рис. 3).

Минеральный состав, пересчитанный с химического анализа, следующий (%): кварц 27,8-39,2; полевой шпат 1-3; серицит 13,5-35; биотит-единичные зерна; каолинит 0,1-6,8; карбонат 28-46,3 гидроксида железа 1,3-5,4; рутил 0,3-0,7.

**Дайки** широко распространенные образования участка. Структура, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, диабазовая, лампрофировая. Текстура массивная. Порода сложена ксеноморфными, угловатыми зернами плагиоклаза, включениями длиннопризматических кристаллов амфибола (рис. 4). В длину кристаллы до 1 мм; чаще всего амфибол лимонитизирован. Оптические константы не определились из-за сильных воздействующих метасоматических процессов. В полевых шпатах отмечаются полисинтетические двойники, также наблюдается частичная пелитизация, серицитизация, сосюритизация. Кристаллы полевых шпатов участками подвержены дроблению, а обломки их цементируются кварцем. В породе встречаются скопления чешуек зеленоватого хлорита, каолинита. Карбонат отмечается и виде бесцветных прожилков, часто встречаются включения железистого карбоната. В ожелезненных разностях отмечено несколько повышенное содержание SiO<sub>2</sub> (49%) и Na<sub>2</sub>O (1,68%).

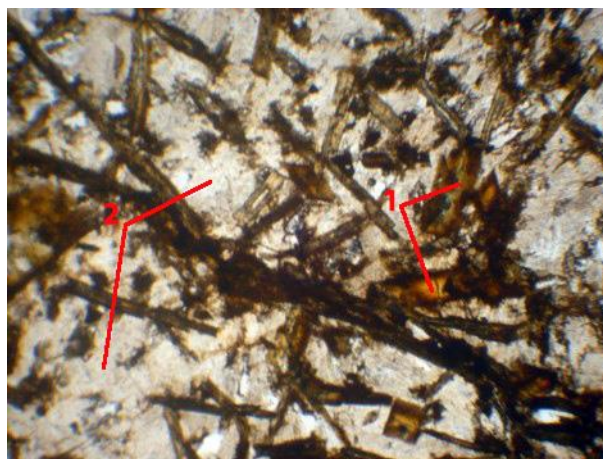
Минеральный состав, пересчитанный с химического анализа, следующий (%): кварц 7-9,7; полевой шпат 1,9-11; серицит 14,3-16; амфибол 12-20; каолинит до 2,4-8; карбонат (железистый) 43,2-54; гидроксиды железа 2,1-5,5; рутил 0,5-0,6.

Жильные образования представлены кварцами с включением полевого шпата, карбоната, гидроксидов железа, реже - сульфидов. Широко представлено микропрожилковое окварцевание в метатерригенных породах. Прожилки имеют согласный и секущий характер. В метаэффузивах прожилки разноориентированные. Структура жильных образований от роговиковой до крупнозернистой. В такой породе может наблюдаться - облачное погасание, грануляция, мозаичное расположение. Полевые шпаты частично пелитизированы, серицитизированы. Гидроксиды железа встречаются в виде вкрапленности, гнездовых скоплений, прожилков и др.



**Рисунок 3.** Вкрапленность гетита в эффузиве. Увел. 60<sup>х</sup>; ник. ||.

1-карбонат; 2-гетит; 3-кварц.



**Рисунок 4.** Дайка полевошпат – амфиболовая. Увел. 60<sup>х</sup>; ник. ||

1-амфибол; 2-полевой шпат.

## Выводы

В ходе выполнения минералого-петрографических работ были установлены петрографические свойства горных пород (структура, текстура, минеральный состав, метасоматические изменения и т.д.). Одной из особенностей участка является повышенное содержание Fe-Mg-Ca карбоната во всех типах пород. Форма проявления гнездовые скопления, вкрапления, включения, прожилки. Метасоматические процессы проявлены в виде серицитизации, карбонатизации, окварцевания, каолинизации и ожелезнения. По составу дайки преимущественно имеют минералы плагиоклаз, роговой обманки. Можно отнести к лампрофирам (спессартит).

## Библиография:

1. Главнейшие породообразующие минералы. В.Н. Лодочников. Издательство «Недра». Москва 1974.
2. Основы практической петрографии. Р.Н. Кочурова. Издательство ленинградского университета. Ленинград 1977.
3. Рудные месторождения Узбекистана. Институт минеральных ресурсов (ИМР), 2001.
4. Стратиграфический словарь Узбекистана / под ред. З.М. Абдуазимовой. – Т.: Гидроингео, 2001, - 580 с.

**Токкоит в Sr-Ba-Ca-карбонатитах Мурунского массива (СЗ Алдан, Россия).  
Радомская Т.А. \* (ИГХ СО РАН, [taniaojigova@mail.ru](mailto:taniaojigova@mail.ru)), Канева Е.В. (ИГХ СО РАН,  
[kev604@mail.ru](mailto:kev604@mail.ru)), Шендрик Р.Ю. (ИГХ СО РАН, [r.shendrik@gmail.com](mailto:r.shendrik@gmail.com)), Белозерова  
О.Ю. (ИГХ СО РАН, [obel@igc.irk.ru](mailto:obel@igc.irk.ru)), Митичкин М.А. (ИГХ СО РАН)**

## Аннотация

Исследован необычный парагенезис редкого минерала токкоита в Sr-Ba-Ca-карбонатитах из участка Магистральный месторождения Сиреневый камень (Южная часть Мурунского щелочного массива, Северо-Западный Алдан). Формула токкоита, рассчитанная на 13 катионов, по результатам энергодисперсионного микроанализа:  $K_{2,01}(Ca_{3,34}Mg_{0,19}Fe_{0,14}Na_{0,13}Mn_{0,12}Ti_{0,11})_{\Sigma 4,03}[Si_{6,95}O_{17,99}(OH)](OH)_{0,10}F_{0,90}\Sigma 1,00$ .

## Ключевые слова

Токкоит, тинаксит, чароит, Sr-Ba-Ca-карбонатиты, Мурунский массив

## Источники финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183, <https://rscf.ru/project/22-27-00183/>.

## Теория

Токкоит – редкий K-Ca силикат, содержащий гидроксильную группу и фтор, с лентами кремнекислородных тетраэдров в структуре. Он впервые был обнаружен в 1986 году в чароититах участка Магистральный месторождения Сиреневый камень (Южная часть Мурунского щелочного массива, Северо-Западный Алдан) [2]. Минерал получил своё название от реки Токко – по месту находки – на Чара-Токкинском водоразделе. В указанной работе отмечается парагенезис токкоита с чароитом, тинакситом и мизеритом. Из других ассоциирующих с токкоитом минералов, в чароититах обнаружены эгирин и калиевый полевой шпат. По данным химического состава, полученного рентгеноспектральным методом, рассчитана эмпирическая формула токкоита  $(K_{2,09}Na_{0,13})_{\Sigma 2,22}(Ca_{3,32}Mg_{0,19}Mn_{0,06}Fe_{0,15}Ti_{0,11})_{\Sigma 3,83}Si_{6,95}O_{17}(O_{1,39}OH_{2,05}F_{0,61})_{\Sigma 4,05}$  [2]. Триклинная симметрия минерала и параметры элементарной ячейки определены методом порошковой рентгеновской дифракции, а наличие гидроксильной группы подтверждено ИК-спектроскопией [2]. На основании этого химического состава структура токкоита была расшифрована И.В. Рождественской с соавторами в 1989 году методом монокристаллической рентгеновской дифракции [8], а структурная формула минерала приобрела следующий вид –  $K_{1,85}(Ca_{0,87}Ti_{0,13})(Ca_{0,85}Na_{0,15})(Ca_{1,71}Fe_{0,15}Mn_{0,08}Mg_{0,06})Si_7O_{18}(OH)(F_{0,61}OH_{0,39})$ . По данным И.В. Рождественской с соавторами токкоит изоструктурен тинакситу [8]. В 2017 году была уточнена структура токкоита, а также с помощью мёссбауэровской спектроскопии исследована валентность железа и его положение в октаэдрических позициях [7]. Химический и редкоэлементный состав токкоита из чароитовых пород Мурунского массива, выполненный методами мокрой химии и ICP-MS соответственно, рассматривается в работе Э.Ю. Докучиц с соавторами [3]. Природа окраски токкоита из Мурунского массива была выявлена Е.В. Каневой и Р.Ю. Шендриком в 2022 году и

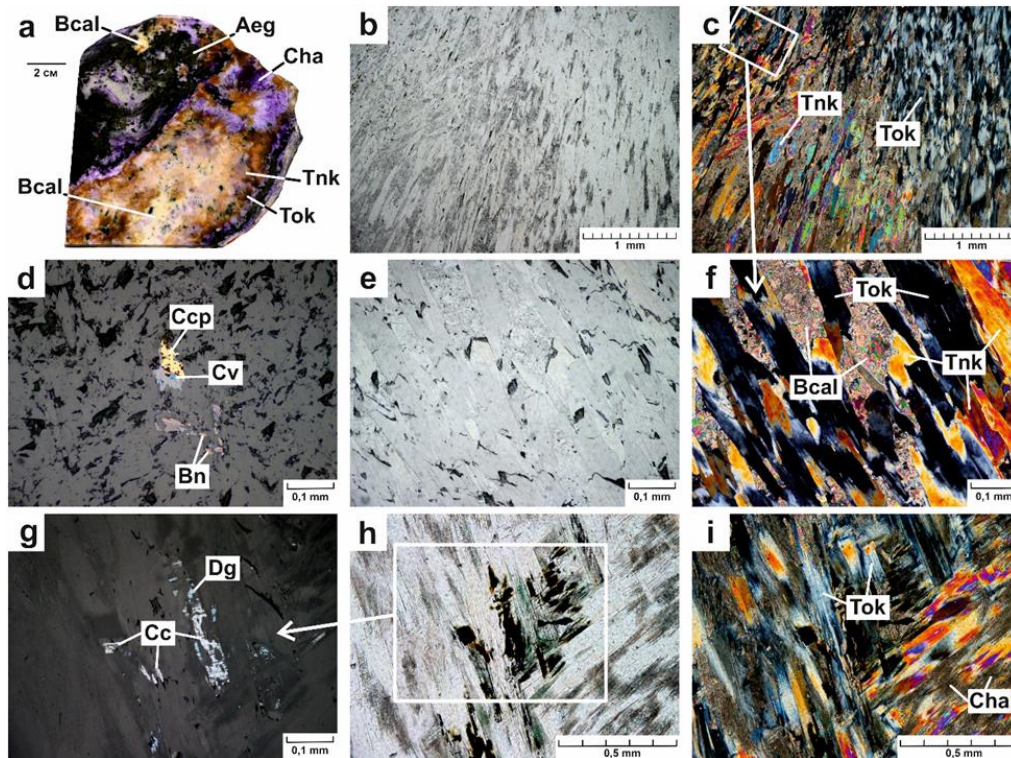
обусловлена наличием в кристаллической структуре минерала небольшого содержания примесей  $Fe^{3+}$  и  $Mn^{2+}$  [5]. Значения возраста кристаллизации токкоита и тинаксита в чароитовых породах Мурунского массива близки и составляют  $135,93 \pm 0,49$  Ма и  $135,86 \pm 0,43$  Ма ( $^{40}Ar/^{39}Ar$  метод) соответственно [4]. Более 30 лет токкоит оставался эндемиком. Вторая находка токкоита совершена в 2018 году в северо-восточной части габбро-сиенитового Патынского массива, расположенного в центральной части Горной Шории (Таштагольский район Кемеровской области, Южная Сибирь) [6].

В настоящей работе представлены новые данные петрографо-минераграфического исследования необычного парагенезиса токкоита в Sr-Ba-Ca-карбонатитах из участка Магистральный месторождения Сиреневый камень (Южная часть Мурунского щелочного массива, Северо-Западный Алдан), приводится химический состав токкоита по результатам энергодисперсионного микроанализа.

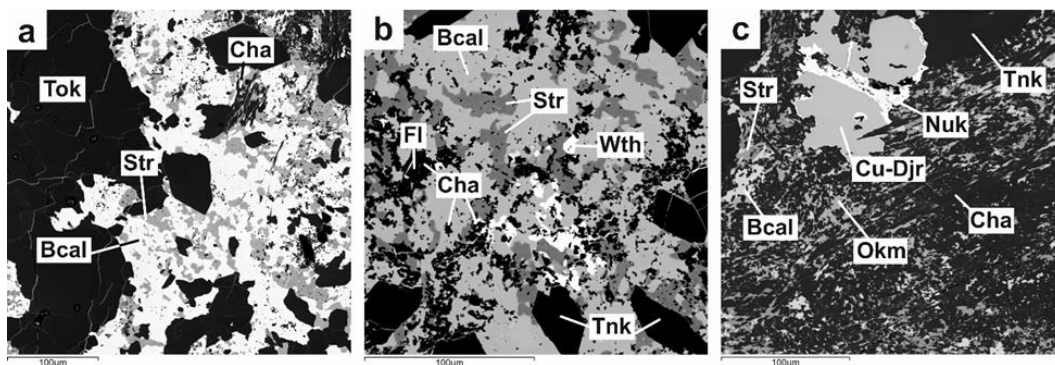
Образец чароит-пироксен-карбонатной породы представляет собой полированную пластину  $11 \times 11$  см при толщине 1,5 см, и характеризуется удивительным минеральным разнообразием. Образец сложен (в об. %): эгирином (30), тинакситом (15), токкоитом (10), баритокальцитом (30), чароитом (10), микроклином (2), кварцем (2) (рис. 1 а). В незначительных количествах в образце присутствуют калиевый магнезиоарфедсонит, карбонаты и сульфаты кальция, стронция и бария, стронциевый фторапатит, флюорит, стисиит, дэлиит, сульфиды меди и свинца, Сиджерфишерит, мурунскит, нукундамит, самородная медь. Визуальное наблюдение взаимоотношений минералов в образце позволяет выделить кварц-микроклин-эгирин-чароитовый парагенезис и чароит-токкоит-тинаксит-карбонатитовый. Стоит отметить, что радиально-лучистые агрегаты тинаксита и токкоита расположены вдоль эндоконтакта карбонатитового агрегата.

Поскольку в образце макроскопически довольно сложно различить токкоит от тинаксита, то для понимания взаимоотношений этих двух минералов между собой, образец был исследован в полированных шлифах. Разные оптические свойства минералов, а именно различный порядок цветов интерференционной окраски, позволяют их довольно легко распознать (рис. 1 b, c). В шлифе токкоит и тинаксит наблюдаются в виде идиоморфных и гипидиоморфных удлинённых пластинчатых кристаллов, образующих радиально-лучистые агрегаты среди карбонатных минералов. Благодаря существенной разнице интерференционной окраски минералов в некоторых кристаллах наблюдаются резкие переходы от токкоита к тинакситу (рис. 1 f). Отмеченная закономерность – это эпитаксиальное нарастание одного минерала на другой, что вполне вероятно, поскольку минералы изоструктурны и похожи по химическому и редкоэлементному составу. Оба минерала практически бесцветны, токкоит имеет серый оттенок, в то время как у тинаксита отмечается желтый оттенок и незначительный плеохроизм (рис. 1 e). Карбонатные минералы и чароит ксеноморфны по отношению к токкоиту и тинакситу. Из карбонатов и сульфатов обнаружены в шлифе и подтверждены энергодисперсионным микроанализом баритокальцит, стронцианит, олёкминскит, витерит и барит (рис. 2). Они образуют между собой тесные срастания и представляют по Е.И. Воробьеву «структуры распада исходного протокароната» [1]. В незначительных количествах среди карбонатных минералов встречаются флюорит, эгирин, калиевый магнезиоарфедсонит, стронциевый фторапатит, дэлиит, стисиит, микроклин. Сульфидные минералы, обнаруженные в данной ассоциации, представлены преимущественно первичными и вторичными сульфидными минералами меди: халькопиритом, борнитом, халькозином, дигенитом и ковеллином (рис. 1 d, g). В отражённом свете в полированном образце обнаружены самородная

медь и галенит. А энергодисперсионным микроанализом обнаружены Си-джерфшерит, нукундамит (рис. 2 с) и мурунскит.



**Рисунок 1.** Фотография полированного образца чароит-пироксен-карбонатной породы (а) и микрофотографии шлифа в проходящем свете (b, c, e, f, h, i) и отражённом свете (d, g). Поляризаторы параллельны (b, d, e, g, h), поляризаторы скрещены (c, f, i). Aeg – эгирин, Bcal – баритокальцит, Bn – борнит, Cha – чароит, Cc – халькозин, Ccp – халькопирит, Cv – ковеллин, Dg – дигенит, Tnk – тинаксит, Tok – токкоит.



**Рисунок 2.** Фотографии выполнены с помощью энергодисперсионного микроанализатора в обратно-рассеянных электронах. Контрастность увеличивается пропорционально увеличению атомного номера элементов, входящих в состав минералов. Bcal – баритокальцит, Cha – чароит, Cu-Djr – Си-джерфшерит, Fl – флюорит, Nuk – нукундамит, Okm – олёкминскит, Str – стронцианит, Tnk – тинаксит, Tok – токкоит, Wth – витерит.

Химический состав токкоита из чароит-пироксен-карбонатной породы (мас. %, количество H<sub>2</sub>O рассчитано по стехиометрии): SiO<sub>2</sub> 54,25; TiO<sub>2</sub> 1,12; FeO 1,33 MnO 1,10; MgO 1,01; CaO 24,36; Na<sub>2</sub>O 0,51 K<sub>2</sub>O 12,32; H<sub>2</sub>O 1,29; F 2,22; –O=F -0,93; сумма 98,57. Формула токкоита рассчитана на 13 катионов

$K_{2,01}(Ca_{3,34}Mg_{0,19}Fe_{0,14}Na_{0,13}Mn_{0,12}Ti_{0,11})_{\Sigma 4,03}[Si_{6,95}O_{17,99}(OH)](OH_{0,10}F_{0,90})_{\Sigma 1,00}$ . Для сравнения, в отличие от токкоита из карбонатитового парагенезиса различные химические анализы токкоита из мизерит-тинаксит-чароитового парагенезиса почти всегда показывают наличие примеси SrO до 0,1–0,2 мас. % [3; 7]. Парагенный изученному токкоиту тинаксит, также не содержит примеси стронция, но отличается значительными примесями  $Nb_2O_5$  0,6–1,56 мас. %. В токкоите отмечается самая низкая концентрация примеси титана и наиболее высокое содержание фтора и примеси марганца по сравнению с литературными данными [2; 3; 7].

## Выводы

Выявлен новый Sr-Ba-Ca-карбонатитовый парагенезис редкого минерала токкоита. Наличие в Sr-Ba-Ca-карбонатитах минералов, содержащих гидроксильную группу, анион  $F^-$  и анионный комплекс  $CO_3^{2-}$  свидетельствует о том, что минералообразующая среда была богата водными и летучими веществами, а присутствие самородной меди говорит о восстановительных условиях кристаллизации. На участие Mg и Fe в системе указывают такие минералы как калиевый магнезиоарвфедсонит, эгирин, и примеси магнезия и железа в токкоите и тинаксите. Обнаруженные зональные кристаллы, состоящие из токкоита и тинаксита свидетельствуют о возможности замещения одного минерала другим.

## Библиография

1. Воробьев Е.И. Чароит. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». 2008. 140 с.
2. Лазебник К.А., Никишова Л.В., Лазебник Ю.Д. Токкоит – новый минерал чароититов // Минералогический журн. 1986. Т. 8, № 3. С.85–89.
3. Dokuchits E.Yu., Jiang S.-Y., Stepanov A.S., Zhukova I.A., Radomskaya T.A., Marfin A.E., Vishnevskiy A.V. Geochemistry of Ca-(K)-(Na) silicates from charoitites in the Sirenevyy Kamen gemstone deposit, Murun Complex, Eastern Siberia Ore Geology Reviews. Volume 143. 2022.
4. Ivanov A.V., Vladykin N.V., Demonterova E.I., Gorovoy V.A., Dokuchits E.Y.  $^{40}Ar/^{39}Ar$  geochronology of the Malyy (Little) Murun Massif, Aldan Shield of the Siberian Craton: a simple story for an intricate igneous complex. Minerals. 2018. 602. 1–21.
5. Kaneva E., Shendrik R. Tinaksite and Tokkoite: X-ray Powder Diffraction, Optical, and Vibrational Properties. Crystals. 2022. 12. 377.
6. Kasatkin, A.V., Cámara, F., Chukanov, N.V., Škoda, R., Nestola, F., Agakhanov, A.A., Belakovskiy, D.I., Lednyov, V.S. Patynite,  $NaKCa_4[Si_9O_{23}]$ , a New Mineral from the Patynskiy Massif, Southern Siberia, Russia. Minerals. 2019. 9. 611.
7. Lacalamita M., Mesto E., Kaneva E., Scordari F., Pedrazzi G., Vladykin N., Schingaro E. Structure refinement and crystal chemistry of tokkoite and tinaksite from the Murun massif (Russia). Mineralogical Magazine. 2017. 81. 251–272.
8. Rozhdestvenskaya I.V., Nikishova L.V., Lazebnik Yu.D., Lazebnik K.A. The crystal structure of tokkoite and its relation to the structure of tinaksite Zeitschrift für Kristallographie. 1989. 189.195–204.

*Белое масло из остаточного продукта гидрокрекинга медицинского назначения с заданными свойствами индукции регенерации. Рева Г.В.\* (Дальневосточный федеральный университет, RevaGal@yandex.ru), соавтор Рева И.В. (Дальневосточный федеральный университет, avers2@yandex.ru), соавтор Гульков А.Н. (Дальневосточный федеральный университет, alexdvgtu@mail.ru), соавтор Никитина А.В. (Дальневосточный федеральный университет, работа\_oos@mail.ru), соавтор Автомонов Е.Г. (Дальневосточный федеральный университет, avtomonov.eg@dvfu.ru), соавтор Hua Xiang, (Shandong Qingyishan Petrochemical Co., Ltd. xiang.h@gubkin.ru) соавтор Yunqiang Zhao (Shandong Qingyishan Petrochemical Co., Ltd. xiang.h@gubkin.ru)*

## Аннотация

В связи с необходимостью восполнения дефицита лечебных средств таргетного воздействия, изготовленных из продуктов нефтехимии, возрастает актуальность совершенствования собственных технологий и разработки новых препаратов с улучшенными качествами. Изучаются регенераторные свойства кожи и межклеточные взаимодействия при патологических состояниях и повреждениях различного генеза с выявлением клеточных мишеней для таргетного воздействия препаратами, изготовленными из продуктов нефтехимии на основе белого масла. Предстоит создание аналога для основы лекарственных препаратов и для косметологии взамен поставляемых зарубежными компаниями. Историческая справедливость – вернуть приоритет России на мировой рынок по поставке белых масел, как державу, имеющую нефтяное сырье для их производства.

## Ключевые слова

продукты нефтехимии для медицинского применения и фармации; белые масла, высокотехнологичные методы; таргетное лечение, индукция регенерации.

## Актуальность

Из 600 крупнейших иностранных компаний в России свою деятельность уже ограничили более 205 предприятий, а около 130 сообщили о намерении покинуть Россию. Чтобы не допустить массового возврата зарубежных компаний по мере снижения градуса геополитической напряженности необходимо освободившиеся ниши на российском рынке занять надежными партнерами и компаниями из Азии и стран СНГ во избежание сложностей после ухода иностранного бизнеса. Уход зарубежных партнеров из Европы и США стимулирует развитие внутреннего бизнеса. что ушедшие из России зарубежные компании уже потеряли от своего решения примерно \$200—240 млрд, отметили в ЦСР. Аналитические данные свидетельствуют о том, что продажа бизнеса со скидками, достигающими в среднем 70%, в большей степени касаются наибольших убытков предприятий нефтегазовой отрасли, а также пищевой промышленности. Несмотря на то, что нефтехимическое производство является фактором риска для экологии человека, является индуктором развития ряда заболеваний [1], очищенные белые масла служат идеальной основой для создания средств лечебно-косметического воздействия. Предстоящее вытеснение импортных технологий и возможность полноценного импортозамещения белого масла при адекватном финансировании позволит достичь нужного результата. Большой

потенциальный потребительский спрос на продукцию нефтехимии медицинского назначения с заданными индукторными регенераторными свойствами позволит окупить затраты на финансирование предприятий и развитие технологий в короткие сроки. Доказательством этого является факт прибыли компании Unilever, с 2% ее чистой прибыли, составившей €8,03 млрд, возросшие до €60,1 млрд (+14,5%), более всего — от продажи косметики (+20,8%). Эти прибыли должны принадлежать России и надежным партнерам, таким, как Китай и Индия. Это и послужило для выбора направления наших исследований для создания конкурентно способных технологий и продуктов нефтехимии медицинского и фармацевтического назначения.

**Цель и задачи.** Вытеснение импортных технологий и возможность полноценного импортозамещения в сфере нефтехимического производства средств для медицины и фармации с заданными индукторными регенераторными свойствами и целевым воздействием.

**Материал и методы.** Мы использовали эмпирический метод анализа базы данных рисков и эффективности применения продуктов нефтехимии в медицине с учетом данных канцерогенного влияния неочищенных нефтепродуктов на организм человека. Материалом послужили данные отечественной и зарубежной литературы по изучаемому вопросу, а также патентный поиск по имеющимся зарегистрированным изобретениям.

**Результаты собственных исследований.** В связи с тем, что экспорт белого масла, как основы для косметических и лекарственных средств составляет в России 15 тыс. т, а его ежегодная потребность возрастает на 5–7 %, на фоне количества вырабатываемых белых масел в России только около 3–4 тыс. т, соответствующих ГОСТу 3164–78 и спецификациям фармакопеи РФ [3–8]. Однако известно, что продукты нефтехимического производства обладают высококканцерогенными свойствами [2, 3]. Анализ показал, что в РФ назрела необходимость разработки и внедрения модернизированных высокотехнологичных методов выработки белых масел. Особого внимания заслуживают патенты Atlantic Richfield Company и Exxon Mobil, из отечественных - А.А. Щепалова, Е.С. Котлова, А.С. Новоселова, А.А. Шалашовой [4–9]. Однако зарубежные технологии являются дорогостоящими вследствие включения нескольких стадий с использованием катализаторов на основе благородных металлов. Обладая повышенной стабильностью и исключительной химической инертностью, по сравнению с большинством минеральных и растительных масел, белые масла применяют в областях, где степень очистки используемых продуктов имеет важное значение, а именно: в медицине, фармацевтике, производстве продуктов питания, ветеринарии, приготовлении косметической продукции, а также текстильной, химической и других отраслях промышленности. Например, Marcol 82 является тщательно очищенным белым медицинским маслом, производится в соответствии с более строгими требованиями к очистке и безопасно для применения в косметических и фармацевтических целях, указанных в действующих законодательствах и положениях. Белые масла имеют ряд ценных преимуществ по сравнению с растительными и животными жирами и маслами - они стойки в химическом отношении, не горкнут, на воздухе не окисляются, при длительном хранении не изменяют консистенцию, цвет и запах. Установлены ранозаживляющие и ускоряющие регенерацию кожи свойства белого масла. Однако необходимо выяснить оптимальное соотношение ингредиентов, добавляемых в белое масло медицинского назначения для лечения ран с профилактикой рубцевания и рецидива кровотечения из ран. Для этого необходимо



изучение механизмов таргетного воздействия на клеточные мишени тканевых структур организма и определения соотношения ингредиентов при лечении различных проблем, связанных с патологией.

**Заключение.** Постоянный риск и угрозы в нестабильности поставок белого масла, как основы для изготовления товаров медицинского и фармацевтического назначения диктуют развитие собственных производств. Дальнейшие исследования должны быть связаны с доклиническими и клиническими испытаниями создаваемых таргетных лекарственных средств с заданными свойствами. По механизму действия они должны обладать индукцией регенерации без активации соединительной ткани, которая участвует в процессе рубцевания. Создание этих продуктов позволит занять России и Китаю лидирующие позиции на мировом рынке продуктов медицинского назначения, изготовленных на основе нехтехимического производства.

## **Выводы**

Разработка собственных совместных технологий изготовления белого масла для создания препаратов медицинского и фармацевтического назначения России и Китая с проведением доклинических испытаний является перспективным направлением и повысит эффективность дальнейшего совместного бизнеса.

## **Литература.**

1. Kim H, Festa N, Burrows K, Kim DC, Gill TM, Bell ML. Residential exposure to petroleum refining and stroke in the southern United States. *Environ Res Lett.* 2022;17(9):094018. doi: 10.1088/1748-9326/ac8943.
2. Glass DC, Schnatter AR, Tang G, Armstrong TW, Rushton L. Exposure to benzene in a pooled analysis of petroleum industry case-control studies. *J Occup Environ Hyg.* 2017 Nov;14(11):863-872. doi: 10.1080/15459624.2017.1339162
3. Lewis SJ, Bell GM, Cordingley N, Pearlman ED, Rushton L. Retrospective estimation of exposure to benzene in a leukaemia case-control study of petroleum marketing and distribution workers in the United Kingdom. *Occup Environ Med.* 1997 Mar;54(3):167-75. doi: 10.1136/oem.54.3.167
4. Pat. 5935416 US. Raffinate hydroconversion process / I.A. Cody, D R. Boate, W.J. Murphy et al. ; Exxon Research And Engineering Company - № 19980023438 ; заявл. 13.02.98 ; опубл. 10.08.99.
5. Pat. 1763155 CN. Method for producing industrial grade white oil / J.Z. Luo ; заявитель Changchun Hichem Catalyst Ltd. - № 20051116614 ; заявл. 26.10.05 ; опубл. 26.04.06.
6. Pat. 1952066 CN. Hydrogenation process of producing food-level white oil / C.L. Yao ; China Petroleum & Chemical. - № 2005147475 ; заявл. 19.10.05 ; опубл. 25.04.07.
7. Pat. 2009/0166251 US. All catalytic medicinal white oil production / S.S. Hantzer, E D. Joseck, T.L. Hilbert et al. ; заявитель ExxonMobil Research & Engineering Company. -№ 20070005897 ; заявл. 28.12.07 ; опубл. 02.07.09.
8. Pat. 7594991 US. All catalytic medicinal white oil production / S.S. Hantzer, E.D. Joseck, T.L. Hilbert et al. ; заявитель ExxonMobil Research & Engineering Company. -№ 20070005897 ; заявл. 28.12.07 ; опубл. 29.09.09.
9. Pat. 101343558 CN. Process for preparing high-viscosity technical white oil / Z. Shiyang, Z. Youfu, L. Chenglin et al. ; заявитель Petrochina Company Ltd. - № 20071118583 ; заявл. 10.07.07 ; опубл. 14.01.09.



**Геохимия клинопироксена из габброидов хребта Шака (Южная Атлантика).  
Румянцева Н.А.\* (Санкт-Петербургский горный университет; Всероссийский  
научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового  
океана имени академика И.С. Грамберга, [rutyancevanat@gmail.com](mailto:rutyancevanat@gmail.com))**

**Аннотация**

В настоящем сообщении представлены оригинальные данные по результатам геохимических исследований (редкие и редкоземельные элементы) для зёрен клинопироксена, выделенных из габброидов, драгированных в акватории хребта Шака в Южной Атлантике в ходе научно-экспедиционных работ весной 2016 года на НЭС «Академик Фёдоров».

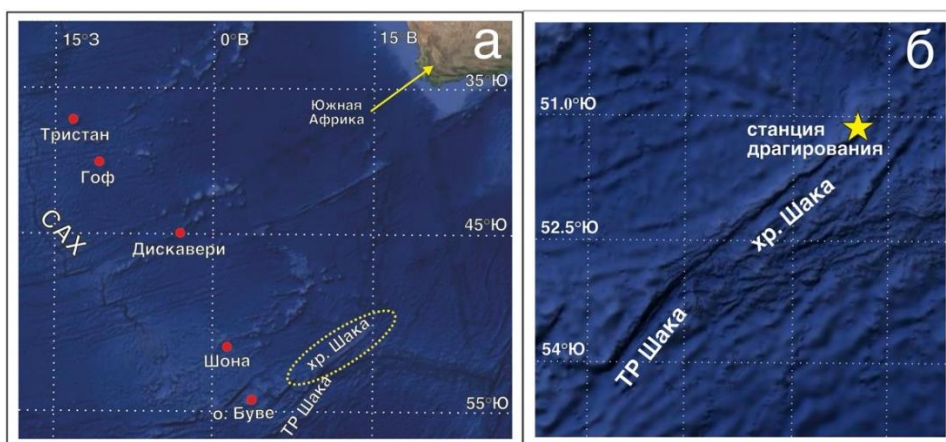
Клинопироксен является одним из наиболее часто встречаемых минералов практически во всех типах горных пород, особенно основного состава. Учитывая его достаточно высокую устойчивость, он может выступать в роли хорошего индикатора первичного состава расплава, из которого он кристаллизовался, что, собственно, и является целью настоящего исследования.

**Ключевые слова**

Клинопироксен; геохимия; редкие элементы; REE; хребет Шака.

**Объект исследования**

Объектом исследования является хребет Шака в Южной Атлантике, который располагается в районе западной оконечности крупного ультрамедленного спредингового Юго-Западного Индийского хребта. Здесь он примыкает к северо-восточному флангу одноименного трансформного разлома Шака в виде подводной возвышенности, протягивающейся на северо-восток. К сожалению, достоверной информации о становлении и природе хребта Шака до настоящего времени нет. Для исследований клинопироксена были выбраны представительные образцы габброидов 3-1-1 и 3-2-59, отобранные на северо-восточном фланге средней части хребта (рис. 1).

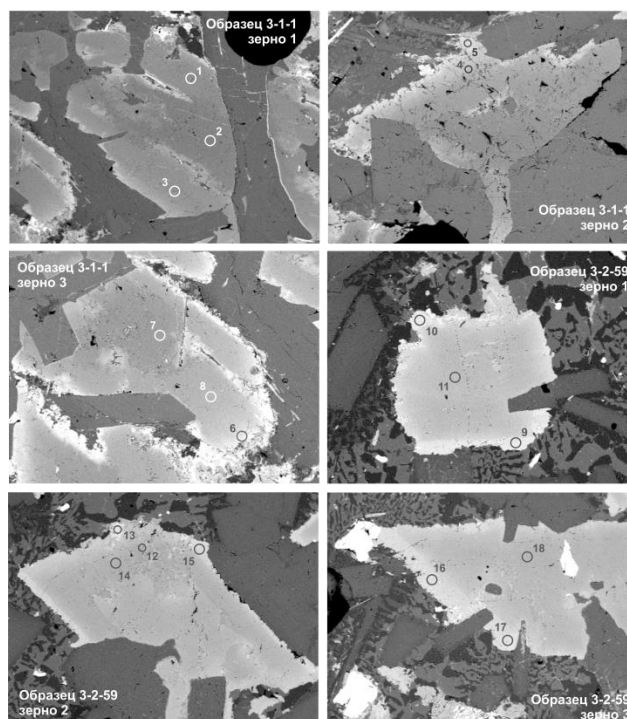


Карта района хребта Шака (а) и положение станции драгирования (б). В качестве топографической основы использована информация из открытых источников (<https://www.google.com/maps>). **Методология исследования**

Для определения химического состава клинопироксена, а также его строения и взаимоотношения с другими минералами во вмещающей породе были изготовлены плоско-полированные шлифы. Содержания главных элементов определялось при помощи сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6510 LA с энергодисперсионной системой JED-2200 в режиме композиционного контраста (BSE) в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН. Измерение редких и редкоземельных (REE) элементов проводилось с помощью ионного микрозонда Cameca IMS-4f методом SIMS в Ярославском филиале физико-технологического института им. К.А. Валиева РАН. Для построения спектров распределения REE состав клинопироксена был нормирован к составу хондрита CI по (Sun, McDonough, 1989). Для определения типа пироксена применялась общепринятая классификация пироксенов по (Morimoto, 1988).

## Результаты исследования

Согласно общепринятой классификации пироксенов в исследуемых образцах наблюдается 2 разновидности клинопироксена, принадлежащих к Ca-Mg-Fe типу, а именно – авгиту и пижониту. Это нашло своё отражение на BSE изображениях (рис. 2). В подавляющем большинстве зёрен, пижонит имеет более тёмную окраску на изображениях, а авгит – более светлую. В клинопироксене из обр. 3-1-1 затруднительно определить центральную и краевые части зёрен, поскольку они частично раздроблены или же расположены в интерстициях плагиоклаза (рис. 2). В клинопироксене из обр. 3-2-59 центральные части зёрен сложены авгитом, а краевые – пижонитом. В нём наблюдаются более поздние фазы – клиноферросилит. Нередко наблюдаются трещины или же включения основного плагиоклаза ( $An_{75-85}$ ) в клинопироксене.

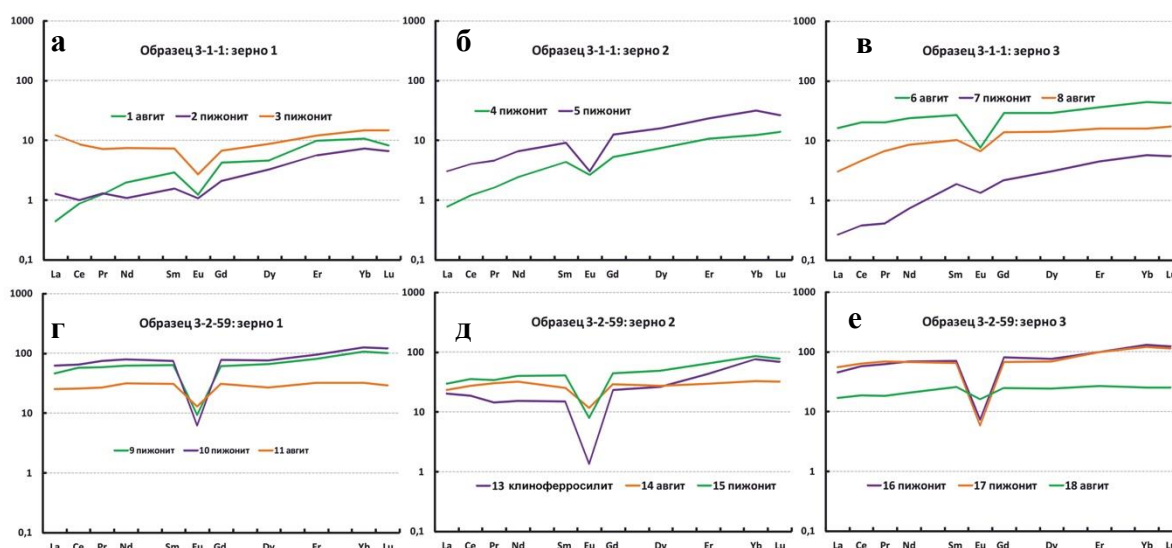


**Рисунок 1.** Изображения зёрен клинопироксена в режиме композиционного контраста (BSE).

Коэффициент магнезиальности  $Mg\#$  для клинопироксена из обр. 3-1-1 варьирует в диапазоне от 0.23 до 0.70. В свою очередь, для обр. 3-2-59 диапазон значений более

узий: от 0.17 до 0.40 и более низкие значения отмечаются для пижонита, высокие – для авгита. В основном, в авгите наблюдаются более высокие содержания  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и  $CaO$ , а содержания  $FeO$  и  $MnO$  ниже по сравнению с пижонитом, что согласуется с типом пироксенов.

Суммарное содержание REE в зёрнах из обр. 3-1-1 колеблется от первых до десятых ppm – от 3.99 до 60.6 ppm. Спектры в целом схожи, имеют плавное возрастание от лёгких REE к тяжёлым (рис. 3а, б, в). Для клинопироксена из обр. 3-2-59 диапазон суммы REE составляет от 51.5 до 183 ppm. Спектры имеют практически субгоризонтальную форму (рис. 3г, д, е). Для обоих образцов отчётливо проявлена отрицательная Eu-аномалия ( $Eu/Eu^* = 0.02 - 0.21$ ), указывающая на то, что клинопироксен кристаллизовался после фракционирования значительного объёма плагиоклаза из расплава, что впоследствии привело к резкому обеднению остаточного расплава европием. Примечательной особенностью является то, что для авгита из обр. 3-2-59 Eu-аномалия проявлена в меньшей степени, чем для пижонита. Это согласуется с тем, что авгит формирует центральные части зёрен, а пижонит кристаллизовался позже, и образует краевую часть зерен. Помимо этого, краевые части, сложенные пижонитом, демонстрируют обогащение REE по сравнению с центром для обр. 3-2-59. Можно отметить комплементарность спектров REE, что свидетельствует о том, что на протяжении всего времени кристаллизации клинопироксена ассоциация совместно с ним кристаллизующихся минералов не менялась.



**Рисунок 2.** Спектры распределения REE в клинопироксене, нормированные к хондриту CI (Sun, McDonough, 1989).

Оценка P-T условий кристаллизации клинопироксена проводилась 2 методами. Приблизительная оценка производилась при помощи тройной диаграммы-термометра, предложенной (Lindsley, 1983), далее уточнялись температура и давление по барометру «клинопироксен – расплав» (Neave, Putirka, 2017).

Для обр. 3-1-1 расчетная температура кристаллизации составляет около 1100°C и давления порядка 2.1 кбар. Для обр. 3-2-59 температурный интервал кристаллизации составляет 1138 – 1164°C, при давлении около 3.3 кбар.

## **Выводы**

Установлена смена химического состава клинопироксена в пределах отдельных зёрен от авгита к пижониту, что указывает на закономерные изменения состава расплава при снижении температуры кристаллизации. Отмечается обогащение краевых (пижонитовых) частей зёрен REE по сравнению с центральной (авгитовой). Температурный режим кристаллизации, согласно тройной диаграмме-термометру составлял порядка 1000 – 1200°C при давлениях ниже 5 кбар. Уточненные P-T параметры по барометру «клинопироксен – расплав» не противоречит полученным данным, сужая диапазон значений давления до 2.1 – 3.3 кбар.

## **Библиография**

1. Lindsley D.H. Pyroxene thermometry // *American Mineralogist*. – 1983. – V. 68. – P. 477 – 493.
2. Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. Nomenclature of pyroxenes // *Mineralogy and Petrology*. – 1988. – V. 39. – P. 55 – 76.
3. Neave D.A., Putirka K.D. A new clinopyroxene-liquid barometer, and implications for magma storage pressures under Icelandic rift zones // *American Mineralogist*. – 2017. – V. 102. – P. 777 – 794.
4. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes // *Geological Society London Special Publications*. – 1989. – V. 42. – P. 313 – 345.

**Фторидная модель образования кремнезема в базальтах при формировании агатов – новая концепция. Савва Н.Е. (ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, e-mail: [nsavva7803@mail.ru](mailto:nsavva7803@mail.ru))**

### Аннотация

Концепция основана на идее частичного растворения силикатных минералов в базальтовых лавах при взаимодействии с F или HF – газами вулканических эманаций при проявлении фторидного метасоматоза и выносе Si в виде летучего соединения SiF<sub>4</sub>, который продвигаясь через поровое пространство заполняет пузыри (полости) в лаве. Образование халцедона происходит внутри этих полостей при последующем поступлении вадозовых вод с образованием ортокремниевой кислоты и других продуктов взаимодействия четырехфтористого кремния с водой.

### Ключевые слова

Агаты, халцедоны, агатообразование, фторидная модель.

### Теория

Халцедон заполняет полости, как в кислых, так и в основных излившихся вулканических породах, а также швы и пустоты в интрузивных и метаморфических породах, замещает предшествующие минералы в осадочных породах. Это разнообразие условий роста почти не ограничивает его парагенезис. Поэтому существуют различные модели его природного образования. Эксперименты по синтезу халцедона многими различными способами оказались успешными.

Геологи часто задаются вопросом: почему в толще базальтов, не содержащих кремнезем образуются агаты, заполненные преимущественно SiO<sub>2</sub>, т. е. халцедоном и его разновидностями, представленными двуокисью кремния?. Известно, что базальт по данным силикатного анализа содержит 45-52% SiO<sub>2</sub>, но кремний в нем кристаллизуется в другой координации (SiO<sub>4</sub>, Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) в полевых шпатах, оливине и др. минералах.

Во многих случаях, вопрос источника SiO<sub>2</sub> в агатах, формирующихся в базальтах, связывается с образованием вторичных глинистых минералов при гидротермальном метасоматозе, или с влиянием каких-либо даек кислого состава (Годовиков и др., 1987; Седов 2020). Другие исследователи (Kigay, 2019; Zenz J., 2014), предполагают образование золь непосредственно в пустотах в процессе застывания самой лавы.

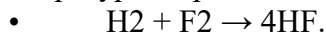
В настоящем сообщении предлагается рассмотреть указанную проблему, используя механизм фторидного метасоматоза, детально изученный в районах современных вулканов (Набоко, Главацких, 1983, 1992), приводящего к выносу кремния в виде летучего соединения – SiF<sub>4</sub>. Авторами указанной работы убедительно показано, что для отдельных зон фторидных метасоматитов вынос Si достигает 30-40 мас.%. Представляется, что значительную роль в этом мог играть газообразный (летучий) SiF<sub>4</sub>.

Заполнение жеод кремнеземом может быть объяснено прохождением газообразных компонентов: F, Cl, HF и из вулканических эманаций через толщу кремнийсодержащих базальтов, при пневмолитовом метасоматозе с активным участием F. Процесс фторидного метасоматоза обычен для современных вулканов (Набоко,

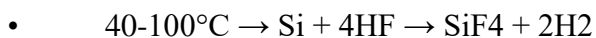
Главацких, 1992) при температуре более 500° С с последующим остыванием (Большой Толбачинский Прорыв). Прохождение F через пористые базальты (газовая продувка) фиксируется в метасоматитах новообразованными минералами – флюоритом и ральстонитом, при существенном выносе Si в виде летучего соединения SiF<sub>4</sub>.

Теоретическая модель образования кремнезема в агатах, формирующихся в остывающих базальтовых лавах, состоит в следующем:

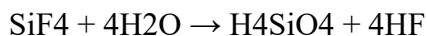
- Газообразный F при вулканическом взрыве активно взаимодействует с водородом в широком диапазоне температур с образованием газообразного HF:



- HF единственный растворитель минералов группы силикатов, из которых преимущественно состоят базальты. Разогретый 4HF продвигаясь вверх через поровое пространство и трещины в застывшем базальте, растворяет на своем пути Si-содержащие минералы группы алюмосиликатов, а также пироксены, оливин и, соединяясь с кремнием, образует газообразный тетрафторид кремния в интервале температур 40-100°С:

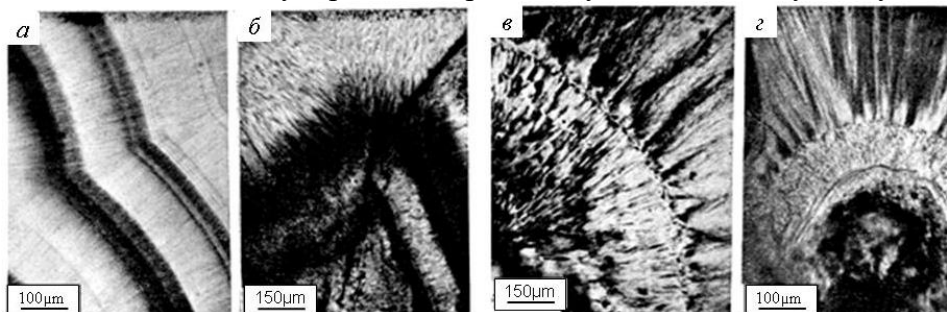


- Газообразный (летучий) тетрафторид, активно заполняет камеры – пустоты в пузырьчатых лавах, а позже при взаимодействии с водой образуется крайне неустойчивое соединение – ортокремниевая кислота (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) либо другие продукты в зависимости от температуры



Из приведенных формул видно, что просачивание H<sub>2</sub>O (вазовых, поверхностных вод из кальдеры) может приводить к разбавлению H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, и выпадению гелей кремнезема в осадок. Подобный механизм взаимодействия четырехфтористого кремния (SiF<sub>4</sub>) с водой был предложен И.А. Бекбулатовой (2017) для разработки технологии изготовления промышленного силикагеля, где, она показывает, что полимеризация, сопровождается поликонденсацией и приводит к тому, что сначала получают линейные, затем разветвленные, слоистые и смешанные, наконец - трехмерные структуры. В природе мы наблюдаем то же самое. В прозрачных шлифах хорошо видно сложное сочетание волокнистых, слоистых и сферолоидных структур халцедона (рис.1).

Важно подчеркнуть, что процессы образования гелей и их полимеризации происходят, именно, внутри камер (пузырей), иначе вязкие гели при прохождении тонких каналов могли бы закупорить их, препятствуя дальнейшему поступлению H<sub>2</sub>O.

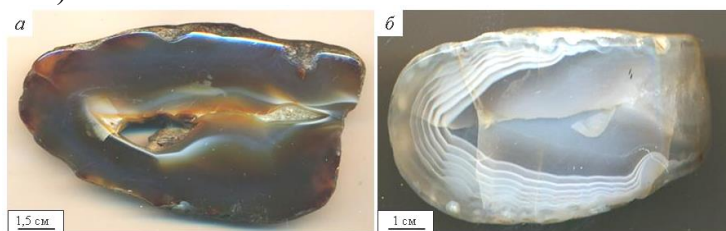


**Рисунок 1.** Сочетания волокнистых, слоистых и сферолоидных структур халцедона в агатах: а – слоистая, б – волокнистая, в-г – сферолоидная (фото автора: Халцедоны...,1987)

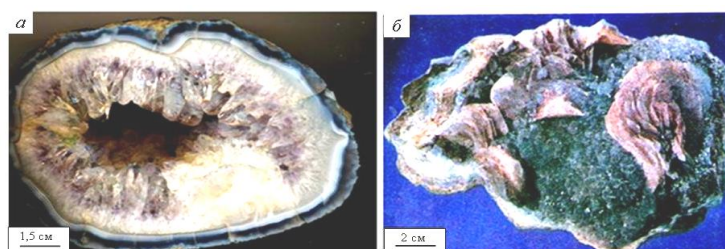
В зависимости от размера камер и скорости поступления H<sub>2</sub>O в полости, некоторые жеоды одновременно полностью заполняются халцедоном (рис. 2а), а в случае медленного просачивания капель H<sub>2</sub>O, постепенно слоями заполняют



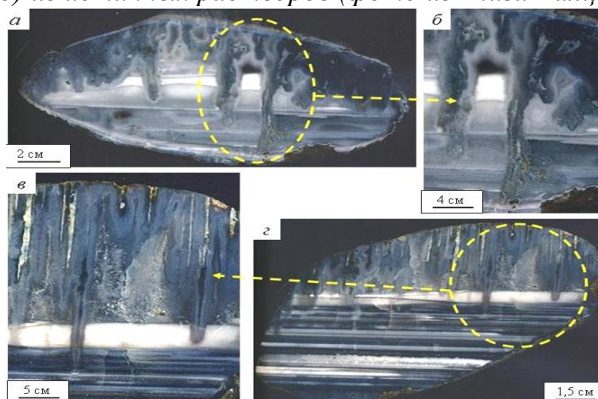
прилегающие к стенкам пространства, что обеспечивается адиабатическим расширением – равномерным давлением на стенки пустот. Чем меньше порции поступающей  $H_2O$ , тем тоньше слои в растущем агате вплоть до тонкослоистого – «муарового» (рис 2 б).



**Рисунок 2.** Различные способы заполнения агатовых камер: а – при одномоментном поступлении воды; б – сначала небольшими порциями (полосчатые структуры), затем прорыв и заполнение оставшегося пространства



**Рисунок 3.** Заполнение оставшегося в жеоде пространства кварцем (а) и карбонатом (мангано-кальцитом) (б) из истинных растворов (фото из книги Халцедоны..., 1987)



**Рисунок 4.** Сталактитоподобные структуры внутри жеод, заполненных ониксом (б-в – увеличенные фрагменты), иллюстрирующие пересечение поздними натеками слоев опала и халцедона, в ранее образовавшихся ониксах на примере агатов Ольского базальтового плато (Фото агатов (а, г) из книги Б.М. Седова, 2020)

После истощения четырехфтористого водорода происходит отложение минералов из истинных растворов. Вслед за кварцем, в базальтах чаще всего происходит отложение карбонатов – кальцита, манганокальцита (рис. 3). Падение внутреннего давления в камере приводит к отложению горизонтальных слоев кремнезема – халцедона, опала, могоanita которые отлагаются горизонтальными слоями под действием земной силы тяготения (рис 2 в-г).

В агатах возможно также образование сталактитоподобных структур. Это происходит в том случае, когда фтор или фтористый водород, высвободившиеся при реакции с водой, не находят выхода из камеры, заполненной агатом или ониксом и начинают накапливаться в ее сводовой части. А так как свод сложен базальтом, то алюмосиликаты в нем постепенно растворяются, превращаясь в кремнистый гель, и стекают под действием силы тяжести преимущественно вертикально, растворяя в свою очередь слои оникса (рис. 4). Подобное растворение возможно только в присутствии F

или HF, а при избытке воды и фтористоводородной (плавиковой) кислоты, так как иного растворителя для SiO<sub>2</sub> не существует.

## Выводы

Представленная в докладе фторидная модель формирования агатов в базальтах, не претендует на единственный механизм образования. Тем не менее, она имеет право на существование. Механизм газообразного поступления кремния (SiF<sub>4</sub>) в пустоты по трещинам и каналам хорошо согласуется с тем, что эти каналы не закупориваются, как это могло бы быть при поступлении вязкого вещества гелей. Внутри жеод при поступлении воды образуется своего рода лаборатория взаимодействия воды и газа. Модель объясняет возникновение полосчатости в агатах. Толщина полос зависит от скорости поступления воды, а при широко открытых каналах жеода заполняется халцедоном одномоментно, не образуя полос. Высвобождающийся фтор, не находящий выхода из пустот, заполняемых агатом, может повторно растворять внутреннюю оболочку жеоды, а полученная фтористая субстанция стекает вниз в виде сосулков под действием силы тяжести и растворяет ранее образованные опаловые и халцедоновые слои оникса

## Библиография

1. Годовиков А. А., Рипинен О. И., Моторин С. Г. Агаты. – М.: Недра, 1987. – 368 с.
2. Бекбулатова И.А. Методы осаждения различных соединений кремния из гидротермального теплоносителя. Степень магистр. Дисс. 04. 04. 04. Химия, Томский ГУ, 2017, 58 с.
3. Kigay I.N. The Genesis of Agates and Amethyst Geodes. The Canadian Mineralogist. 2019. V.57(6), p. 867-883. DOI: 10.3749/canmin.1900028
4. Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивный метасоматоз и рудообразование: (Большое трещинное толбачинское извержение 1975–1976 гг. на Камчатке). Москва: Наука, 1983. 165 с.
5. Набоко С. И., Главатских С. Ф. Постэруптивное фторидное минералообразование // Постэруптивное минералообразование на активных вулканах Камчатки. Владивосток, 1992. Ч. 1. С. 65–91.
6. Савва Н.Е. О возможной природе сталактитоподобных образований в агатах Ольского плато. //Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2022, № 1, с. 31–39.
7. Седов Б. М. Верхне-Ольские агаты. – Магадан: Охотник, 2019. – 244 с.
8. Халцедоны Северо-Востока СССР / Гончаров В. И., Городинский М. Е., Павлов Г. Ф., Савва Н. Е., Фадеев А. П., Ворцепнев В. В., Гунченко Э. В. – М.: Наука, 1987. – 192 с.
9. Savva N. E. New Concept of Silica Source in Agates (Fluoride Model). Int J Environ Sci Nat Res: 2021; 28(1): 556226.05 DOI: 10.19080/IJESNR.2021.28.556226
10. Zenz J. Agates. Lauenstein, Germany: BODE. 2014. 656 p.

*Вещественный состав руд и рудовмещающих пород участка Северный в Зиаэтинском рудном поле (Узбекистан). Сайитов С.С.\* (ГУ «ИМП», Ташкент, sardorsayirov@gmail.com), Цой В.Д. (ГУ «ИМП», Ташкент, vtsoi@inbox.ru), Булин С.Е. (ГУ «ИМП», Ташкент, bulin.sergey.evgenovich@gmail.com), Расулов Ш.М. (ГУ «ИМП», Ташкент, shohruhrasulov2019@gmail.com), Печерский Р.Д. (ГУ «ИМП», Ташкент, russell.4ay@gmail.com), Халиков О.А. (ГУ «ИМП», Ташкент, okiljon.xalikov@mail.ru)*

## **Аннотация**

В статье приводятся результаты минералогических исследований руд и рудовмещающих пород участка Северный в Зиаэтинском рудном поле (Узбекистан). Цель исследований является изучение вещественного состава руд и рудовмещающих пород, выявление формы нахождения основных и попутных компонентов.

Поставленные задачи решались комплексом минералого-геохимических и химико-аналитических методов. В результате исследований определен химический и минеральный состав руд и рудовмещающих пород, форма нахождения ценных компонентов.

## **Ключевые слова**

Вещественный состав, золота, участок Северный, Зиаэтинское рудное поле, Узбекистан.

## **Источники финансирования**

Исследования были выполнены в рамках договора 1351/12-19 между АО «Узбекгеологоразведка» и ГУ «Институт минеральных ресурсов» в 2021 г.

## **Теория**

Золоторудный участок Северный расположен на территории Самаркандской области, в Зиаэтинском рудном поле. Зиаэтинское рудное поле расположено в Зиаэтинских горах на границе Зарафшано-Алайской и Зарафшано-Туркестанской структурно-формационных зон. Все известные в Зиаэтинском рудном поле месторождения, обособленные рудные тела и рудопроявления размещены в пределах северного крыла Катармайской антиклинали, внутри субширотной крутопадающей Каракутанской зоны глубинных разломов [2]. Наибольшие промышленные скопления золота зафиксированы в ее Кизибинской ветви, меньше – в Каракутанской и, в единичных случаях - в Северной ветви.

В пределах рудного поля распространена катармайская свита. Катармайская свита представлена следующими породами: кристаллическими сланцами кварц-альбит-слюдистыми, графитистыми, углистыми, актинолитовыми, кварцитами, мраморами, амфиболитами. Мощность ~ 2500м [4].

Основными рудовмещающими породами на золоторудных месторождения рудного поля являются углисто-слюдисто-полевошпат-кварцевые алевросланцы,

метапесчаники углисто-кварцевые с прожилками, гнездами карбоната, углисто-полевошпат-кварцевые алевропсаммиты, кварц жильный, эффузивные образования основного состава, алевропсаммиты серицит-хлорит-полевошпат-кварцевого состава. Эффузивные породы по химическому составу представлены андезибазальтами [3].

В результате полевых наблюдений и микроскопических изучений прозрачных шлифов на участке Северный установлены следующие типы пород: алевросланец, псаммоалевролит, метасоматиты, алевролит, алевропесчаник, кварцит, дайка лампрофиоров, метаэффузивы, диоритовый порфирит, жильный кварц.

По данным силикатного анализа, руда и рудовмещающие породы участка Северный алюмосиликатного состава. Содержание кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) в проанализированных пробах колеблется от 62,0% до 76,70%. Глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) составляет 8,44-13,50%. Содержание  $\text{CaO}$  до 4,33%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  до 4,50%,  $\text{FeO}$  до 2,74%. Сумма щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) составляет 1,95-3,10%. Содержание  $S_{\text{общ}}$  до 2,84%.

Содержание рудных минералов в аншлифах составляет от единичных зерен до 35-40%. Преобладают аншлифы с содержанием рудных минералов 2-7%. Текстура руд вкрапленная, прожилково-вкрапленная, прожилковая, гнездовая, массивная, прожилковая, порошковидная, каемчатая. Рудные минералы в аншлифы отмечаются в виде отдельных вкраплений, а также образуют агрегативные сростки. Структура руд тонко-, мелкозернистая, крупнозернистая, неравномерно зернистая, идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая. Часто рудная минерализация развивается по сланцеватости пород.

В результате минералогического анализа установлены около 50 минералов в составе руд и рудовмещающих пород участка Северный. Минералы подразделены на группы – широко распространенные, минералы средней распространенности и мало распространенные (табл. 1).

**Таблица 1.** Минеральный состав руд участка Северный

Распространение	Породообразующие	Рудные основные (Au, Ag) и сопутствующие	Гипогенные
<b>Широко-распространенные (главные)</b>	Кварц, полевой шпат, серицит, биотит, хлорит, амфибол, кальцит	Пирит, арсенопирит, золото самородное, электрум, серебро самородное, сульфоантимониды серебра, пирротин, халькопирит	Гетит, лимонит (охры), скородит, ярозит, глинистые минералы,
<b>Распространенные локально</b>	Калиевый полевой шпат, мусковит, железистый карбонат, углистое вещество	Сфалерит, галенит, блеклая руда, самородное железо, вольфрамит, молибденит, шеелит, теллуrowисмутит, $\text{CuNi}$ , $\text{FeNi}$ и др. соединения	Ковеллин, халькозин, медная зелень, гематит
<b>Акцессорные (обломочные)</b>	Циркон, шпинель, ксенотим, гранат, монацит, апатит	Ильменит, рутил, магнетит	Барит

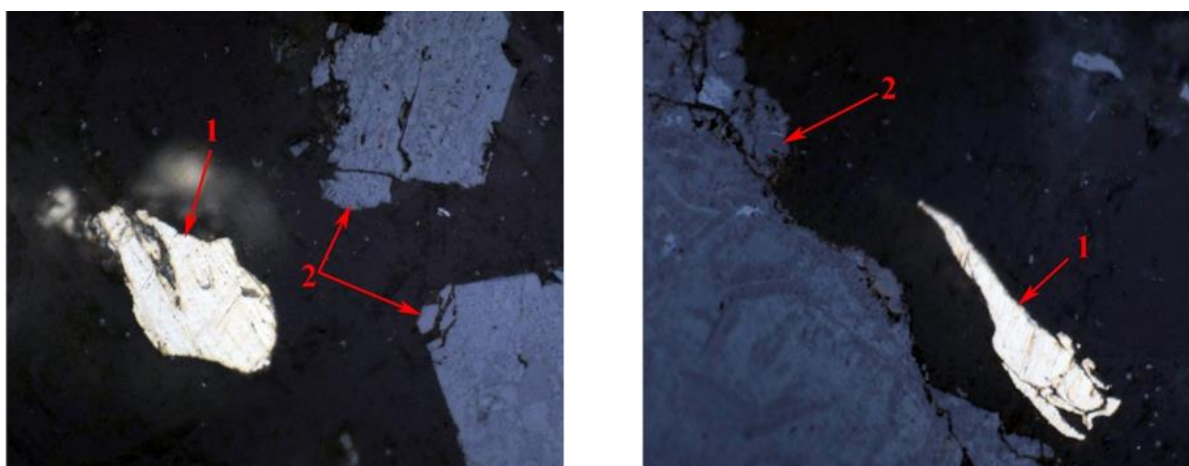
Кварц, полевой шпат, серицит, биотит, хлорит, амфибол, кальцит являются основными нерудными минералами. В подчиненном количестве отмечаются калиевый полевой шпат, мусковит, железистый карбонат, углистое вещество.

В группу главных рудных минералов входят пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, гидроксиды железа. Гидрооксиды железа в основном присутствуют в зоне окисления. Золото самородное, электрум, самородное серебро, сульфоантимониды серебра также были отнесены к главным минералам, так как они являются минералами основных ценных компонентов руд. В группу минералов, средне распространенных попадают сфалерит, галенит, блеклая руда, вольфрамит, молибденит, шеелит, теллурувисмутит, ковеллин, халькозин, медная зелень, гематит и др.

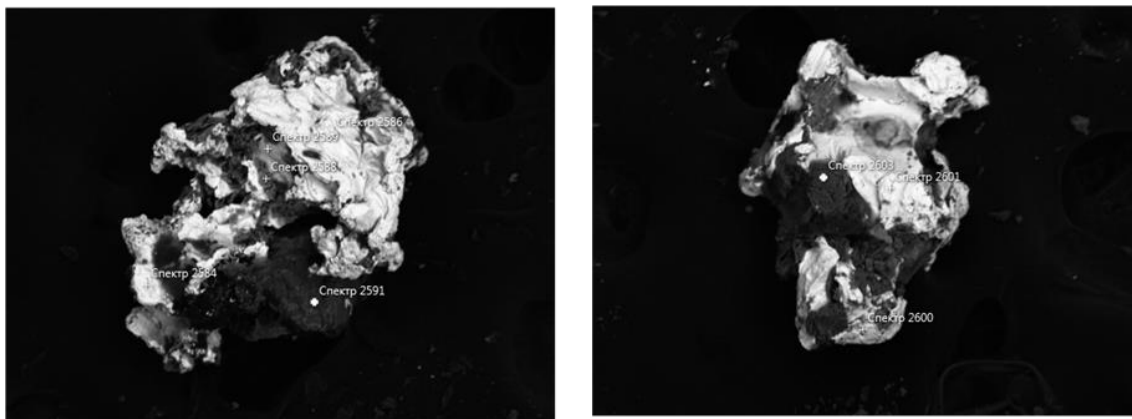
Золото самородное является основным ценным минералом в составе руд. Отмечается в концентратах в количестве от единичных знаков до 10 знаков. Установлено в основном в виде свободных зерен, редко в сростках с кварцем, гидроксидами железа, альбитом, КПШ, темноцветными минералами и др. (рис. 1-2). Иногда встречаются в виде тонких включений в гидроксидах железа, развиваются по трещинам основных рудных минералов. Форма зерен комковатая, изометричная, амебовидная, пластинчатая и др. Размеры зерен составляют от <0,003 мм до 0,5 мм. Самородное золото также установлено в сростке с самородным серебром.

Химический состав (пробность) самородного золота установлен рентгеноспектральным локальным анализом под электронным микроскопом: Au 68,65-94,52%; Ag 5,48-31,35%. По пробности самородное золото участка Северный относится к умеренно-высокопробному (800-899‰), редко высокопробному (900-950‰) группам по классификации Н.В. Петровской [1]. Также по данным рентгеноспектрального анализа установлен электрум. Химический состав электрума следующий (%): Au 37,52-47,49%; Ag 52,51-47,49%.

Наиболее широко распространенными парагенетическими минеральными ассоциациями (ПМА) являются халькопирит-пирротиновая и пирит-арсенопиритовая с золотом ПМА. Остальные имеют локальное распространение. Золотое оруденение связано в основном с пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА (пирит, арсенопирит, золото самородное), редко с золото-серебряной (золото самородное, электрум) и собственно-серебряной ПМА (серебро самородное, сульфоантимониды серебра, блеклая руда).



**Рисунок 1.** Свободное зерно самородного золота в брикете. вел. 1000х. без анализатора. Фотография в отраженном свете. 1-золото самородное, 2-гематит



№ пп	№ спектра	Минерал	Au	Ag	O	Si	Al	Na	Fe	K	Mg
1	2586	Золото	85,67	14,33							
2	2589	самородное	80,74	19,26							
3	2591	альбит			49,68	30,57	10,03	9,72			
5	2600	Золото	94,52	5,48							
6	2601	самородное	81,03	18,97							
7	2603	КПШ			48,99	23,59	16,31		1,76	7,94	1,40

**Рисунок 2.** Золото самородное в сростке с нерудными минералами. Фотография в отраженных электронах.

## Выводы

Таким образом, на основе выполненных минералогических работ были установлены около 50 минералов в составе руд и рудовмещающих пород участка Северный. Минеральная форма нахождения золота – самородное золото, электрум. По пробности самородное золото участка Северный относится к умеренно-высокопробному и высокопробному. Из минералов серебра установлено серебро самородное, сульфоантимониды серебра и электрум.

Золотое и попутное серебрянное оруденение связано с пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА, редко с золото-серебряной и собственно-серебряной ПМА (серебро самородное, сульфоантимониды серебра, блеклая руда).

## Библиография:

1. Петровская Н.В. Самородное золото. Изд. Наука, М., 1973, 347с.
2. Природные типы руд месторождения Янги-Давон // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент, 2011. - № 2. – С. 13-18.
3. Сайитов С.С., Печерский Р.Д. Вещественный состав руд и рудовмещающих пород участка Восточный месторождения Янги-Давон (Узбекистан) // Сборник тезисов докладов II Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. Москва, 2021. С.109-114.
4. Стратиграфический словарь Узбекистана / под ред. З.М. Абдуазимовой. – Т.: Гидроингео, 2001, - 580 с.

*Внемантийные генетические типы алмаза и перспективы камчатской алмазоносной провинции России. Силаев В. И. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, [silaev@geo.komisc.ru](mailto:silaev@geo.komisc.ru)), Карпов Г. А. (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, [karpovga@kscnet.ru](mailto:karpovga@kscnet.ru)), Аникин Л. П. (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, [alp@kscnet.ru](mailto:alp@kscnet.ru)), Филиппов В.Н. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН), Васильев Е.А. (Санкт-Петербургский Горный университет, [simphy12@mail.ru](mailto:simphy12@mail.ru)), Сухарев А. Е.\* (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, [sukharev@geo.komisc.ru](mailto:sukharev@geo.komisc.ru)), Хазов А. Ф. (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, [khazov@geo.komisc.ru](mailto:khazov@geo.komisc.ru))*

## Аннотация

Приводятся результаты исследований двух новых генетических типов алмазов, обнаруженных на Камчатке, образовавшихся во внемантийных условиях, на что указывает отсутствие в них признаков посткристаллизационного отжига с образованием агрегированных азотных дефектов. Первый из этих типов – толбачинский, определяется нами как вулcano-атмоэлектрогенный, образующийся непосредственно в вулканическом пепло-газовом облаке за счет глубинного метана в результате атмосферных электрических разрядов, обеспечивших соответствующие РТ-параметры. Второй генетический тип алмазов, образовавшийся на глубине в среде магматогенно-пневматолито-гидротермального рудного месторождения можно определить как внемантийно-туффизитовый.

## Ключевые слова

Камчатка, внемантийные алмазы, Трещинное Толбачинское извержение, Озерновское месторождение.

## Теория

Алмазы на Камчатке обнаруживаются едва ли не непрерывно уже в течение почти 50 лет. Основные вехи этой замечательной одиссеи связаны с именами Ф. Ш. Кутыева, А. И. Байкова, Б. К. Долматова, М. Г. Патоки, В. С. Шеймовича, Р. Л. Дунин-Барковского, Ф. В. Каминского, Л. П. Аникина, Г. А. Карпова, Л. П. Вергасовой, А. Г. Демина [3, 4, 6, 7, 12]. В настоящее время известны проявления алмазов в эксплозивных продуктах извержений по меньшей мере шести камчатских вулканов (Ича, Авача, Алмазный, Толбачинский (БТТИ и ТТИ-50), Ключевской, Корякский) и одного курильского (Алаид) [1, 9]. Кроме того, алмазы были обнаружены в связи с палеоценовым дунит-клинопироксенитовым массивом Филиппа, базальт-ультрабазитовым комплексом Карякско-Камчатского региона, Ольховской золото-платиновой россыпью. В 2015 г. алмазы были обнаружены и на Озерновском золоторудном месторождении в северной части Камчатки. Этот объект был открыт в 1971–1973 гг. как крупная вулcano-гидротермальная палеосистема, образовавшаяся по вулканической постройке, сложенной пикробазальтами, андезибазальтами, андезитами и инъецированными более поздними туффизитами. На весь этот комплекс магматитов были наложены оруденелые аргиллизиты монтмориллонитового, диккитового, пирофиллитового состава с золотом, серебром, самородными теллуrom и висмутом, Zn-Fe-Sb блеклыми рудами, Cu-Ag сульфосолями и весьма необычным вольфрамовым самородно-карбидным (система W–W<sub>2</sub>C–WC) оруденением [5]. Именно в тесном

парагенезис с последним и были обнаружены алмазы, прогнозные ресурсы которых оцениваются примерно в 10 млн карат<sup>2</sup>.

### Алмазы в продуктах вулканизма

Наиболее высокая алмазоносность вулканитов в настоящее время выявлена в связи с тефрой Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. [10, 11]. Алмазы размером  $(456 \pm 75) \times (414 \pm 78) \times (387 \pm 103)$  мкм плоскогранно-кубооктаэдрического габитуса (рис. 1) с аксессуарными гранями ромбододекаэдра {110}, тетрагонтриоктаэдра {311}, тригонтриоктаэдра {332}. Часть кристаллов представлено обломками. По окраске колеблется от бесцветных до зеленоватых. В монокристаллах выявлена зональная анатомия с октаэдрическим зародышем в центре и кубооктаэдрической оболочкой.



Рисунок 1. Морфология и размер толбачинских алмазов

На гранях наблюдаются пирамидальные ямки с индукционными поверхностями совместного роста. В спектре КР регистрируется сильная узкая линия при  $1332 \text{ см}^{-1}$ . В спектре ИК-поглощения в однофонной области наблюдаются две линии  $1130$  и  $1345 \text{ см}^{-1}$ , отвечающие азотным С-центрам (точечные дефекты) и линия  $1332 \text{ см}^{-1}$ , обусловленная С-дефектам, образованным ионами азота в положительном зарядовом состоянии. ИКС-линий, указывающих на присутствие азотных А и В1-дефектов, не обнаружено. Валовая концентрация структурного азота оценивается в 150–500 ppm, концентрация С-дефектов в форме  $\text{N}^+$  составляет 1–30 ppm. Кристаллы характеризуются жёлто-зелёной люминесценцией, в спектрах фотолюминесценции проявляются полосы с максимумами при 575 и 635 нм, которые приписываются центрам NV (С-дефекты). На поверхности кристаллов имеются пленки, сложенные фазами и минералами взрывного происхождения, безусловно доказывающими вулканогенное происхождение толбачинских алмазов: стеклофаза андезибазальт-андезитового состава; оливин  $(\text{Mg}_{1.82-1.86}\text{Fe}_{0.14-0.18})_2[\text{SiO}_4]$ ; халькокианит  $(\text{Cu}_{0.86-1}\text{Zn}_{0.02}\text{Ca}_{0-0.09}\text{Fe}_{0-0.01}\text{K}_{0-0.01})[\text{SO}_4]$ ; тенорит  $\text{CuO}$ ; бунзенин  $(\text{Ni}_{0.83-0.88}\text{Cu}_{0-0.13}\text{Mn}_{0.04-0.11}\text{Fe}_{0-0.04})\text{O}$ ; никелевый купорос  $\text{Ni}[\text{SO}_4]$ ; Fe-Cu-Ni манганит  $(\text{Mn}_{0.52}\text{Ni}_{0.23}\text{Cu}_{0.16}\text{Fe}_{0.13})\text{O}$ ; параатакамит  $(\text{Cu}_{1.92-1.95}\text{Zn}_{0.05-0.08})_2\text{Cl}_{1.02-1.24}\text{Br}_{0-0.05}[\text{SO}_4]_{0.03-0.13}(\text{OH})_{1.78-2.84}$ ; виллиманинит  $\text{CuS}_2$ , ассоциация металлических сплавов Fe-Ni-Mn-Co [8, 11]. Изотопный состав

<sup>2</sup> Петропавловск-Камчатский, 2.09.2015 г. Корр. ТАСС Елена Верещака: До 10 млн карат алмазов может содержаться в рудах Озерновского рудного поля на севере Камчатки. Об этом сообщила в среду пресс-служба компании «Сибирский горно-металлургический альянс» (СиГМА), которая занимается разработкой месторождения.



углерода в толбачинских алмазах варьируется в диапазоне  $-27 \dots -22 \%$ , с модой при  $-26 \dots -25 \%$ .

### Озерновские алмазы

На Озерновском месторождении алмазы концентрируются в весьма необычных медно-серебряно-вольфрамовых рудах, часто образуя тесные сростания с квансонгитом и самородным вольфрамом. Представлены желтовато-зеленоватыми плоскогранными кристаллами кубооктаэдрического габитуса с массой ямок и каверн разного происхождения. По размеру они в 2–2.5 раза крупнее толбачинских:  $(952 \pm 381) \times (911 \pm 365) \times (867 \pm 357)$  мкм.

Рамановская линия – при  $1332 \text{ см}^{-1}$ . В спектре ИК-поглощения в однофононной области наблюдаются две линии от С-центров – более интенсивная при  $1130$  и значительно менее интенсивная при  $1345 \text{ см}^{-1}$ . Зарегистрированы также линия при  $1332 \text{ см}^{-1}$ , обусловленная ионами азота в положительном зарядовом состоянии, и линии при  $3107$  и  $3237 \text{ см}^{-1}$ , которые приписываются водородным дефектам. Линий, соответствующих азотным В1-дефектам не обнаружено. Валовая концентрация структурного азота в форме С-дефектов оценивается в 100 ppm, кроме того выявлена незначительная (до 5 ppm) концентрация А-дефектов. В спектрах фотолюминесценции зарегистрированы полосы при 575 нм (центр NV) и 638 нм (NV<sup>-</sup>). На поверхности кристаллов выявлены многочисленные примазки минералов, характерных для вмещающей вольфрамовой руды: *самородный вольфрам*  $\text{W}_{0.8-0.91}\text{Cu}_{0.02-0.11}\text{Ag}_{0-0.1}\text{Ni}_{0-0.02}\text{Ti}_{0-0.02}\text{S}_{0-0.07}$  и *квансонгит*  $\text{W}_{1-1.1}\text{C}$  (система W–W<sub>2</sub>C–WC); *металлические сплавы*  $\text{W}_{0.04-0.75}\text{Cu}_{0.07-0.53}\text{Ag}_{0-0.72}\text{Ni}_{0-0.15}\text{Ti}_{0-0.09}\text{S}_{0-0.24}$  (система W–Cu–Ag–Ni); *сплавы*  $\text{W}_{0.44-0.55}\text{Ti}_{0.31-0.47}\text{Cu}_{0.03-0.13}\text{Fe}_{0-0.02}\text{S}_{0-0.02}$  (система W–Ti–Cu); *сплавы*  $\text{Cu}_{0.64-0.88}\text{Ni}_{0.01-0.21}\text{W}_{0.01-0.19}\text{Ag}_{0-0.06}\text{S}_{0-0.02}$  (система Cu–Ni–W–Ag); *джарлеит-спинокопит Ag-содержащий*  $(\text{Cu}_{1.26-1.93}\text{Ag}_{0-0.15})_{1.41-1.95}\text{S}$ ; ряд *джарлеит–аргентит*  $(\text{Cu}_{0.88-1.3}\text{Ag}_{0.46-0.93})_{1.84-187}\text{S}$ . По результатам анализа четырех кристаллов озерновские алмазы подразделяются на две углерод-изотопные популяции: 1) изотопно-легкую с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -23 \dots -20 \%$ ; 2) относительно изотопно-тяжелую с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -12 \dots -7 \%$ . Изотопные по последней популяции коррелируются с результатом анализа единичного озерновского кристалла, полученными П. Картины (Institut de Physique du Globe Paris, France) –  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -6.56 \pm 1.43 \%$ .

### Выводы

Обобщение результатов исследований приводит к выводу о выявлении на Камчатке двух новых генетических типов алмазов, образовавшихся во вмантийных условиях, на что указывает отсутствие в них признаков посткристаллизационного отжига с образованием агрегированных азотных дефектов (физический тип алмаза Ib). Первый из этих типов – толбачинский, определяется нами как вулканатоэлектрогенный, образующийся непосредственно в вулканическом пепло-газовом облаке за счет глубинного метана и в результате атмосферных электрических разрядов, обеспечивших соответствующие РТ-параметры. Второй генетический тип алмазов, образовавшийся на глубине в среде магматогенно-пневматолито-гидротермального рудного месторождения можно определить как вмантийно-туффизитовый, уже отмечавшийся на Енисейском кряже. В этом случае необходимые РТ-параметры могли быть обеспечены кавитацией. Все это подтверждает вывод В. К. Гаранина [2] о полигенности и дискретности природного алмазообразования, который сулит большие открытия. В этой связи уже в настоящее время можно констатировать открытие новой –

камчатской – промышленно перспективной алмазоносной провинции, с развитием, по крайней мере, двух внемантийных генетических типов алмазов.

### **Библиография**

1. Аникин Л.П., Силаев В.И., Чубаров В.М., Петровский В.А., Вергасова Л.П., Карпов Г.А., Сокоренко А.В., Овсянников А.А., Максимов А.П. Алмаз и другие аксессуарные минералы в продуктах извержения 2008–2009 г. Корякского вулкана (Камчатка) // Вестник Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 2. С. 18–27.
2. Гаранин В.К. Полигенность и дискретность – фундаментальные основы генезиса природного алмаза // Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов: Смирновский сборник-2017. М.: Макс-Пресс. 2017. С. 88–129.
3. Гордеев Е.И., Силаев В.И., Карпов Г.А., Аникин Л.П., Васильев Е.А., Сухарев А.Е. Об открытии и природе алмазов в вулканогенных породах Камчатки // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 4. С. 307–331.
4. Горшков А.И., Селиверстов В.А., Байков А.И., Аникин Л.П., Сивцов А.В., Дунин-Барковский Р.Л. Кристаллохимия и генезис карбонадо из меланократовых базальтоидов вулкана Авача на Камчатке // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 1. С. 54–66.
5. Дёмин А.Г. Озерновское месторождение как новый перспективный рудный объект Центральной Камчатки с комплексными рудами на золото, вольфрам, серебро и медь (своеобразие геологического строения, рудный потенциал, стратегия и методика изучения) // Золото и технологии. 2015. № 1. С. 100–106.
6. Дунин-Барковский Р. Л., Аникин Л. П., Васильев Г. Ф. Алмазы Камчатки // Горный вестник Камчатки, 2013. № 26. С. 57–61.
7. Кутыев Ф.Ш., Кутыева Г.В. Алмазы в базальтоидах Камчатки // Доклады АН СССР. 1975. Т. 221. № 1. С. 183–186.
8. Силаев В.И., Аникин Л.П., Карпов Г.А., Хазов А.Ф. Толбачинские алмазы (ТТИ-50, Камчатка) – новое доказательство вулканогенной природы // Вестник геонаук, 2023. № 2. С. 17.
9. Силаев В.И., Вергасова Л.П., Васильев Е.А., Карпов Г.А., Сухарев А.Е., Филатов С.К. Микропарагенезис алмаза и самородного алюминия в продуктах современного вулканизма // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 71–77.
10. Силаев В.И., Карпов Г.А., Аникин Л.П., Васильев Е.А., Вергасова Л.П., Смолева И.В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть I. Алмазы, углеродные фазы, конденсированные органоиды // Вулканология и сейсмология. 2019. № 5. С. 54–67.
11. Силаев В.И., Карпов Г.А., Ракин В.И., Аникин Л.П., Васильев В.А., Петровский В.А. Алмазы в продуктах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013, Камчатка // Вестник Пермского Университета. Геология, 2015. № 1. С. 6–27.
12. Шило Н.А., Каминский Ф.В., Лаврова Л.Д., Долматов Б.К., Плешаков А.П., Ткаченко Л.А., Шепелева К.А. Первая находка алмазов в ультрамафитах Камчатки // Доклады АН СССР. 1979. Т. 248. № 5. С. 1211–1214.

***Тонко вкрапленная акцессорная благороднометалльная минерализация рудопроявления Верхнее – Золотое (Приморье). Слостников В.В.\* (ООО «Теллур Северо-Восток», v\_slastnikov@mail.ru)***

### **Аннотация**

Проведено микрозондовое исследование коллекции образцов вулканитов среднего состава с вкрапленной сульфидной минерализацией с рудопроявления Верхнее-Золотое (Приморье). Цель исследования — изучить особенности распределения тонковкрапленных фаз самородных благородных металлов — золота и серебра и их приуроченность к отдельным ассоциациям сульфидов.

Самородные благородные металлы ассоциируют с пиритом, пирротинном, арсенопиритом и халькопиритом, сфалеритом (только серебро) — такая ассоциация известна по среднетемпературным полиметаллическим золотоносным жилам, диапазон глубин и температур образования которых пересекается с таковыми для вторичных кварцитов.

### **Ключевые слова**

Верхнее-Золотое, Приморье, золото самородное, серебро самородное.

### **Теория**

Верхнее-Золотое медно-полиметаллическое рудопроявление локализовано в Главном синклинии Сихотэ-Алиня на территории Звёздного рудного узла Арминского рудного района. Рудопроявление относится к колчеданному (VHMS) типу. Рудовмещающая толща представляет часть вулканической постройки, сложенной эффузивами среднего состава, накопление которых шло предположительно в субаквальных условиях мелкого моря [1]. Благороднометалльная минерализация является акцессорной.

Компанией N-Mining LLC в 2014 году была дана возможность отбора каменного материала из архивных половинок керна. Из отобранных автором 38 образцов из рудных и потенциально рудных зон по 4 скважинам, пересекающим наиболее представительный разрез были изготовлены шлифы и аншлифы по одному на образец с максимально возможным перекрытием доступной исследованию площади. Петрографическое и минералогическое изучение руд и вмещающих пород позволили уточнить состав вулканогенной толщи, тип, степень вторичных изменений; определить состав и очередность образования прожилков и генераций минералов в них (см. [3]).

Исследование было проведено с использованием настольного сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM3000 с приставкой энергодисперсионного анализа OXFORD для всех 38 аншлифов. Основной решаемой с использованием данного оборудования задачей было диагностирование минерального состава тонкой рудной и акцессорной вкрапленности, представленной как полиметаллической сульфидной минерализацией, так минералами вольфрама, олова, самородными благородными металлами. Проведена съёмка 797 точечных спектров с последующим расчётом химических формул проанализированных минералов. Золото самородное описано в зальбанде кварцевого прожилка в единичном ксеноморфном вкраплении в пирите (рис.

1), центральная часть рудопоявления, абс.отм. 1136,6 м. Размер включения составляет первые микрометры. Сульфидная минерализация в данном аншлифе отлична от типичной для рудопоявления пирит-халькопиритовой, представлена пиритом, реальгаром и пирротинном.

Серебро самородное описано в метасоматитах кислого состава по туфам с наложенной сульфидной минерализацией в центральной части рудопоявления на абсолютных отметках от 800 м до 1000 м в ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. Дендриты серебра образуют структуры вставания в раздробленном кристалле халькопирита (рис. 2), тонкую вкрапленность ксеноморфных кристаллов диаметром до 10 мкм в породе с пиритом, халькопиритом, галенитом и монацитом, в виде примеси в галените.

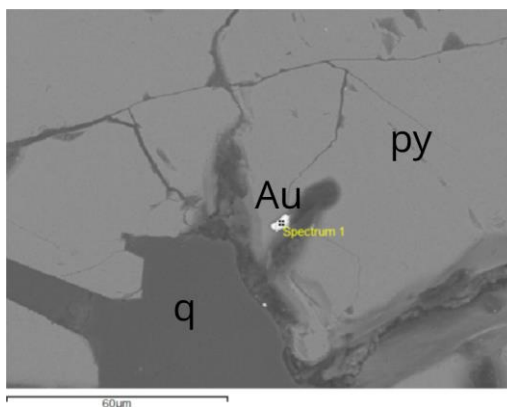


Рисунок 1. Самородное золото (Au) в пирите (py) с кварцем (q).

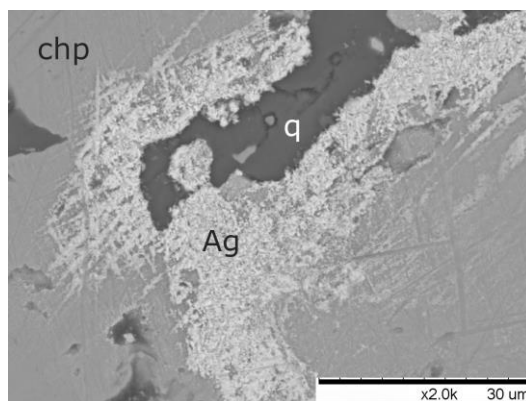


Рисунок 2. Самородное серебро (Ag) в халькопирите (chp) с кварцем (q).

Образование мелких включений золота, серебра, как и прочих аксессуаров, шло вместе с образованием вкрапленных и прожилково-вкрапленных сульфидных руд — продукта циркуляции растворов или флюидов в трещиноватой толще эффузивных пород вулканической постройки. Исследование тонкозернистых агрегатов рудных сульфидов показало, что они являются частью более крупной сульфидной вкрапленности в прожилках и вмещающей породе. Ассоциации благородных металлов с сульфидами следующие: серебро с пиритом, халькопиритом, сфалеритом и арсенопиритом, золото — с пиритом и арсенопиритом. Таким образом, возможно выделить две ассоциации сульфидов: благороднометалльную Au/Ag — пирит —

пирротиную с арсенопиритом и полиметаллическую — пирит — сфалерит — халькопиритовую.

Примечательна форма выделения серебра: скелетные кристаллы. Вростки их в арсенопирите хорошо маркируют одновременность их образования. Следует отметить, что ассоциация «пустого», вероятно метасоматического пирита во вмещающей ассоциацию вкрапленных халькопирита, сфалерита, галенита и, в некоторых образцах, арсенопирита породе, указывает на то, что исследованные образцы отобраны в субэпитермальной зоне прожилкования [6; 8], которая может соответствовать как краевой части порфировой системы, так и зоны прожилково-вкрапленного колчеданного оруденения. Последним может быть объяснено крайне малое для порфировой системы количество благородных металлов. Нахождение самородного золота и серебра в виде вкрапленности во вмещающей породе, но не прожилках, позволяет заключить, что воздействие содержащего их флюида или раствора на вмещающие кислые метасоматиты по туфам среднего состава было длительным и глубоким. На то же указывают «смазанные» границы прожилков [4].

Примечательно выделение золота в самородном виде, а не в составе сульфидов, как можно было ожидать по [5; 9]: микронзондовые анализы химического состава сульфидов (72% от общего количества) не показали вхождения золота в их состав. Это указывает на его транспортирование флюидом [7] и отложение отдельно от сульфидной минерализации.

Описанные ассоциации благородных металлов известны по среднетемпературным полиметаллическим золотоносным жилам, диапазон глубин и температур образования которых пересекается с таковыми для вторичных кварцитов [2]. Ассоциация арсенопирита и пирротина представляет редкость для изученной части рудопроявления (менее 1% из описанных интервалов по керну), что указывает на локальность и, возможно одноактность её появления. Приуроченность рудной сульфидной минерализации к участкам пород, в той или иной степени серицитизированных и окварцованных, пронизанных кварцевыми, сульфид-кварцевыми прожилками, указывает на её вероятную связь с процессами кислотного выщелачивания.

## **Выводы**

Результаты проведённого исследования позволяют с достаточной степенью уверенности выдвинуть гипотезу о том, что благороднометалльная минерализация связана, возможно — сингенетична, с арсенопиритом. Малая распространённость последнего указывает на специфичность условий его образования (вероятно, субэпитермальной зоны прожилкования) для рудопроявления.

## **Благодарности**

Выражаю глубокую благодарность коллективам кафедры Геологии месторождений полезных ископаемых Горного Университета, г. Санкт-Петербург и Ресурсного центра микроскопии и микроанализа Научного парка СПбГУ, г. Санкт-Петербург где проводились исследования, руководству компании N-Mining LLC за предоставленные образцы и данные.

## **Библиография**

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1 и 2. 981 с. + цв. Карта.
2. Дворник Г.П. Виды метасоматических пород: температурные условия образования, особенности состава, минерагения // Известия УГГУ. 2020. Вып. 1(57). С. 63-72. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-1-63-72.
3. Слостников В.В. Минерагенический тип рудопроявления Верхнее-Золотое: результаты петрографического исследования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 10. С. 283–303. ISSN 0236-1493.
4. Berger B.R. et al. Preliminary model of porphyry copper deposits: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1321 // USGS. 2008. 55 p.
5. González-Jiménez J.M. et al. Mechanisms for Pd-Au enrichment in porphyry-epithermal ores of the Elatsite deposit, Bulgaria // Journal of Geochemical Exploration. 2021. Vol. 220. 106664. DOI: 10.1016/j.gexplo.2020.106664.
6. Hedenquist J.W., Richards J. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits // Reviews in Economic Geology. 1998. Vol.10. P. 235-256. DOI: 10.5382/Rev.10.10.
7. Orlandea E., Şerban-Nicolae V. A novel conceptual model of intrusion related gold bearing systems and exploration tools // Studia UBB Geologia. 2020. Vol. 63. No 1. P. 1–12. DOI: 10.5038/1937-8602.63.1.1304.
8. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems. Economic geology. 2010. Vol.105. P. 3–41. DOI: 10.2113/gsecongeo.105.1.3.
9. Zhao Y. et al. Discussion on Au transportation mechanism in melt-magma-fluid in porphyry Cu deposit – A case study from Jinchang porphyry Au (Cu) deposit, Heilongjiang province, China // Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 111. Iss. 102968. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.102968.

**Изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в речной воде Южного Урала. Окунева Т.Г. \* (ИГГ УрО РАН, [okunevatatjana@mail.ru](mailto:okunevatatjana@mail.ru)), Киселева Д.В. (ИГГ УрО РАН), Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН)**

### Аннотация

Изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  широко используются для выявления источников стронция и исследования его поведения в (био)геохимических циклах, а в поверхностных водах они могут отражать усредненный состав биодоступного стронция на конкретной территории водосбора. Целью работы являлось исследование изотопных отношений стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в воде ряда рек Южного Урала. Впервые в поверхностной воде ряда рек Южного Урала (Урал, Белая, Тобол, Карагайлы-Аят, Сим и др.) определены изотопные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и проанализированы их вариации. Для рек бассейна р. Урал значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  варьируются в диапазоне 0.70666–0.71063 (среднее 0.70908), для бассейна р. Кама – 0.70749–0.71058 (среднее 0.70924), для бассейна р. Тобол – 0.70946–0.71176 (среднее 0.71071). Подобные особенности изотопного состава стронция могут быть обусловлены типом подстилающих горных пород водосбора, дренируемых речной водой. Полученные данные могут быть использованы для выявления источников поступления стронция в водную систему при гидрологических и экологических исследованиях, для подтверждения аутентичности пищевых продуктов растительного и животного происхождения, для проведения сопоставлений при исследованиях миграций древних людей и животных, а также для определения сырьевых ареалов для производства растительного и шерстяного текстиля, деревянных изделий в древности.

### Ключевые слова

Изотопные отношения стронция, биодоступный стронций, речная вода

### Источники финансирования

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-18-00593.

### Теория

Радиогенные изотопные отношения стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  широко используются для выявления источников стронция и исследования его поведения в (био)геохимических циклах. Изотопные отношения стронция в поверхностных водах малых водотоков могут отражать усредненный состав биодоступного стронция на конкретной территории водосбора, в отличие от водотоков крупных рек, усредняющих изотопно-геохимические данные с больших площадей [6]. Поскольку вода имеет четко идентифицируемое и подтвержденное происхождение и отражает фоновые величины биодоступного стронция с большей хронологической устойчивостью, она может давать более точную картину биодоступных геохимических трассеров в древности даже по сравнению с современной или археологической фауной [1; 6]. Уральский регион, протянувшийся между Восточноевропейской и Западно-Сибирской равнинами, является уникальным комплексным геологическим, географическим, историческим и экономическим объектом. Вариативность уральской горной системы будет отражаться и в изотопных отношениях стронция, что позволит с достаточно высокой точностью

определить локальные метки биодоступного стронция. Цель работы – исследование изотопных отношений стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в воде ряда рек Южного Урала (Урал, Белая, Сим, Тобол и др.).

## Материалы и методы

Образцы речной воды были отобраны (рис. 1) на территориях Оренбургской и Челябинской областей и Республики Башкортостан. Для сопоставительных целей приведены данные по рекам Яндырка, Акмулла, Журумбай и Карагайлы-Аят, полученные ранее [4]. Образцы отбирали в полипропиленовые пробирки объемом 50 см<sup>3</sup>, консервировали 1 см<sup>3</sup> дважды перегнанной концентрированной азотной кислоты HNO<sub>3</sub>. Измерения проведены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) в блоке чистых помещений (классы 6 и 7 ИСО). В образцах воды проводили определение содержания Sr методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре NexION 300S в режиме количественного анализа. Исходя из полученных содержаний, рассчитывали коэффициенты упаривания для хроматографического выделения стронция из воды. Хроматографическое выделение стронция на смоле SR (Triskem) проведено по одностадийной схеме [3]. Измерения изотопного состава стронция проводили на магнитосекторном мультиколлекторном масс-спектрометре с двойной фокусировкой с индуктивно-связанной плазмой (МК-ИСП-МС) Neptune Plus. Для контроля измерений изотопного состава стронция использовали изотопный стандарт NIST SRM 987.

## Результаты и обсуждения

На рис. 1 представлена топографическая карта Южного Урала с речной системой и точками отбора проб. Результаты определения содержания стронция (мг/л) и изотопных отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в исследованных пробах приведены на рис. 2. Незначительные вариации изотопного отношения и содержания стронция в воде р. Урал в пределах от г. Магнитогорска до г. Орска связаны с привносом материала различающимися по геохимическому составу левыми и правыми притоками, берущими начало в различных геолого-геодинамических блоках Южного Урала (рис. 2, а). Вода рек Большая Караганка и Утяганка характеризуются довольно высоким содержанием стронция (1.0–1.2 мг/л) и изотопными отношениями 0.70928–0.70976. Данные реки вносят большой вклад в повышение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношения и содержания стронция при впадении в р. Урал выше устья Ириклинского водохранилища. Река Белая опробована в ее южной части в районе карстовой пещеры Шульган-Таш – широкоизвестного объекта карстоведческих и археологических исследований. Пещера заложена в толще пелитоморфных серых известняков верхнего девона и нижнего карбона ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.70873–0.71034 [5]). Несмотря на то, что образцы из рек Белая и Сим отбирались в районах распространения карбонатных толщ девона – карбона, они несут в себе существенные метки от древних докембрийских толщ ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  более 0.710, рис. 2, б). Река Ик и ее приток р. Булатовка (через левый приток р. Тирус) – река в Башкортостане, Татарстане и Оренбургской области, левый приток р. Камы. Протекает в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, в основном вскрывает отложения казанского яруса верхнепермского периода (значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.70727–0.70745). По содержанию стронция и его изотопному отношению реки довольно контрастны (4.4 мг/л Sr при  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношении 0.70749 для р. Ик и 0.39 мг/л Sr при  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношении 0.70903 для р. Булатовка). Высокие радиогенные значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в реках Тобол, Иртыш, Карагайлы-Аят (рис. 2, в) могут быть обусловлены высокими



изотопными отношениями стронция в породах, корах выветривания и почвах в пределах водосбора

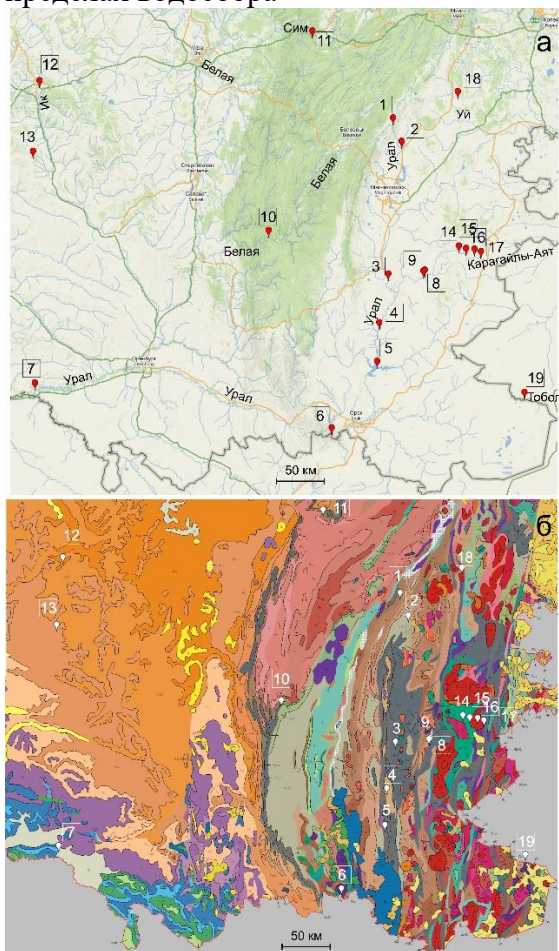


Рисунок 1. Топографическая карта Южного Урала с речной системой

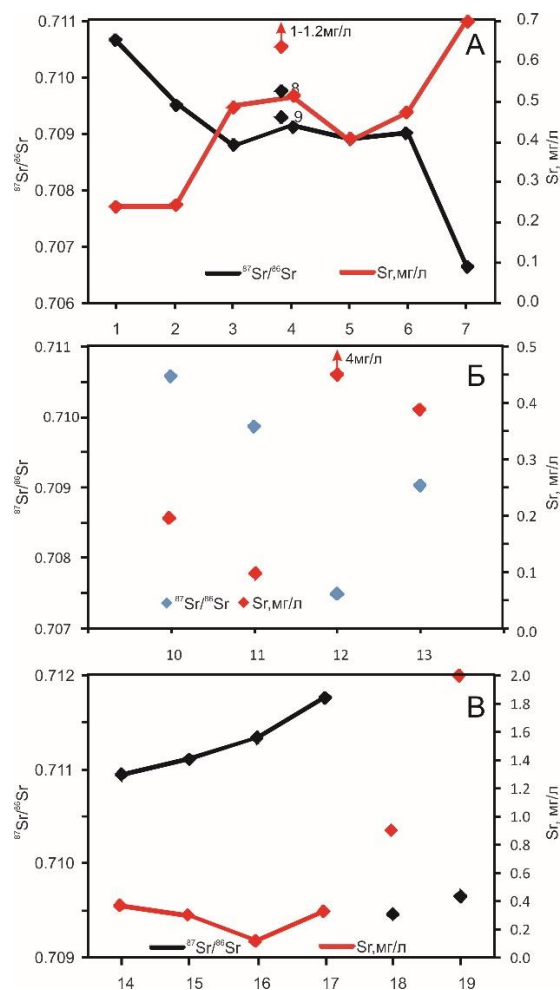


Рисунок 2. Вариации содержаний стронция (мг/л) и отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в водах рек, относящихся к бассейнам р. Урал (а), Кама (б), Тобол (в). Соединенные точки соответствуют течению реки от истока к устью.

исследуемых рек: граните Варшавского массива (0.71564), граните Неплюевского массива (0.80755) и кварцитосланце из района д. Коноплянка (0.75355) [4]. Река Иматка (рис. 2, в) характеризуется относительно низкими значениями  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  при повышенных содержаниях стронция, что может быть связано с мантийной природой Вандышевского массива ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.705497–0.707966 для однотипного и одновременного Степнинского массива [2]), в отличие от гранитоидов Варшавского и Неплюевского массивов ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.70670– 0.71625, которые имеют повышенную континентальную составляющую [7]). На примере крупной р. Урал, пересекающей множество геолого-геохимически разнообразных структур, показаны вариации значений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношений в широком диапазоне и сильное влияние бассейна водосбора. В пределах Оренбургской и Челябинской областей намечается тренд увеличения среднего значения отношений изотопов стронция в речной воде с запада на восток. Подобные вариации обусловлены типом подстилающих горных пород водосбора, дренируемых речной водой.

## Выводы

Впервые в поверхностной воде ряда рек Южного Урала (реки Урал, Белая, Тобол, Карагайлы-Аят, Сим и др.) и дренируемых ими породах водосбора (карбонатные толщи по берегам рек Белая, Сим и пермских песчаников Бугульминско-Белебеевской возвышенности) определены изотопные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и проанализированы их вариации. Для рек бассейна р. Урал значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  варьируются в диапазоне 0.70666–0.71063 (среднее 0.70908), для бассейна р. Камы – 0.70749–0.71058 (среднее 0.70924), для бассейна р. Тобол – 0.70946–0.71176 (среднее 0.71071). Полученные данные могут быть использованы для выявления источников поступления стронция в водную систему при гидрологических и экологических исследованиях, для подтверждения аутентичности пищевых продуктов растительного и животного происхождения, для проведения сопоставлений при исследованиях миграций древних людей и животных, а также для определения сырьевых ареалов для производства растительного и шерстяного текстиля, деревянных изделий в древности.

### Библиография

1. Frei K.M., Frei R., 2010. The Geographic Distribution of Strontium Isotopes in Danish Surface Waters – A Base for Provenance Studies in Archaeology, Hydrology and Agriculture. *Applied Geochemistry* 26 (3), 326–340
2. Bea F., Fershtater G.B., Montero P., Smirnov V.N., Molina J.F., 2005. Deformation-Driven Differentiation of Granite Magma: The Stepninsk Pluton of the Uralides, Russia. *Lithos* 81, 209–233
3. Kasyanova A.V., Streletskaya M.V., Chervyakovskaya M.V., Kiseleva D.V., 2019. A Method for  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Isotope Ratio Determination in Biogenic Apatite by MC-ICP-MS Using the SSB Technique. *AIP Conference Proceedings* 2174, 020028
4. Kiseleva D.V., Shagalov E.S., Zaitseva M.V., Streletskaya M.V., Karpova S.V., 2018. Isotope-Geochemical (Sr, Pb) Study of the Section of the Soil and Plant Layer in the Area of Archaeological Sites of the Bronze Age in the Southern Urals. *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy* 10, 37–41 (in Russian) [Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Зайцева М.В., Стрелецкая М.В., Карпова С.В. Изотопно-геохимическое (Sr, Pb) исследование разреза почвенно-растительного слоя в районе археологических памятников эпохи бронзы на Южном Урале // *Геоархеология и археологическая минералогия*. 2018. Т. 5. С. 37–41].
5. Kiseleva D.V., Shagalov E.S., Chervyatsova O.Ya., Okuneva T.G., Soloshenko N.G., 2020. Sr Isotope Ratios in the Water-Rock System of the Shulgan-Tash (Kapova) Cave. *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS* 17, 260–264 (in Russian) [Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Червяцова О.Я., Окунева Т.Г., Солошенко Н.Г. Изотопные отношения стронция в системе вода-порода пещеры Шульган-Таш (Капова) // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2020. Т. 17. С. 260–264].
6. Scharlotta I., Weber A., 2014. Mobility of Middle Holocene Foragers in the Cis-Baikal Region, Siberia: Individual Life History Approach, Strontium Ratios, Rare Earth and Trace Elements. *Quaternary International* 348, 37–65.
7. Тевелев А.В., Кошелева И.А., Попов В.С., Кузнецов И.Е., Осипова Т.А., Правикова Н.В., Вострецова Е.С., Густова А.С. Палеозойды зоны сочленения Восточного Урала и Зауралья // *Труды лаборатории геологии складчатых поясов* / Ред. А.М. Никишин. М.: Изд-во МГУ, 2006. Вып. 4. 300 с.

*Новая версия возникновения уникальной формы алмаза «Матрёшка» из коллекции компании «АЛРОСА». Павлушин А.Д.\* (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, [pavlushin@diamond.ysn.ru](mailto:pavlushin@diamond.ysn.ru)), Коногорова Д.В. (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, [diana-perm@mail.ru](mailto:diana-perm@mail.ru))*

#### **Аннотация**

Уникальность алмаза «Матрешка» найденного в России заключается в том, что в его полости наподобие погремушки заключен еще один свободно перемещающийся алмаз. Анализ аналогичных форм алмаза из различных источников и других регионов Мира показал, что все необычные находки кристаллов с заключенными в полость включениями алмаза также как алмаз «Матрешка» являются двойниковыми сростками октаэдрических кристаллов. Новой онтогенической моделью образований типа «матрешка» является эффект захвата алмазного включения препятствующего ускоренному росту закономерного сростка кристаллов алмаза в направлении двойниковой границы и возникновению вокруг него футляровидной полости.

#### **Ключевые слова**

алмаз «Матрешка», шпинелевый двойник, футлярообразный кристалл

#### **Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках темы НИР ИГАБМ СО РАН и учебного плана аспиранта геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Алмаз «Матрешка» найденный в 2019 году при разработке АК «АЛРОСА» тр. Нюрбинская получил мировую известность как уникальный случай нахождения кристалла алмаза в полости другого более крупного индивида по принципу строения русской деревянной игрушки. Согласно основной гипотезе возникновения его необычной формы опубликованной после тщательно изучения алмаза в нью-йоркской лаборатории Геммологического института Америки GIA (Quick, 2019; Wang e. a. 2020; Fritsch, 2021), ранее между внутренним алмазом и алмазным футляром существовала волокнистая прослойка алмаза, а их рост происходил последовательно, слой за слоем, образуя зональную форму. Затем, на заключительном этапе, волокнистая зона была растворена путем проникновения флюида внутрь алмаза через тонкие (порядка 0.2-0.3 мм) отверстия, обнаруженные в футляре. Однако этим выводам противоречил ряд наблюдений, позволяющих говорить о том, что внутренний алмаз и футляр продолжительное время росли одновременно, соприкасаясь друг с другом (Коногорова и др., 2019). Об этом свидетельствовало наличие на стенке футляра и алмазном ядре идентичного как отпечаток рисунка индукционной штриховки (рисунок 1). Кроме того отмечено, что на внутренней поверхности полости и находящемся в нем кристалле практически отсутствуют следы растворения, которое, как предполагается, уничтожило ранее существовавшую пористую зону, благодаря растворам проникшим через отверстия в алмазе (Wang e. a. 2020), что также противоречит гипотезе высказанной самими авторами.



**Рисунок 1.** Алмаз «Матрешка» (оптическая микроскопия) и совмещение отпечатков индукционной штриховки на внутренней поверхности полости и содержащемся в ней алмазе для восстановления первоначальной позиции алмазного включения выполненное с помощью рентгеновского микротомографа Sky Scan 1272 (Коногорова и др. 2020).

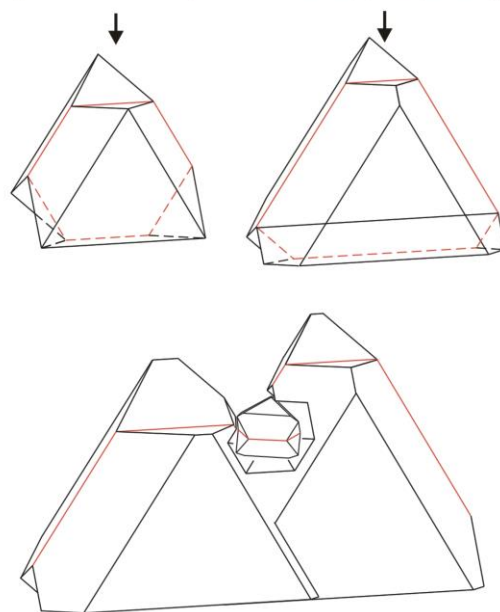
По восстановленному прежнему положению алмаза-узника в футляре можно заключить, что захваченный кристалл препятствовал развитию вмещающего алмаза расположившись на фронте роста его двойниковой границы (рисунок 1). В месте его захвата двойниковым сростком образовался входящий угол сложенный гранями октаэдра постепенно оформившийся в полость ограниченную кристаллографическими поверхностями роста. Свободно перемещаться кристалл внутри алмаза стал лишь после его отрыва от внутренней поверхности полости футляра вдоль индукционной границы срастания, что обычно легко происходит между кристаллами совместного роста.

Полость между стенками футляра и алмазом была заполнена матийными сульфидами, о чем свидетельствуют включения, обнаруженные в области двойникового шва пересекающего футляр «Матрешки». Их уничтожению и удалению из полости могли способствовать перепады давления и термохимическая обработка в агрессивных кислотах в процессе обогащения концентрата.

В 2022 году из тр. Нюрбинская ожидаемо извлечен новый «алмаз-матрешка» (рисунок 2), точнее его прототип, отражающий все подробности образования оригинального кристалла типа «matcle». Треугольная вершина шпинелевого двойника с входящим зеркальным углом на границе двойникования по (111) имеет глубокую выемку с нависающими над ней краями в которой заключен двойниковый сросток кристаллов алмаза, имеющий возможность, не выпадая, перемещаться в пространстве впадины. Найденный экземпляр прекрасно демонстрирует процесс захвата незаконномерно ориентированного индивида алмаза кристаллом (рисунок 2).

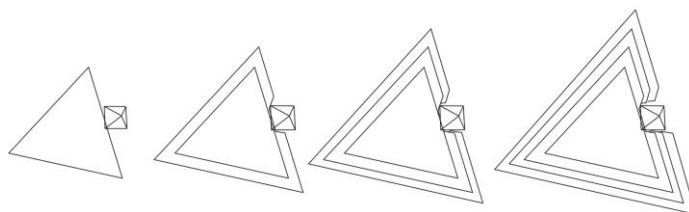


направление роста входящего угла



**Рисунок 2.** Прототип алмаза типа «матрешка» из тр. Нюрбинская в виде шпинелевого двойника с мелким двойниковым сростком который свободно перемещается в открытой полости алмаза. Модель его захвата фронтом роста двойниковой границы пролегающей на месте входящего угла образованного гранями октаэдра (Павлушин, Коногорова, 2023).

Кроме описанных в статье (Павлушин, Коногорова, 2023) пяти новых и ранее известных находок включений алмаза, содержащихся в открытых полостях сдвойникованных кристаллов типа “macles”, обнаружен еще один пример подобного алмаза из тр. Удачная (рисунок 3). Он полностью соответствующий изложенной модели захвата включения двойниковой границей в направлении внешнего угла образованного октаэдрическими сегментами двойникового сростка (рисунок 3). Помимо включений алмаза, известен эффективный захват включений двойниковой границей шпинелевых двойников октаэдрических кристаллов алмаза граната, оливина, и другими минералами сингенетическими алмазу (Павлушин, Соболев, 2017; Соболев и др., 2020). Известно, что границы двойникования служат непрерывным генератором новых слоев роста, превосходя в скорости развития другие направления и грани алмаза, благодаря чему его контактные шпинелевые двойники обычно приобретают в ходе кристаллизации резко уплощенную форму. Таким образом, двойник захватывает более мелкий индивид, оказавшийся на пути роста плоскости двойникования, огибая его границы новыми тангенциальными слоями роста граней октаэдра. Возникновение полости в кристалле происходит за счет препятствующего его росту индивида и постепенно вокруг захваченного кристалла образуется футлярообразная ограниченная кристаллическая постройка, которая также быстро замыкает пространство в направлении ускоренного роста двойниковой границы неуспевающую зарости алмазом камеру содержащую алмаз-узелок. Далее диффузия в полости футлярообразного двойника прекращается, и дальнейшее ее зарастание становится невозможным.



**Рисунок 3.** Шпинелевый двойник с открытой полостью содержащий кристалл алмаза (0.99 ct) из трубки Удачная (фото из открытых источников © Rob Lavinsky & irocks.com) и опубликованная модель захвата включения алмаза границей двойникования в направлении двугранного угла (Павлушин, 2023).

### Библиография

1. Коногорова Д.В., Ковальчук О.Е. (2020) Уникальный алмаз из трубки Нюрбинская // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 25(2). С. 45-55.
2. Павлушин А.Д., Коногорова Д.В. (2023) Кристаллогенетические предпосылки возникновения уникальной формы алмаза “Матрешка” – эффект захвата алмазного включения двойником кристаллов алмаза // Геохимия, Т. 67. №3. С. 1-14.
3. Павлушин А.Д., Соболев Н.В. Морфология сингенетичных включений оливина и граната в шпинелевых двойниках алмаза // Материалы Юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО», С-Петербург, 2017. Том 1. С. 92-94.
4. Соболев Н.В., Сереткин Ю.В., Логвинова А.М., Павлушин А.Д., Угапьева С.С. Кристаллографическая ориентировка и геохимические особенности минеральных включений в алмазах // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 5-6. С. 774-793.
5. Fritsch E. (2021) Revealing the formation secrets of the Matryoshka diamond. The Journal of Gemmology, 37(5), 528-533.
6. Quick, D. (2019) World-first “Matryoshka diamond” found in Russia. *New Atlas*, accessed 15 December 2020.
7. Wang, W., Yazawa E., Persaud S., Myagkaya E., D’Haenens-Johansson U., Moses T.M. (2020). Lab Notes: Formation of the “Matryoshka” diamond from Siberia. *Gems & Gemology*, 56(1), 127–129.

*Изотопное исследование свинца в самородной меди и медных рудах различных генетических типов месторождений и создание базы данных сырьевых источников металлов в древности. Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН, УГГУ), Солошенко Н.Г. \* (ИГГ УрО РАН, nats\_igg@mail.ru), Киселева Д.В. (ИГГ УрО РАН), Клейменов Д.А. (УГГУ, Уральский геологический музей)*

## Аннотация

Изотопный анализ свинца в древнем металле широко используется для оценки рудной базы для изготовления древних изделий и определения географического расположения этих месторождений. Отсутствие сопоставительных изотопных баз данных для сырьевых источников на обширных территориях России в значительной степени ограничивает возможности археологических интерпретаций. Проведено исследование изотопов свинца в образцах медных руд различного генетического типа и образовавшихся в различных геодинамических обстановках (медистые песчаники, медно-колчеданные руды, скарновые месторождения, медно-благороднометалльное оруденение в габброидах, медно-магнетитовое оруденение в серпентинитах, медно-порфировое оруденение и др.) с территории Уральского региона (Пермского края, Республики Башкортостан, Свердловской, Челябинской и Оренбургской областей).

## Ключевые слова

Изотопные отношения свинца, медные руды, самородная медь, Уральский регион

## Источники финансирования

Работа поддержана грантом РФФИ № 22-18-00593.

## Теория

В основе изотопного анализа свинца лежит использование четырех стабильных изотопов  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}$ , причем три последних являются дочерними продуктами радиоактивного распада урана и тория. Благодаря различным периодам полураспада  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , распадающихся до  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}$ , соответственно, возможно определить возрастные характеристики геологических структур, которые привели к возникновению рудных месторождений.

Современные инструментальные методы изотопного анализа, в частности масс-спектрометрия, характеризуются высокой чувствительностью и точностью. Для измерения интенсивности ионного тока изотопов достаточно массы свинца в  $10^{-9} - 10^{-7}$  г, при этом навеска образца составляет всего десятки миллиграммов, что важно при работе с уникальными и ценными образцами (например, археологическими артефактами).

Изотопный анализ свинца в древнем металле широко используется для оценки рудной базы для изготовления древних изделий и определения географического расположения этих месторождений. Проведены изотопные исследования свинца в металле бронзового века из местонахождений на территории степного Приуралья и

Зауралья, ряда местонахождений Евразии (Турбино, Большая Плавица, Герасимовка Ш, Степное), а также Сосново-Мазинского клада (Саратовская область) [Kiseleva et al., 2022, 2021; Shishlina et al., 2020].

Отсутствие сопоставительных изотопных (изотопы свинца, меди) баз данных для сырьевых источников на обширных территориях России в значительной степени ограничивает возможности археологических интерпретаций.

## **Материалы и методы**

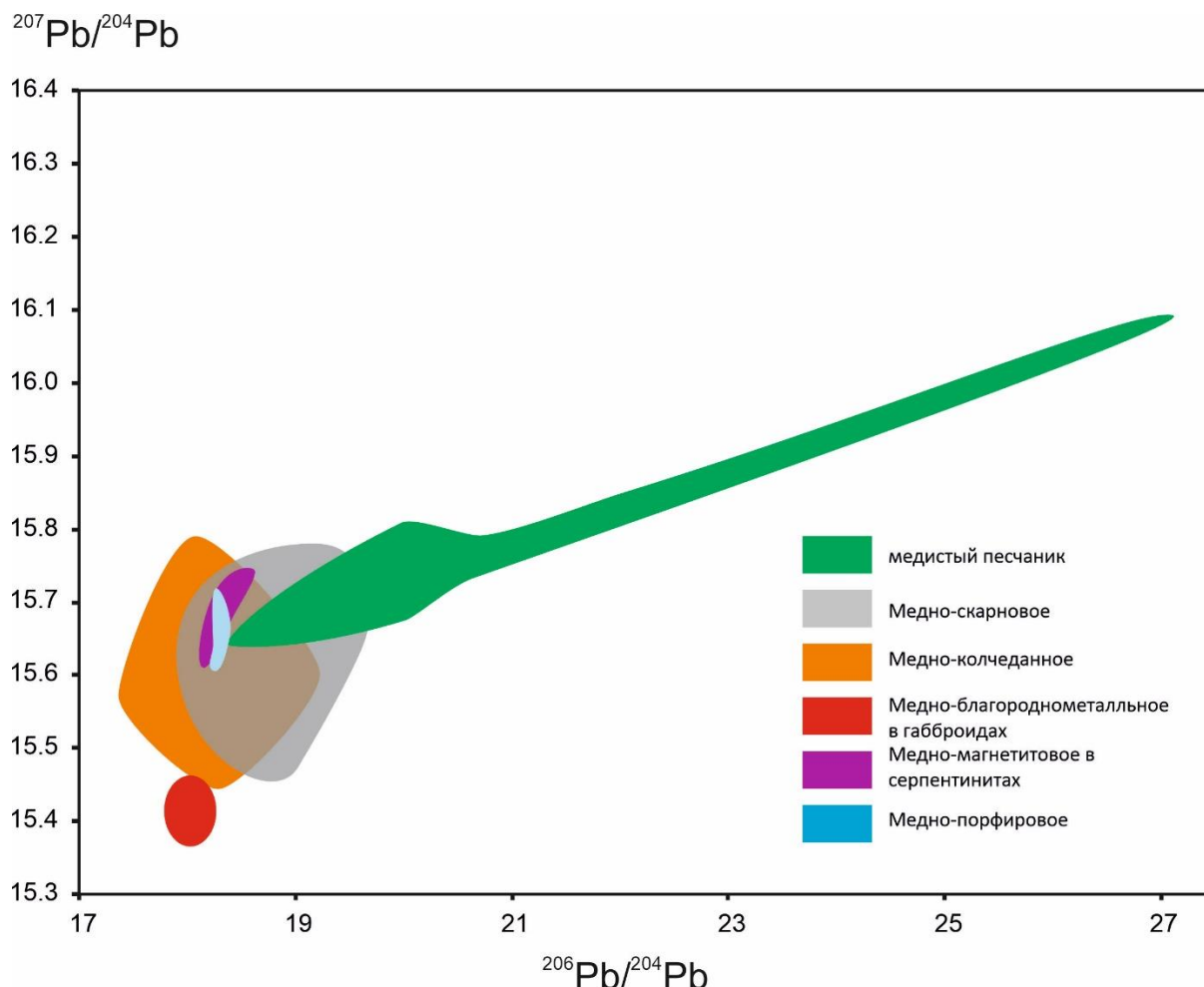
Проведено исследование изотопов свинца в образцах медных руд различного генетического типа и образовавшихся в различных геодинамических обстановках (медистые песчаники, медно-колчеданные руды, скарновые месторождения, медно-благороднометалльное оруденение в габброидах, медно-магнетитовое оруденение в серпентинитах, медно-порфировое оруденение и др.). Образцы представляют коры выветривания месторождений (поверхностных окисленных частей месторождений, так называемых «железных шляп») и первичные сульфидные и окисные (медно-магнетитовые) руды. Сформированная база данных включает порядка 100 образцов медных руд Уральского региона (Пермского края, Республики Башкортостан, Свердловской, Челябинской и Оренбургской областей). Образцы отобраны членами научного коллектива за время полевых экспедиций, а также переданы на анализ из Уральского геологического музея УГГУ.

Подготовка и анализ проб проводились в чистых помещениях (классы 1000 и 10000) и ламинарных боксах (класс 100) в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН, Екатеринбург. Разложение образцов (0.01 г) проводили в закрытых PFA сосудах смесью концентрированных  $\text{HNO}_3$  (1 мл) и  $\text{HCl}$  (3 мл) при  $120^\circ\text{C}$  до полного растворения (несколько часов). После выпаривания досуха добавляли 0.1 мл концентрированной  $\text{HBr}$  и снова выпаривали. Затем остаток повторно растворяли в 0.5 мл 0.05 М  $\text{HBr}$ , помещали в микропробирки и центрифугировали при 6000 об/мин в течение 15 минут с использованием лабораторной центрифуги. Для выделения свинца применялась методика ионообменной хроматографии, на смоле Bio-Rad AG 1x8 (100–200 меш) Очищенный свинец выпаривали досуха и растворяли в 2 мл  $\text{Ti}$ -содержащей 3%  $\text{HNO}_3$ . Измерения изотопов свинца проводились на мультиколлекторном ИСП-масс-спектрометре Neptune Plus (Thermo Fisher Scientific, Германия) с автоматической системой ввода образцов ASX 110 FR (Teledyne CETAC, США). Коррекция холостого опыта была получена с использованием 3% (по объему) промывного раствора  $\text{HNO}_3$ . Измерение изотопов свинца проводилось с использованием метода  $\text{Ti}$ -нормализации [Woodhead, 2002] с коррекцией изобарных наложений  $^{204}\text{Pb}$  по  $^{202}\text{Hg}/^{204}\text{Hg} = 4.350370$  и нормализацией по экспоненциальному закону.



## Результаты и обсуждения

На графике соотношения изотопов свинца  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (рис. 1) достаточно чётко выделяются месторождения, связанные с медистыми песчаниками Предуралья и месторождения вулcano-плутонических ассоциаций восточного склона Урала. Относительно плотное перекрытие полей колчеданных, скарновых, медно-порфирировых и серпентинитовых месторождений связано с достаточно близкими генетическими источниками свинца данных месторождений (смешение мантийных и коровых источников) и относительно близким возрастом 330-400 млн лет.



**Рисунок 1.** График  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  в минералах из руд месторождений Урала и Предуралья различных генетических типов

## Выводы

Проведено исследование изотопов свинца в образцах медных руд различного генетического типа и образовавшихся в различных геодинамических обстановках с территории Уральского региона (Пермского края, Республики Башкортостан, Свердловской, Челябинской и Оренбургской областей). Полученные результаты могут быть использованы для сопоставительных целей при выявлении сырьевых источников металлов в древности.

## Библиография

1. Kiseleva, D.V. et al. (2022). Lead Isotope Analysis of the Bronze Age Metal in the Steppe Cis- and Trans-Urals. In: Ankusheva, N., Chechushkov, I.V., Stepanov, I., Ankushev, M., Ankusheva, P. (eds) *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86040-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86040-0_3)
2. Kiseleva, D.V., Shishlina, N.I., Streletskaya, M.V., Soloshenko, N.G., Okuneva, T.G., Shagalov, E.S. (2021). MC ICP-MS Lead Isotope Analysis of Archaeological Metal Artifacts from the Bronze Age Sites of Eurasia. In: Yuminov, A., Ankusheva, N., Ankushev, M., Zaykova, E., Artemyev, D. (eds) *Geoarchaeology and Archaeological Mineralogy. GAM 2019*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48864-2\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48864-2_18)
3. Shishlina, N.I., Kiseleva, D.V., Loboda, A.Y. et al. Probable Sources of Metal of the Sosnovo-Mazinsky Hoard of the Late Bronze Age by the Lead Isotopic Composition. *Nanotechnol Russia* 15, 610–616 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1995078020050134>.
4. Woodhead J. A simple method for obtaining highly accurate Pb isotope data by MC-ICP-MS // *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 2002. Vol. 17. P. 1381–1385.

*Определение параметров метаморфизма гранулитов острова Поньгома-Наволоок, Беломорский подвижный пояс (Республика Карелия). Стрельников М.В.\* (ИГЕМ РАН, [sva240319600@yandex.ru](mailto:sva240319600@yandex.ru)), Козловский В.М. (ИГЕМ РАН, [bazily.koz@gmail.com](mailto:bazily.koz@gmail.com))*

## Аннотация

В представленной работе приведено краткое описание геологического строения южной части губы Поньгомы (Северная Карелия). В тексте представлены результаты расчёта температуры и давления необходимых для образования гранулитов острова Поньгома-Наволоок в программном комплексе TWQ на основе метода моновариантных полиминеральных равновесий. В сокращённой форме приведены выводы о природе возникновения гранулитов острова Поньгома-Наволоок.

## Ключевые слова

Губа Поньгома, гранулиты, параметры метаморфизма

## Теория

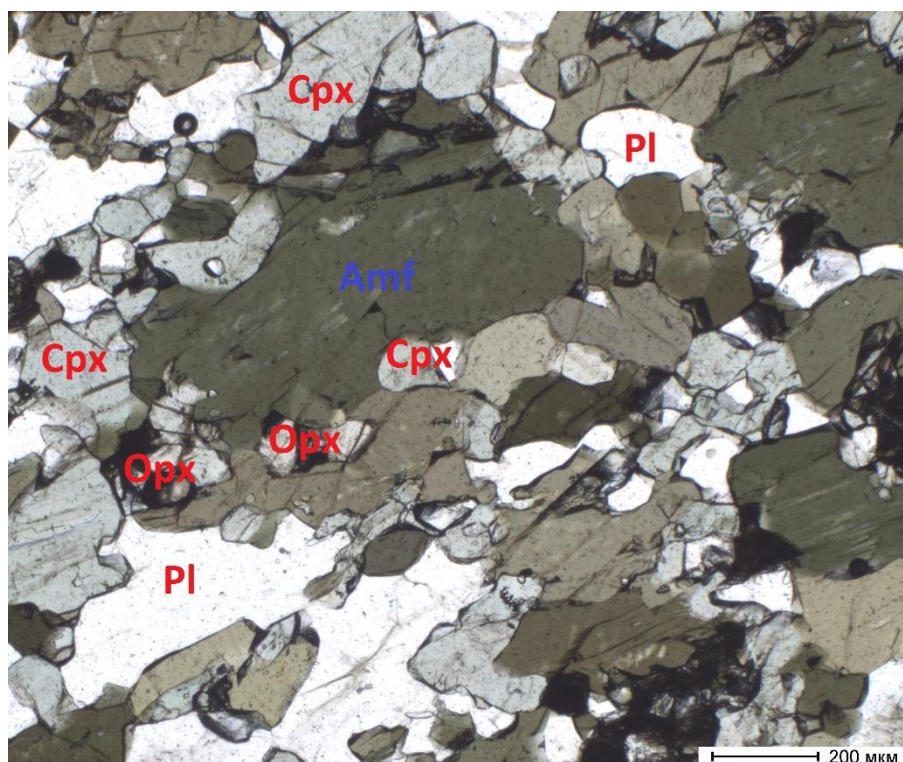
Наибольшую роль в реконструкции истории геологического развития Беломорского подвижного пояса несомненно играют именно метаморфические породы. Этот факт обуславливает необходимость в правильном определении параметров метаморфизма и восстановлении условий их образования. В данной работе приведены промежуточные результаты исследования основных гранулитов Беломорского пояса в пределах губы Поньгомы, о природе возникновения и условиях формирования которых до сих пор ведутся споры [3, 6].

Авторской командой в течение летнего полевого сезона в 2022 году был посещён остров Поньгома-Наволоок, расположенный в южной части губы Поньгомы в Северной части Республики Карелия. Практически всю территорию острова занимает крупный интрузивный комплекс, представленный 3 фазами внедрения: 1) эндербитовой (~95% от площади комплекса); 2) чарнокитовой (<5% от площади комплекса); 3) гранитной (<5% от площади массива). Эндербиты сложены преимущественно плагиоклазом, кварцем, орто- и клинопироксеном, возраст их внедрения – 2,728 млрд. лет [4]. Вторая фаза внедрения представлена жильными пегматоидными и мелкозернистыми жильными телами чарнокитов, сложенных плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, кварцем, амфиболом, орто- и клинопироксеном. К третьей фазе внедрения относятся мелкозернистые и пегматоидные гранитные жилы, сложенные полевыми шпатами, кварцем и биотитом. Отдельно в пределах массива выделяются крупные останцы, пластины размером 40 на 400 метров амфиболитов и апоамфиболитовых гранулитов. Вмещающими породами описываемого массива преимущественно являются ортогнейсы Хетоламбинского покрова, в подчинённом количестве встречаются линнзы высокоглинозёмистых гнейсов и амфиболитов. Возраст метаморфизма гнейсов совпадает и примерно равен 2,7 млрд. лет [5].

Абсолютно на всех породах района в разной степени отразился палеопротерозойский высокобарический метаморфизм: на эндербиты и чарнокиты была наложена плагиоклаз-биотит-гранатовая ассоциация, особенно сильно развитая в

зонах разгнейсования этих пород, на амфиболиты – плагиоклаз-клинопироксен-гранатовая. Возраст метаморфизма примерно соответствует 1,9 млрд. лет [2].

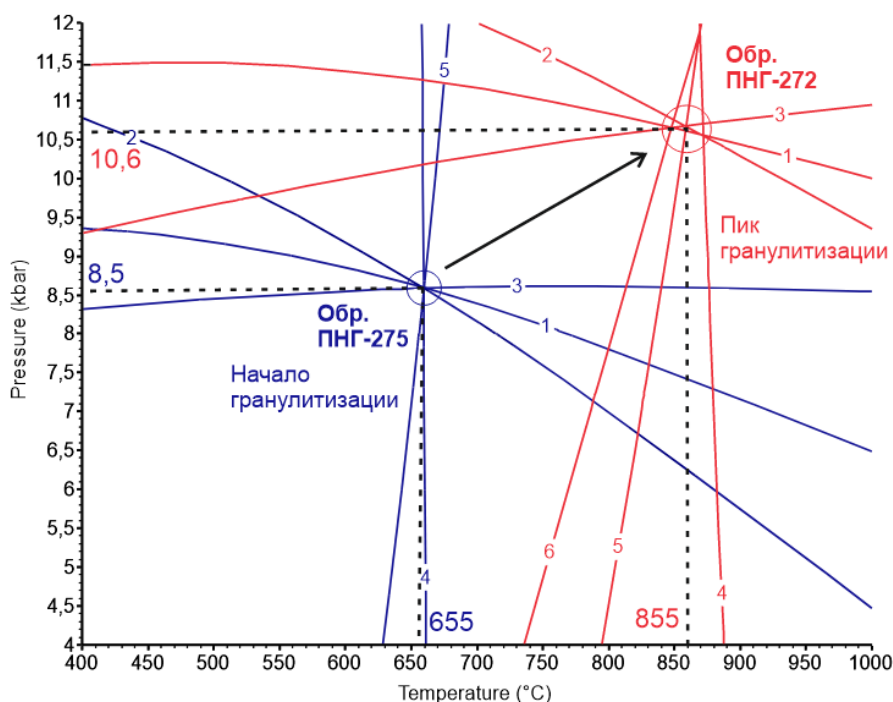
За время полевого сезона авторами описаны и опробованы упомянутые выше пластины амфиболитов, заключённые в массиве эндербитов. Из отобранных образцов в шлифовальной мастерской ИГЕМ РАН изготовлены прозрачно-полированные шлифы, по результатам изучения которых были выявлены интересные особенности данных пород: по описываемым амфиболитом активно развивается гранулитовая плагиоклаз-двупироксеновая ассоциация, микроструктура же гранулитов наиболее схожа с роговиковой, нежели со структурами, характерными для регионального метаморфизма. Для роговиковых структур характерно развитие зернистого агрегата разноориентированных наложенных минералов без видимого удлинения на первичную ассоциацию. Именно такую картину наиболее часто можно наблюдать при изучении гранулитов губы Поньгома (рис. 1). Этот факт подтолкнул к дальнейшему изучению данных пород. Для следующего этапа шлифы дополнительно полировались алмазной пастой и были покрыты графитовым напылением. В стенах Московского государственного института имени М.В. Ломоносова был выполнен химический анализ минералов описываемых пород посредством энергодисперсионной спектроскопии. Наиболее подробно удалось проанализировать породы 2 разных зон: со слабо развитой, зарождающейся гранулитовой ассоциацией и хорошо развитой, где амфибол уже является реликтовым.



**Рисунок 1.** Микрофотография в проходящем свете гранулитизированного амфиболита с характерной для гранулитов губы Поньгомы роговиковой структурой.

На основе полученных химических анализов минералов удалось рассчитать P-T параметры образования гранулитовой ассоциации методом мультиминеральной термобарометрии в программном комплексе TWEEQU [7]. На приведённых ниже графиках (рис. 2) изображены точки пересечения линий моновариантных равновесий

для начала и пика гранулитизации амфиболитов. Стоит отметить, что во всех расчётах использовалась исключительно ассоциация плагиоклаза, клинопироксена и ортопироксена. Таким образом, мы отчётливо видим, что гранулитизация амфиболитов острова Поньгома-Наволока начинается с температур в районе 655 С° и давлений около 8,5 кбар, что соответствует высокотемпературной амфиболитовой фации [1]. В породах же с наиболее ярко выраженным гранулитовым парагенезисом температура и давление достигают 855 С° и 11,5 кбар, соответственно, что характерно для гранулитовой фации [1]. В роли основного термометрического равновесия выступает реакция обмена железом и магнием между геденбергит-энстатитовыми и диопсид-ферросилитовыми миналами в орто- и клинопироксенах.



**Рисунок 2.** Линии моновариантных равновесий для плагиоклаз-клинопироксен-ортопироксеновой гранулитовой ассоциации. Синим цветом обозначены линии, полученные для пород, отвечающих началу процесса, красным цветом – пику метаморфизма. Обозначение линий равновесий: 1 –  $aQtz + Di + aOpx = An + En$ ; 2 –  $aQtz + Hd + aOpx = An + Fs$ ; 3 –  $Jd + aQtz = Ab$ ; 4 –  $Hd + En = Di + Fs$ ; 5 –  $An + Fs + Jd = Hd + aOpx + Ab$ ; 6 –  $An + En + Jd = Di + aOpx + Ab$ .

## Выводы

Полученные результаты расчёта температуры и давления, необходимых для образования гранулитов острова Поньгома-Наволока, наглядно демонстрируют нехарактерную для подавляющего большинства известных гранулитовых комплексов (Лапландского и Лимпопо) [8] проградную эволюцию метаморфизма – переход из амфиболитовой фации в гранулитовую. Изученные породы сильно отличаются от аналогов не только эволюцией метаморфизма, но и структурно-текстурными особенностями, а также своим геологическим положением. Всё это, по мнению авторов, позволяет утверждать, что метаморфизм, благодаря которому образовались такие гранулиты, имеет скорее контактовую природу, нежели региональную.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность Япаскурту В.О. за выполнение микрозондовых химических анализов минералов.

## Библиография

1. Бушмин С.А., Глебовицкий В.А. Схема минеральных фаций метаморфических пород // Зап. РМО. 2008. Ч. СXXXVII. № 2. С. 1-13.
2. Козловский В.М., Травин В.В., Корпечков Д.И., Зайцева М.Н., Курдюков Е.Б., Травин А.В., Саватенков В.М., Терентьева Л.Б. Палеопротерозойские метаморфические события в восточной части Беломорского подвижного пояса как отражение формирования Лапландского гранулитового покрова (термобарометрия, геохронология и структурная локализация метаморфических парагенезисов). // Геодинамические обстановки и термодинамические условия регионального метаморфизма в докембрии и фанерозое. 376 Материалы V Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия. С.-Петербург. ИГГД, 24-26 октября 2017 г. (2). С. 81-82.
3. Король Н. Е. Метаморфическая эволюция Поньгомнаволоцкого гранулит-эндербит-чарнокитового комплекса восточной части Беломорского подвижного пояса // Петрография магматических и метаморфических горных пород: Мат-лы XII Всерос. Петрографического совещания с участием зарубежных ученых (Петрозаводск, 15–20 сентября 2015 года). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 434–436.
4. Левченков О.А., Зингер Т.Ф., Дук В.Л., Яковлева С.З., Байкова В.С., Шулешко И.К., Матуков Д.И. U-Pb-возраст цирконов гиперстеновых диоритов и гранодиоритов о. Поньгом-Наволоок (Балтийский щит, Беломорская тектоническая зона) // ДАН. 1996. Т. 349. № 1. С. 90–92.
5. Слабунов А.И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск. Изд-во КарНЦ РАН. 2008. 296 с.
6. Стенарь М.М., Володичев О.И. К вопросу о реликтовой гранулитовой фации регионального метаморфизма в западном Беломорье. Петрозаводск. В кн.: Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. «Наука», Л., 1970.
7. Berman R.G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. // Canadian Mineralogist. 1991. V. 29. P. 833-855.
8. Perchuk L.L., Gerya T.V., Van Reenen D.D., Smit C.A., Krotov A.V., Safonov O.G., Shur M.Yu. Comparable petrology and metamorphic evolution of the Limpopo (South Africa) and Lapland (Fennoscandia) high-grade terrains // Mineral. Petrol. 2000. V. 69. P. 69-107.

*Минеральные включения и кристаллохимические особенности кианитов Карелии и Южного Урала. Узбеков А.И. \* (ИГиНГТ, КФУ, [18almaz.uz@gmail.com](mailto:18almaz.uz@gmail.com)), Нуриева Е.М. (ИГиНГТ, КФУ, [evgeniya-nurieva@yandex.ru](mailto:evgeniya-nurieva@yandex.ru)), Николаев А.Г. (ИГиНГТ, КФУ, [anatolij-nikolaev@yandex.ru](mailto:anatolij-nikolaev@yandex.ru)), Низамова А.В. (ИГиНГТ, КФУ, [aigulv96@mail.ru](mailto:aigulv96@mail.ru)), Гареев Б.И. (ИГиНГТ, КФУ, [bulat@gareev.net](mailto:bulat@gareev.net)), Баталин Г.А. (ИГиНГТ, КФУ, [batalinga@yandex.ru](mailto:batalinga@yandex.ru)), Андриюшкевич О.Ю. (ИГиНГТ, КФУ, [gemmaol@bk.ru](mailto:gemmaol@bk.ru))*

#### Аннотация

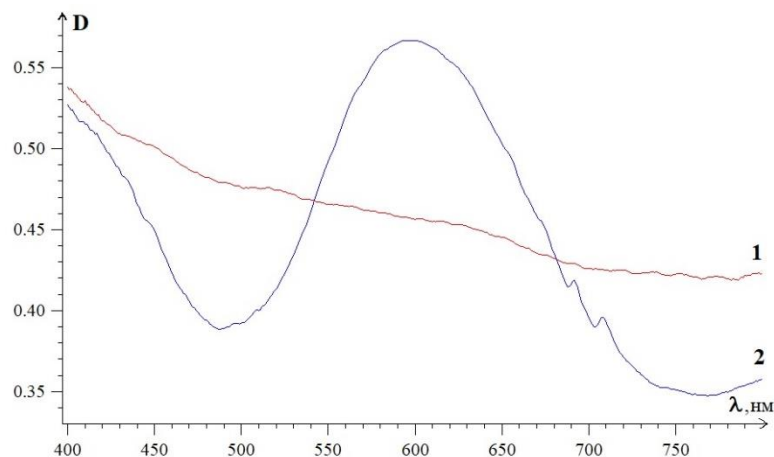
В данной работе представлен комплекс минералогических исследований кианитов из ряда местонахождений Карелии и Южного Урала. Были сделаны выводы по кристаллохимическим особенностям кианитов, условиям их формирования и особенностям химического состава.

#### Ключевые слова

Кианит, оптическая спектроскопия поглощения, минеральные включения.

Кристаллохимические особенности кианита и минеральные включения в них отражают условия образования метаморфических пород и взаимосвязь режима щелочности-кислотности и термодинамической обстановки [2]. Образцы кианитов светло-голубого до синего цветов Среднего Урала и Карелии были изучены методами оптической спектроскопии поглощения и рентгенфлюоресцентного анализа. В образцах были обнаружены небольшого размера минеральные включения, которые были изучены методом рамановской спектроскопии.

Оптические спектры поглощения записывались на спектрофотометре на Микроскоп-спектрофотометре МСФУ-К в диапазоне от 400 до 800 нм в оптической лаборатории кафедры минералогии и литологии ИГиНГТ. Полученные оптические спектры поглощения образцов Карелии содержат различной интенсивности полосы спин-запрещённых линий  $Fe^{3+}$  (380, 435, 446, 610, 625, 606, 769 нм) [1, 3]. В оптических спектрах поглощения кианитов Ю. Урал кроме слабо выраженных полос поглощения  $Fe^{3+}$ , присутствуют интенсивно выраженные полосы поглощения  $Cr^{3+}$  (580 нм), а также весьма слабые интеркомбинационные полосы, так называемые R-линии. Кроме этого наблюдается слабо выраженная полоса поглощения в районе 500 нм, связанная с возможной примесью  $Ti^{3+}$ . Типичные оптические спектры приведены на рис.1.



**Рисунок 1.** Оптические спектры поглощения кианитов (1 -Карелии; 2- Ю. Урала).

Рентгенфлуоресцентный анализ (РФА) образцов проводился на рамановском спектрометре inVia Qontor (Renishaw, Великобритания) с дифракционной решеткой 1800 шт/мм с микроскопом Leica DM2700 M и Nd:YAG-лазером (длина волны излучения 532 нм) с обязательной калибровкой спектральных линий и положение пучка лазера на монокристаллическом кремниевом стандарте. По данным РФА образцы кианитов Карелии имеют неравномерное содержание химических элементов-примесей. В образцах присутствуют примеси железа, ванадия, незначительная примесь ионов хрома. Образцы кианитов Ю. Урала характеризуются примесью ионов железа, хрома, титана и незначительным содержанием ванадия. Синий цвет полосы на образцах кианитов коррелирует с проявлением повышенного содержания примесей ионов титана. В табл.1 приводятся усредненные результаты определения содержания химических элементов по поверхности образцов кианитов Карелии и Ю. Урала.

**Таблица.1** Усредненные результаты содержания химических элементов на поверхности образцов кианитов

	Al	Si	V	Cr	Ca	Fe	Ti	S	$\Sigma$
Кианит Карелия	57,62	42,08	0,07	0,01	0,02	0,19			100,00
Кианит Ю.Урал	57,43	41,46	0,03	0,16	0,09	0,47	0,34	0,02	100,00

Образцы кианитов отличались неравномерностью окраски и были выбраны два типичных образца для проведения определения содержания химических элементов по определенным точкам съемки методом РФА.

Методом рамановской спектроскопии были изучены минеральные включения в образцах кианитов. В образцах кианитов Карелии были установлены включения графита и пирографита.



В образцах кианитов Ю. Урала по результатам рамановской спектроскопии были выявлены минеральные включения гранатов, кианитов и рутила.

### **Выводы**

Проведенное исследование кристаллохимических особенностей кианитов Карелии комплексом методов оптической спектроскопии поглощения и РФА позволяет сделать выводы о том, что присутствие ионов  $Fe^{3+}$  проявляется в оптических спектрах поглощения и в результатах рентгенфлуоресцентного анализа. Ионы  $Fe^{3+}$ , изоморфно замещающие  $Al^{3+}$  в кристаллической решетке кристалла, обуславливают голубой цвет кианитов. По результатам РФА выявлено присутствие примесного иона  $V^{3+}$  и незначительного количества  $Cr^{3+}$ , слабо проявленных в оптических спектрах поглощения. Карельские кианиты ассоциируют с кварцем, плагиоклазом, биотитом, мусковитом, фукситом, ставролитом, амфиболом, гранатом, графитом, турмалином, апатитом, пиритом [6]. Присутствие минеральных включений графита, определенных методом рамановской спектроскопии подтверждают процессы захвата минералов при процессе высокобарического метаморфизма. Изученные образцы кианитов Ю. Урала отличаются присутствием кроме ионов  $Fe^{3+}$ , заметным содержанием ионов  $Cr^{3+}$ , проявляющимися интенсивной широкой полосой поглощения в оптических спектрах поглощения. Результаты исследования методом рентгенфлуоресцентного анализа позволило выявить присутствие примесного иона титана, который образует обменно-связанные пары  $Ti^{4+} - O^{2-} - Fe^{3+}(Cr^{3+})$ , что приводит к усилению электронно-колебательных взаимодействий и увеличению густоты синей окраски кианита. Для уральских кианитов характерен парагенезис с магнетитом, гематитом, рутилом, турмалином, гранатом, мусковитом, что описано в работах [4, 5]. По данным рамановской спектроскопии были установлены минеральные включения в кианитах Ю. Урала гранат и рутил.

### **Библиография**

1. Бахтин А.И. Породообразующие силикаты: оптические спектры, кристаллохимия, закономерности окраски, типоморфизм / Казань: Издательство Казанского университета, 1985. – 192 с.
2. Коротеев В.А., Огородников В.Н., Поленов Ю.А., Савичев А.Н. Условия образования месторождений группы кианита / В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, А. Н. Савичев // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 456. – № 4. – С. 465. – DOI 10.7868/S0869565214160221.
3. Платонов А.Н. Природа окраски минералов / Киев: Издательство «Наукова думка», 1975. – 264 с.
4. Пономарев В.С. Кианит из мигматитов Сысертского метаморфического комплекса (Средний Урал) / В. С. Пономарев // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. – 2014. – № 11. – С. 69-71.
5. Сидоров М.Ю., Волошин А.В., Савченко Е.Э., Бочаров В.Н. Твердофазные включения в цирконе, клинопироксене и кианите из эклогитов и пегматоидов Куру-Ваары / М. Ю. Сидоров, А. В. Волошин, Е. Э. Савченко, В. Н. Бочаров // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2015. – № 12. – С. 301-303. – EDN WWMPRV.
6. Скамницкая Л.С. Минеральные примеси в кианите Хизоваарского рудного поля / Л. С. Скамницкая, Т. П. Бубнова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2009. – № 6. – С. 286-288.

**Термальная и петрохимическая эволюция Атбашинского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (Южный Тянь-Шань). Федькин В.В.\* (Институт экспериментальной минералогии им. ак. Д.С.Коржинского РАН, [vfedkin@iem.ac.ru](mailto:vfedkin@iem.ac.ru)), Котова Л.С. (Институт геологии им. ак. А.А.Адышева Киргизской АН, [vfedkin@iem.ac.ru](mailto:vfedkin@iem.ac.ru))**

## Аннотация

Методами минералогической термобарометрии, детального петрографического анализа и геохимического изучения состава пород проведено комплексное изучение термобарических условий метаморфизма и особенностей метасоматических преобразований высокобарных пород Атбашинского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (ЭГСК). Определены физико-химические параметры формирования контрастных серий пород комплекса, характер и этапы метасоматических изменений химического состава пород в процессе ретроградного развития террейна,

## Ключевые слова

НР метаморфизм, щелочной метасоматоз, кислотное выщелачивание, эклогит-глаукофансланцевый комплекс Атбаша, тектонический меланж, когерентное развитие.

## Источники финансирования

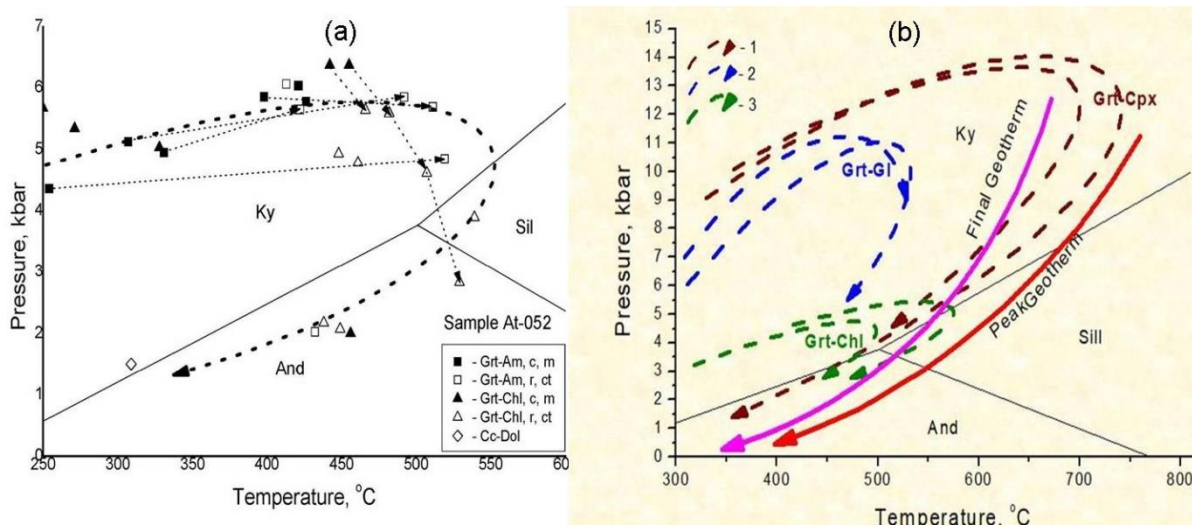
Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-05-64561) и Программы Фулбрайт Института Международного образования (гранты 2011, 2015 г.).

## Теория

Атбашинский эклогит-глаукофансланцевый комплекс (ЭГСК) сформировался на стыке крупнейших фрагментов земной коры – Срединного и Южного Тянь-Шаня, в обстановке постоянной тектонической активности, меняющегося режима метаморфизма и достаточно высокой подвижности флюидных потоков [1, 3, 6]. В связи с этим, процессы метасоматоза и метаморфических преобразований тесно связаны между собой и взаимодействуют, определяя финальный итог развития комплекса.

**Термобарическая история** формирования Атбашинского комплекса изучена на основе детального микрозондового анализа состава и зональности ключевых породообразующих минералов – граната, пироксена, плагиоклаза и др. Высокобарные породы - эклогитовые будины, прослой и линзы сохранились во вмещающем гнейсосланцевом комплексе в результате процессов тектонического меланжа на раннем этапе его развития, фиксируя в составах ключевых породообразующих минералов максимальные параметры метаморфизма: P до 11-13 кбар в интервале T=300-750 °C [2, 5]. Вмещающий их глаукофансланцевый комплекс с участием Grt-Cpx гнейсов, Grt-Cpx-Gln, слюдяных и хлоритовых сланцев, кварцитов и кварцитосланцев, формировался на регрессивной стадии метаморфизма в результате его совместного когерентного развития с высокобарными эклогитовыми телами и блоками. Во всех будинированных включениях высокобарных пород прослеживается проградная термобарическая зональность условий их образования. В центральных частях крупных эклогитовых будин и в отдельных изолированных телах прогрессивная зональность граната ( $X_{\text{Pr}}=0,24-0,56$ ) и омфацитовый состав пироксена ( $X_{\text{Jd}}=0,4-0,6$ ) фиксируют

положительные РТ тренды их первичного формирования. По мере приближения к контакту с вмещающими Grt-Gln и Grt-Zo породами, Chl-Ms сланцами и кварцитами прогрессивные тренды смещаются в область более низкого давления. При  $P \sim 5-7$  кбар в Grt-Cpx ассоциациях таких образований намечается разворот РТ тренда эволюции метаморфизма по часовой стрелке (“clockwise”), фиксируя переход к когерентному этапу развития комплекса (**Рисунок 1а**).

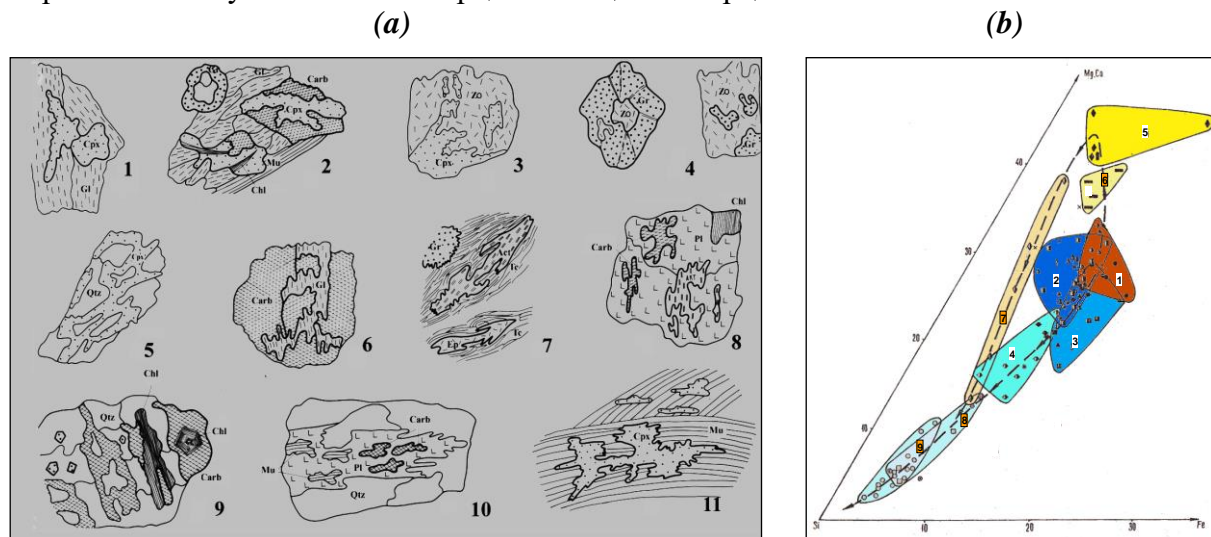


**Рисунок 1.** Физико-химические условия формирования эклогит-глаукофансланцевого комплекса Атбаша [5]. (а) Разворот РТ тренда при переходе от режима тектонического меланжа к когерентному этапу развития комплекса; (б) Заключительная стадия когерентного формирования комплекса. Стрелками показаны РТ тренды образования минеральных ассоциаций в процессе: 1 – тектонического меланжа (Grt-Cpx), 2 – переходного этапа (Grt-Gln), 3 – когерентного развития комплекса (Grt-Chl).

**В кристаллических сланцах матричного комплекса** прогрессивная зональность Fe-Mg минералов на когерентном этапе также меняется на обратную. Максимальные параметры Grt-Cpx-Pl-Qz равновесия не превышают  $P=5-6$  кбар и  $T=550-600$  °С. В кристаллических сланцах в составе вмещающих пород образуется пироксен второй генерации с минимальной долей жадеитового компонента ( $X_{Jd}=0,03-0,08$ ). В ассоциации с Grt, Pl и Qz такой состав пироксена показывает параметры, принципиально отличные от НР условий образования эклогитовых будин. На поздних стадиях развития комплекса широкий спектр вмещающих сланцев и эклогитов образуют единую заключительную серию РТ трендов когерентной стадии (**Рисунок 1б**). Таким образом, эклогит-глаукофансланцевые породы Атбашинского комплекса образовались в результате совмещения процессов тектонического меланжа на раннем этапе формирования террейна и его последующего когерентного развития в едином цикле метаморфической эволюции.

**Детальные петрографические исследования** высокобарных и вмещающих пород комплекса позволили установить последовательность минеральных превращений в ходе его метаморфической эволюции. Постоянные реакционные взаимоотношения породообразующих минералов между фазами высокого давления и вновь образующимися низкотемпературными ассоциациями (**Рисунок 2а**) подчеркивают неустойчивость минеральных систем в квазиравновесных РТ условиях и флюидного режима минералообразования. Ретроградные метаморфические процессы замещения эклогитов и пироксенитов глаукофановыми и цоизитовыми сланцами на заключительных этапах развития комплекса сменяются процессами щелочного

(калиевого) метасоматоза и кислотного выщелачивания, с чем связано формирование толщи мусковитовых кварцитосланцев и кварцитов [4]. Петрографически выделяется самостоятельная линия замещения эклогитов карбонат-содержащей группой пород с хлоритом, актинолитом, тальком, альбитом и серпентином из так называемого офиолитового набора, остатков древней океанической коры. С этой линией связана перекристаллизация граната и пироксена в матрице породы с образованием «вторичных» эклогитов и карбонатных прожилков. Эта линия также заканчивается образованием мусковитовых кварцитосланцев и кварцитов.



**Рисунок 2.** (а) Сложные реакционные взаимоотношения породообразующих минералов Атбашинского эклогит-глаукофансланцевого комплекса; (б) Диаграмма Si-Mg, Ca-Fe(Na) пород комплекса. Оконтуриены поля: 1 – эклогитов и пироксенитов; 2 – Grt-Px-Gln и Grt-Px-Zo пород; 3 – Gln-Grt и Zo-Grt пород; 4 – Cpx-Gln-Qz пород; 5 – Chl-Cc и Act пород; 6 - Tc сланцев; 7 – Chl-Cc-Qz пород; 8 – кварцитосланцев; 9 – кварцитов [4].

Сложная схема минеральных замещений высокобарных пород комплекса подкрепляется данными химических анализов и распадается на несколько этапов в зависимости от исходного состава субстрата и воздействующего флюида (**Рисунок 2б**). Химическая эволюция пород комплекса начинается с изменений высокобарных образований (эклогитов и пироксенитов), внедренных в комплекс в процессе тектонического меланжа. В результате выноса оснований: Ca, в меньшей степени Fe, Mg, Na, происходит замещение эклогитов Grt-Gln- или Grt-Zo-породами. Затем за счет привноса кремня и калия идет их мусковитизация и интенсивное окварцевание вплоть до образования мусковитовых кварцитосланцев и кварцитов. Параллельно развиваются карбонатизация эклогитов и глаукофановых пород с образованием нового граната и ассоциаций с Act, Chl, Serp и Tc. В этом ряду возрастает роль Ca и Mg, снижается активность Si, отчетливо выражена альбитизация, в конце процесса усиливается окварцевание. Таким образом, петрографическое разнообразие пород Атбашинского комплекса подтверждается петрохимическими данными и является следствием последовательных превращений одних пород в другие, а не изначальной разнородностью исходного состава, как это предполагалось ранее [1].

Последовательность термобарических событий, минеральных превращений и химических изменений состава пород комплекса, позволяет выделить три этапа его развития с момента тектонического внедрения эклогитовых включений в слабо метаморфизованную толщу метаосадочных образований.

**На первом этапе** из эклогитов и пироксенитов происходит вынос оснований, главным образом Са, в меньшей степени Fe, Mg и Na). При высокой активности углекислоты, это вызывает интенсивную карбонатизацию эклогитов и пироксенитов. Алюминий остается инертным компонентом. **На втором этапе** при снижении давления до 5-7 кбар и переходе к когерентной стадии развития, за счет выноса Са, Fe, Mg, происходит образование эпидота и хлорита по цоизиту и гранату, а также альбита за счет выноса Na и Al. **Третий этап** алохимических преобразований пород комплекса происходит под контролем привноса кремния и калия, за счет чего усиливается процессы окварцевания и мусковитизации. Этот заключительный этап протекает при низких финальных параметрах метаморфизма, в ходе процесса кислотного выщелачивания. Из эклогитов и пироксенитов происходит вынос Са, Fe, Mg, затем Na и Al и привнос кремнезема и калия при высокой активности углекислоты. **Образование глаукофановых пород происходит без привноса натрия**, что видно по полям стабильности на **рисунке 2б**. Переход эклогитов в глаукофановые сланцы осуществляется за счет перераспределения кальция и натрия в карбонатные фазы и плагиоклаз [2, 4].

## Выводы

1. Высокобарные породы Атбашинского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (эклогитовые тела и будины) образовались в процессе тектонического меланжа на раннем этапе развития комплекса. Вмещающая их гнейсосланцевая толща с участием Grt-Cpx пород, Cpx-Gln, слюдистых и хлоритовых сланцев, кварцитов и кварцитосланцев, формировалась на более поздней регрессивной стадии метаморфизма в результате их совместного когерентного развития.
2. Петрографическое разнообразие пород Атбашинского комплекса является следствием последовательных превращений одних пород в другие, а не изначальной разнородностью исходного состава субстрата.
3. Образование глаукофановых пород Атбашинского комплекса происходило за счет перераспределения Са и Na из эклогитов без привноса натрия.

## Библиография

1. Бакиров А.Б. и др. Условия формирования эклогитовых комплексов Тянь-Шаня. // Сов. геология 1985. № 2.
2. Добрецов Н.Л. Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 217 с.
3. Добрецов Н.Л., Соболев Н.В. Глаукофансланцевые пояса. // В кн. Метаморфические комплексы Азии. Н: Наука, 1977. С.283-288.
4. Котова Л.С. Петрохимическая эволюция эклогит-глаукофансланцевого комплекса хребта Атбаша (Южный Тянь-Шань). // В сб. Геохимия магматических и метаморфических образований Тянь-Шаня. Фр.: Илим, 1989. С. 110-127.
5. Федькин В.В. 2004. Минералогическая геотермобарометрия в развивающихся метаморфических системах. // В сб. «Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий». М. Наука, 2004. Т. 2, С. 172-187.
6. Соболев Н.Ш., Шацкий В.С. Проблемы генезиса эклогитов метаморфических комплексов. // Геология и геофизика. 1986. № 9.

*Типы рудовмещающих пород участка Древний. Халиков О.А. \*(ГУ «ИМП», Ташкент, [okiljon.xalikov@mail.ru](mailto:okiljon.xalikov@mail.ru)), Сайитов С.С. (ГУ «ИМП», Ташкент, [sardorsayirov@gmail.com](mailto:sardorsayirov@gmail.com)) Расулова А.В. (ГУ «ИМП», Ташкент, [alinarasulova1986@gmail.com](mailto:alinarasulova1986@gmail.com)), Абдувоитов А.К. (ГУ «ИМП», Ташкент, [azimjon.abduvoitov96@gmail.com](mailto:azimjon.abduvoitov96@gmail.com)), Асроров А.А. (ГУ «ИМП», Ташкент, [asrorovazamat603@gmail.com](mailto:asrorovazamat603@gmail.com))*

#### **Аннотация**

Для изучения типов рудовмещающих пород участка Древний проведены полевые, минералогические и петрографические исследования. В полевых работах были отобраны образцы разновидностей рудовмещающих пород, распространенных на участке. Были изготовлены прозрачные шлифы из отобранных образцов и изучены под микроскопом. Для определения количественного минерального состава рудовмещающих пород, результаты силикатного анализа были пересчитаны на минеральные составляющие пород.

#### **Ключевые слова**

Северный Нуратау, участок Древний, рудовмещающие породы, минеральный состав.

#### **Источник финансирования**

Исследования были выполнены в рамках государственного проекта № 1275 «Изучение вещественного состава метасоматитов и руд разведываемых объектов, связанных с черносланцевыми толщами западного Узбекистана» на 2018-2021г.

#### **Теория**

Участок Древний расположен на северных склонах западного окончания хребта Северный Нуратау. Административно площадь участка работ относится к Нуратинскому району Навоийской области.

Участок Древний характеризуется общей геолого-структурной позицией, а также общими геохимическими признаками - развитием мощных ореолов рассеяния золота с месторождениями Пистали и Олтин-Диёр [4].

В геологическом строении района принимают участие метаморфизованные терригенно-осадочные породы тасказганской свиты верхнего протерозоя, прорванные интрузиями каттаичского (средний-верхний карбон) и гатчинского (поздний карбон-ранняя пермь) магматических комплексов [1].

В значительной степени породы района перекрыты делювиально-пролювиальными и аллювиальными четвертичными отложениями.

По участку Древний были изучены метасоматиты, вскрытые канавами и скважинами. В результате исследования выделены несколько типов метасоматитически измененных рудовмещающих пород:

1. *Кварциты.* Структура роговиковая, гранобластовая, мозаичная. Текстура сланцеватая, местами полосчатая. Полосчатость обусловлена чередованием кварцевых прослоев с тонкими прослоями по сланцеватости углистого материала с включениями рудной минерализации.

Порода состоит из кварца на 85-90%. Форма зерен, вытянутая вдоль сланцеватости, ксеноморфная, края зубчатые. Кварц бесцветный, отмечается волнистое погасание в проходящем свете.

В породе часто присутствуют прослои серицита. Содержание чешуек серицита 3-5% от общего числа минералов в отдельных шлифах до 10%.

Рудная минерализация отмечается в виде включений. Часто равномерно распределенные [3]. Представлены пиритом, гидроксидом железа. Размер включений <0,01-0,0n мм. Количество рудных минералов составляет до 3-5%.

Минеральный состав получен пересчетом силикатного анализа на минеральный состав (%) и корректировкой по данным микроскопии: кварц 54,6; полевой шпат 21; серицит 8,9; хлорит ед.зн.; Са-Mg-карбонат 3,5; гидроксиды железа 3,0; пирит 0,3; рутил 0,4; биотит 6,0; гипс 2,3.

2. *Алевросланец*. Структура, лепидогранобластовая, неравномерно-зернистая. Текстура сланцеватая, полосчатая, местами пльчатая.

Основное количество сланцев углисто-слюдисто-полевошпат-кварцевого состава. Форма обломков кварца, плагиоклаза уплощенная, изогнутая, не окатанная, полуокатанная. Размер зерен варьирует от 0,01 до 1мм. Количество кварца 60-70%. Плагиоклаза 1-10%.

Серицит представлен в виде скоплений чешуек, прослоев по сланцеватости, часто с взаимной ориентировкой. Размер частиц 0,01-0,1мм. Иногда развивается по полевоому шпату (плагиоклазу). Содержание серицита 10-20%.

Порода рассекается прожилками кварца с включениями плагиоклаза. Мощность кварцевых прожилок до 0,0n-0,2мм, в отдельных шлифах до 1мм.

Рудная минерализация отмечена в виде скоплений по промежуткам сланцеватости, совместно с углистым веществом. Встречаются вкрапления, пятна гидроксида железа. Содержание рудной минерализации от единичных зерен до 5-10%.

Минеральный состав получен пересчетом силикатного анализа на минеральный состав (%) и корректировкой по данным микроскопии: кварц 36.4-67,5; плагиоклаз 0-22,4; калиевый полевой шпат 9,5; серицит 29-10,8; хлорит до 5,2; Са-Mg-карбонат 6,3-2,7; гидроксиды железа 4-1,9; пирит ед. з.- 0,3; рутил 0,9-0,6; глинистые 1-7,6; гипс до 0,9.

3. *Метаалевропесчаники, метасаммоалевролиты*. Структура лепидогранобластовая, участками обломочная, псаммо-алевролитовая. Текстура массивная, участками полосчатая, сланцеватая.

Основная масса сложена зернами кварца, полевого шпата. Зерна плотно прилегают друг к другу. В обломках кварца, полевого шпата.

Кварц бесцветный, с редким желтоватым оттенком в проходящем свете, замечено волнистое погасание. Форма зерен не окатанная, угловатая, редко остроугольная. Размер зерен от 0,01-0,1 до 0,3мм. Содержание кварца в шлифе до 60-65% [2].

Калиевый полевой шпат сероватый, отмечаются бурые оттенки пелитизации. Плагиоклаз с редкой системой двойникования. Форма не окатанная, редко призматическая. Размер зерен от 0,01 до 0,2мм. Количество полевого шпата 5-15% от общей массы в шлифе. Алевролитовая часть преобладает над псаммитовой.

Слюдистая минерализация в количестве до 10% представлена тонкими чешуйками серицита, равномерно распределенные по породе. Размер серицита от 0,01 до 0,1мм. Также замечены бурые скопления биотита, единичный мусковит. Серицита намного меньше биотита. Размер зерен биотита 0,02x0,2мм.

Рудная минерализация представлена включениями, скоплениями пирита, гетита. Размер зерен 0,01-0,1мм. Содержание до 2-3%.

В пределах шлифа часто наблюдается переход от существенно псаммитового материала к алевролитовому.

Минеральный состав получен пересчетом силикатного анализа на минеральный состав (%) и корректировкой по данным микроскопии: кварц 22,2; полевой шпат 37,6; серицит 17,6; хлорит 4,9; карбонат 10,9; гидроксиды железа 3; рутил 0,8; гипс 3.

4. *Метаалевролиты.* Структура лепидо - гранобластовая, алевролитовая. Текстура полосчатая, сланцеватая.

Обломочная часть породы состоит из зерен кварца, полевого шпата. Встречены участки с криптокристаллической структурой. Кварц не окатанный, угловатый. Отмечено волнистое погасание. Система двойникования в полевых шпатах редка. Содержание 60-70% общей массы. Количество полевых шпатов 5-10%.

За счет частичной каолинизации, серицитизации полевых шпатов отмечаются каолинит-гидрослюдистые частицы. Размер частиц <0,005мм. Количество глинистых частиц 5-10%.

Рудная минерализация представлена гнездами, вкраплениями, прожилками минералов гидроксида железа. Также отмечаются трещины, выполненные гидроксидом железа [3]. Содержание гидроксидов железа от 1-3% до 5-7%. Не редко замечены кубические скопления, вкрапления пирита. Количество от единичных зерен до <1-2%, в отдельных шлифах до 3%. По породе часто встречаются неравномерно распределенные иголки черного цвета (рутил). В отдельных шлифах содержится до 1%.

Минеральный состав получен пересчетом силикатного анализа на минеральный состав (%) и корректировкой по данным микроскопии: кварц 36,4-67,58; плагиоклаз до 22,4; серицит 10,8-29; полевой шпат до 2,5; карбонат 6,3-2,7; гидроксиды железа 4-1,9; пирит ед.зн.-0,3; рутил 0,6-0,9; глинистые минералы 1,0-7,6; хлорит до 5,2; гипс до 0,9.

При изучении полированных шлифов были встречены помимо гидроксидов железа пирит, арсенопирит, блеклая руда, акантит, золото самородное, графит.



Рисунок 1. Метаэффузив с порфиоровыми включениями плагиоклаза. Шлиф № Дрв-41; увел. 40<sup>x</sup>; ник. X. 1-плагиоклаз; 2-биотит; 3-кварц.

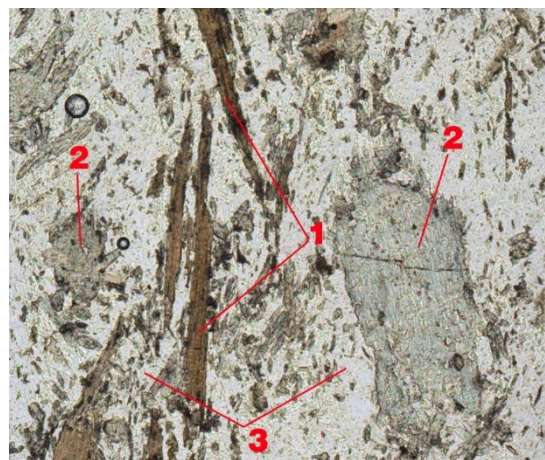


Рисунок 2. Дайка лампрофира с амфиболом, биотитом. Шлиф № Дрв-68; увел. 200<sup>x</sup>; ник. ||. 1-биотит; 2-амфибол; 3-полевой шпат.

5. *Метаэффузивы.* Массивные зеленовато-серые породы, мелкозернистые с порфиоровыми включениями полевого шпата (рис. 1). Микроскопически видно, что основная масса состоит из плагиоклаза, кварца и тонких иголок светлого амфибола. Полевые шпаты пелитизированы и серицитизированы.

Из магматических образований часто установлены *дайки лампрофиров* (рис. 2). Структура нематогранобластовая, порфиоровая. Текстура массивная. Основная масса породы мелкозернистый плагиоклаз [2]. Форма зерен ксеноморфная, удлиненно призматическая. Встречаются порфиоровые зерна плагиоклаза со следами зональности.



Размер порфировых зерен от 0,1-0,4 до 1мм. Частично зерна плагиоклаза серицитизированы, сосюритизированы, карбонатизированы.

*Кварц жильный* широко проявлен на участке. Структура гранобластовая, крупнокристаллическая. Текстура массивная, вкрапленная. Содержит обломки пород. Кварц – доминирующий минерал в шлифах. Бесцветный, редко с желтоватым оттенком. Отмечаются зерна с зазубренными краями. Отмечаются участки с «мозаичной» текстурой. Также замечены зерна с изрезанными контурами без облачного погасания [2].

### **Выводы**

Таким образом, на основе выполненных минералого-петрографических работ были установлены петрографические свойства горных пород. В результате были получены следующие данные: 1) среди метасоматически измененных пород выделены кварцитовидные, метаалевропесчаники, метапсаммоалевролиты, метаэффузивы и другие типы пород; 2) установлено, что отложения участка Древний включают метаморфизованные терригенно-осадочные породы тасказганской свиты верхнего протерозоя; 3) Дайки лампрофиров широко распространены на исследуемом участке.

### **Литература:**

1. Касимова Ш.Р. закономерности размещения золоторудных объектов в Нурагинских горах // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент, 2014. - № 6. – С. 18-23.
2. Минералогия. А.Г. Бетехтин. Государственное издательство геологической литературы. Москва-1950.
3. Рудные минералы и их сростания. П. Рамдор. Издательство иностранной литературы. Москва-1962.
4. Рудные месторождения Узбекистана. НИИМР-2001г.

*Вещественный состав и микроструктуры кварцевых палеогеновых песчаников сосновской толщи востока Русской плиты. Хамада Н.\* (Казанский (Приволжский) федеральный университет, [nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com)), Зорина С.О. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, [svzorina@yandex.ru](mailto:svzorina@yandex.ru)), Никашин К.И. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, [kostya97@inbox.ru](mailto:kostya97@inbox.ru)), Афанасьева Н.И. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, [n-afanasieva@rambler.ru](mailto:n-afanasieva@rambler.ru))*

## Аннотация

В данном сообщении приведены результаты комплексного изучения вещественного состава и микроструктуры палеогеновых кварцевых песчаников сосновской толщи Ульяновско-Сызранского Поволжья (УСП). Результаты петрографического анализа показали, что образование сосновских песчаников происходило в континентальных педологических условиях. Об этом свидетельствуют контактовый и «капельный» типы опал-халцедонового цемента, его явный дефицит и высокая открытая пористость, указывающие на локальное местоположение источника свободного кремнезема. Активная бактериальная деятельность в условиях частых переходов суши в обширные заболоченные водоемы подтверждается электронно-микроскопическими изображениями и микрозондовым анализом отдельных микрокомпонентов песчаников.

## Ключевые слова

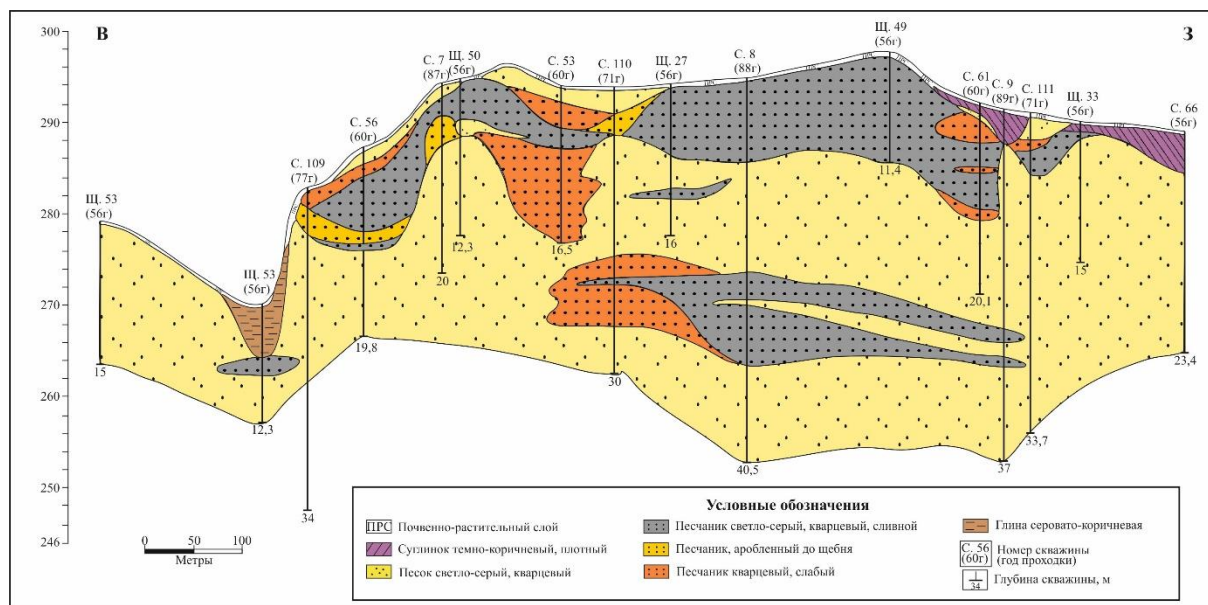
Кварцевый песчаник, кремнезем, сосновская толща, палеоген, Русская плита

## Источники финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00070, <https://rscf.ru/project/22-27-00070/>.

## Теория

Палеогеновые кварцевые пески и песчаники сосновской толщи широко распространены в Ульяновско-Сызранском Поволжье, мощностью толщ участками достигает 150 м. По данным Г.А. Жуковой с соавторами [1, 2], толща представлена песками желтовато- и светло-серыми, кварцевыми и зеленовато-серыми глауконит-кварцевыми, мелко- и тонкозернистыми, с линзами светло-серых и серых конкреционных кварцитовидных и опоковидных песчаников. Мощность песчаников на некоторых участках, например, на Скугареевском месторождении песчаников [4], варьирует от 0,1 до 10 и более метров. В геологическом разрезе Скугареевского месторождения выделены субпараллельные линзовидные тела песчаников непостоянной мощности, расположенные на разных глубинах (рис. 1).

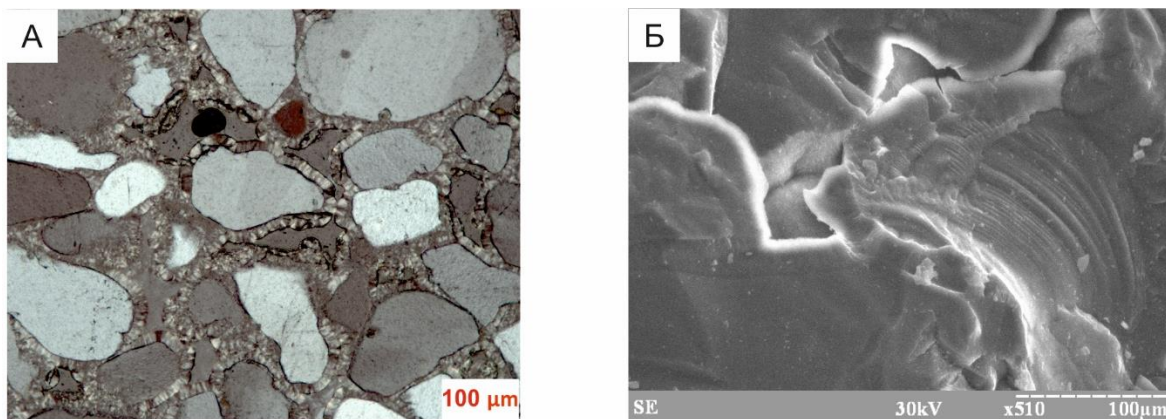


**Рисунок 1.** Субпараллельные линзовидные прослои песчаников в песках сосновской толщи в геологическом разрезе Скугареевского месторождения песчаников [4].

В настоящем исследовании представлены результаты комплексного изучения вещественного состава конкреционных песчаников сосновской толщи, отобранных в карьерах Кучуровского и Восточно-Ташлинского месторождений, расположенных на юго-востоке Ульяновской области [3]. Комплекс аналитических методов включал петрографический и электронно-микроскопический анализы. Исследования выполнены в лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета.

Шлифы сосновских песчаников были изучены с применением оптического поляризационного микроскопа Carl Zeiss AxioLab с цифровой камерой AxioCam 506 color. Результаты показали, что состав и структурно-текстурные особенности пород характеризуются заметным постоянством. Обломочная часть песчаников (80-90% состава породы) представлена зернами кварца (90-95%), единичными зернами плагиоклаза, глауконита, калиевого полевого шпата, циркона, мусковита, сфена, обломками кремнистых пород. Цемент породы смешанный опал-халцедоновый (10-20%), в основном халцедоновый. Тип цемента в целом контактово-пленочный, пленочный, «капельный» (рис. 2А), реже - поровый и базальный. Пористость составляет 5-15%, она отличается крайне неравномерным распределением в межзерновом пространстве и указывает на дефицит цемента.

Коллинсоном с соавторами [8] установлено что, песчаники, зерна которых сцементированы кремнистым цементом, образовались в континентальных педологических условиях. В исследовании Богтса [7] подтверждается, что неравномерность распределения цемента в кремнистых песчаниках обусловлена близостью источников кремнистого раствора, а само его распределение контролируется рельефом местности. Можно предположить, что источником свободного кремнезема для цементации песчаных зерен сосновской толщи могли быть опоки и диатомиты нижнесызранской подбиты палеогена, выведенные на дневную поверхность и размываемые метеорными водами [5, 6].



**Рисунок 2.** Особенности микроструктуры песчаников сосновской толщи Кучуровского и Восточно-Ташлинского месторождений: А - микрофотография шлифа песчаника Sm-1/1, николи скрещены, ув. 100; Б - электронно-микроскопическое изображение песчаника Sm-1/7.

Электронно-микроскопический анализ сосновских песчаников проводился на растровом электронном микроскопе XL-30 ESEM с ЭДС-анализатором EDAX-4. Исследование показало, что обломочные зерна кварца скреплены кремнистым цементом с характерным микрораковистым сколом; отчетливо видна открытая пористость (рис. 2Б). Изучение песчаника Восточно-Ташлинского карьера показало, что в цементирующей массе песчаника встречаются округлые пустоты (0,003-0,008 мм), выполненные пиритовыми и фосфор-содержащими фрамбоидальными образованиями. Очевидно, что данные образования являются проявлением активной бактериальной деятельности в бассейне седиментации, а формирование сосновских песчаников проходило в обстановке с дефицитом кислорода при активной деятельности магнетотактических бактерий [9, 10].

## Выводы

Образование песчаников сосновской толщи происходило в условиях континентальной педологической обстановки.

Активная бактериальная деятельность в условиях частых переходов суши в обширные заболоченные водоемы подтверждается результатами электронно-микроскопического и микронзондового анализов песчаников.

## Библиография

1. Жукова Г.А., Турова А.В., Каримова Х.Х. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневолжская. Лист N-39-XIII (Ульяновск). – Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 194 с.
2. Жукова Г.А., Турова А.В., Каримова Х.Х. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Средневолжская. Лист N-38-XVIII (Майна). – Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 151 с.
3. Зорина С.О., Афанасьева Н.И., Хамада Н., Никашин К.И., Сокерин М.Ю. Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты): вещественный состав и происхождение. – Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2023. - № 1. (в печати).

4. Личман Т.И. Отчет о поисковых и поисково-оценочных работах по выявлению месторождений кварцевых песчаников и строительных песков для действующего Кучуровского щебеночного завода в Ульяновском, Сенгилеевском и Тереньгульском районах Ульяновской области, выполненных Ульяновской ПСП в 1986-1989 г.г. Горький, 1989. 5 кн., 572 с., 1 п., 24 л. Ульяновский филиал ТФГИ по Приволжскому федеральному округу. Инв. № 216. Фондовый источник.
5. Муравьев В.И., Цеховский Ю.Г., Каледа К.Г., Бабушкин Д.А., Суворов А.И. Процессы окремнения в палеогеновых песчаниках Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1997. Т. 2. С. 150-162.
6. Цеховский Ю.Г. Седиментогенез и геодинамика в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенеппленезации континентов. Сообщение 1. Центральная и восточная Евразия // Литосфера. – 2015. – № 1. – С. 5–23.
7. Boggs S. (Jr) Petrology of sedimentary rocks. Second edition. – Cambridge University Press, 2009. – 600 p.
8. Collinson J.D., Mountney N.P., Thompson D.B. Sedimentary structures. Third edition. – Terra Publishing, Harpenden. 2006. – 358 p.
9. Farina M., Esquivel D.M.S, de Barros H.G.P.L. Magnetic iron-sulphur crystals from a magnetotactic microorganism. – Nature. – 1990. – V. 343. – P. 256–258.
10. Raiswell R, Berner R A. Pyrite formation in euxinic and semi-euxinic sediments // American Journal of Science. – 1985. – V. 285. – P. 710–724.

*О природе окраски некоторых сложных силикатов щелочных пород. Шендрик Р. Ю.\* (ИГХ СО РАН, r.shendrik@gmail.com), Канева Е. В. (ИГХ СО РАН, kev604@mail.ru), Радомская Т.А. (ИГХ СО РАН, taniaojigova@mail.ru)*

## Аннотация

Представлены результаты комплексного исследования синей окраски некоторых силикатов щелочных пород, связанной с радиационно-наведенными анион-радикалами.

## Ключевые слова

Фторкарлтонит, природа окраски, карбонатные радикалы

## Источники финансирования

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–27–00183, <https://rscf.ru/project/22-27-00183/>.

## Теория

Щелочные массивы отличаются огромным разнообразием различной минерализации. Зачастую минералы, в том числе силикатные, содержат структурные примеси лантаноидов или переходных металлов, которые проявляют хромофорные и люминесцентные свойства.

Окраска таких минералов и ее изменение при нагревании часто связана с наличием примесных катионов  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  (Taran, 2005),  $Mn^{2+}/Mn^{4+}$  (Kaneva, 2020),  $Cr^{3+}$  (Taran, 1994) и других. Различное соотношение между такими ионами и их позиция в кристаллической решетке определяет цвет минералов. Другой причиной интенсивной окраски минералов могут быть анион-радикалы, которые образуются в результате сложных магматических и метасоматических процессов, реже совмещенных с воздействием ионизирующего излучения.

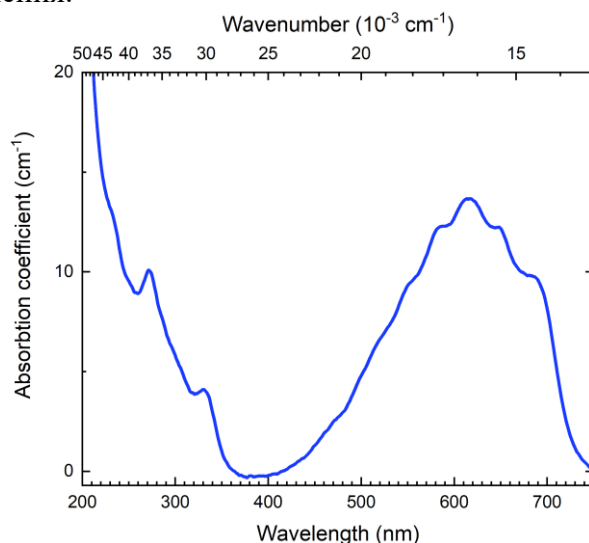
В настоящей работе мы рассмотрим природу окраски, механизм ее возникновения и обесцвечивания в редких слоистых силикатах – карлтоните и фторкарлтоните. А также покажем, что аналогичную природу окраски имеют ряд микропористых минералов групп скаполита (Chukanov, 2022), канкринита (Shendrik, 2021) и берилла (Pinheiro, 2007). Фторкарлтонит –  $KNa_4Ca_4Si_8O_{18}(CO_3)_4F \cdot H_2O$  – очень редкий и относительно новый минерал, имеющий нежный голубой цвет, был впервые описан в работе (Kaneva, 2020). Он встречается в ассоциации с чароитом на Северном участке месторождения Сиреневый камень (Мурунский массив, Алдан). Фторкарлтонит является F-аналогом карлтонита –  $KNa_4Ca_4Si_8O_{18}(CO_3)_4(OH) \cdot H_2O$  – редкого минерала, который был назван в честь Карлтонского университета в Оттаве, Канада. Фторкарлтонит и карлтонит представляют собой пример твердых растворов, при котором F заменяется группой OH и наоборот в зависимости от условий образования.

До сих пор единственным известным месторождением карлтонита является карьер Пудрет в Квебеке, Канада. Минерал имеет разнообразие оттенков от бледно-

розовых до ярко-голубых и встречаются в виде массивных агрегатов или реже в виде призматических кристаллов длиной до 6 см. До начала 1990-х годов были доступны коллекционные экземпляры карлтонита, но в настоящее время найти качественные образцы в продаже практически невозможно. Поскольку наиболее продуктивная часть карьера Пудрет была затоплена, то маловероятно, что в будущем на рынок поступят новые образцы этого минерала. Однако карлтонит и фторкарлтонит были обнаружены в чароитовых породах Мурунского массива. Коммерческая добыча этого редкого и привлекательного камня только началась, и вскоре ожидается, что этот материал поступит на ювелирный рынок. Крупные прозрачные кристаллы фторкарлтонита коллекционного качества еще не обнаружены, но имеющийся на рынке материал имеет поделочную и декоративную ценность (Kaneva, 2022).

В настоящей работе с помощью многометодного подхода была исследована природа окраски карлтонита и фторкарлтонита. Для исследований использовались методы кристаллохимии, электронной, колебательной и ЭПР спектроскопии, а также теоретические квантово-химические расчеты из первых принципов.

Голубая окраска фторкарлтонита и карлтонита связана с широкой полосой поглощения в области 600 нм (рис. 1), которая вызвана электронными переходами в анион-радикалах  $(\text{CO}_3)^{\bullet -}$ , где  $\bullet$  – показывает наличие неспаренного электрона. Данный вывод о природе окраски подтверждается результатами электронной спектроскопии, ЭПР и квантово-химическими расчетами. Анион-радикалы  $(\text{CO}_3)^{\bullet -}$  образовались в кристаллической структуре фторкарлтонита в результате длительного воздействия ионизирующего излучения.



**Рисунок 1.** Спектр поглощения фторкарлтонита, измеренный при комнатной температуре

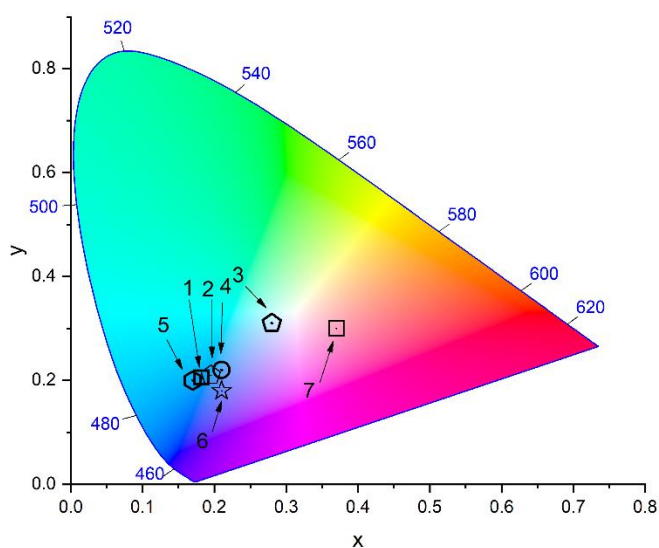
В настоящей работе были исследованы механизмы обесцвечивания кристаллов фторкарлтонита путем их нагревания, а также восстановления окраски путем облучения рентгеновским излучением или вакуумным ультрафиолетом с длиной волны  $\lambda < 160$  нм. Интенсивность окраски фторкарлтонита уменьшается вдвое при нагреве выше 300 °С, а полностью бесцветным образец становится при нагреве выше 400 °С. При этом окраска фторкарлтонита устойчива к федингу инфракрасным, видимым и ультрафиолетовым излучением.

Ранее было показано, что подобные анион-радикалы являются причиной голубой окраски Максис-берилла (Pinheiro, 2007), голубого канкринита (Shendrik,

2021), а также глауколита – синего  $\text{CO}_3$ -содержащего мейонита (Chukanov, 2022). Для понимания механизмов возникновения окраски была исследована собственная люминесценция фторкарлтонита по методике, описанной в работе (Kaneva and Shendrik, 2022). Установлено, что фторкарлтонит начинает окрашиваться при облучении светом с длиной волны близкой к энергии выхода анионов фтора из узла, что подтверждает ранее предложенный в работе (Kaneva and Shendrik, 2022) экситонный механизм образования карбонатных анион-радикалов. В этом случае происходит распад электронных возбуждений вблизи карбонатных групп с образованием вакансий галогенов (фтора в случае фторкарлтонита и хлора в случае канкринита и мейонита), захватывающих электроны – F-подобные центры, и анион-радикалов  $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ . Так как электронные уровни F-подобных центров и  $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$  анион-радикалов расположены глубоко в запрещенной зоне фторкарлтонита, то наведенная радиационная окраска сохраняется при высоких температурах и не подвержена фотообесцвечиванию, что делает обработку и использование фторкарлтонита в качестве сырья для декоративных украшений достаточно перспективным.

На рис. 2 представлены цветовые координаты окраски фторкарлтонита, карлтонита, канкринита (Shendrik, 2021), Максис-берилла (Pinheiro, 2007) и мейонита (Слюдянка). Видно, что окраска мейонита немного отличается от фторкарлтонита, что вызвано искажением геометрии карбонатного радикала окружающими его катионами в мейоните. Важным является вопрос возникновения розовой окраски карлтонита, которая также может встречаться. С одной стороны, это может быть просто необлученный или прогретый образец. Однако встречаются розовые образцы мейонита (Choudhary, 2015), в котором, судя по спектрам поглощения и комбинационного рассеяния, также присутствуют  $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$ , но одновременно с ними значительное количество катионов  $\text{Fe}^{3+}$ , которые имеют край поглощения в области 400-450 нм, что изменяет цвет окраски с голубой на пурпуровый или розовый. На основании исследований фторкарлтонита и карлтонита можно составить спектр поглощения гипотетического фторкарлтонита, содержащего значительную концентрацию  $\text{Fe}^{3+}$  ионов. Цветовые координаты такого образца приведены на рис. 2 (точка 7), и его окраска действительно имеет розовый оттенок. При уменьшении концентрации железа его оттенок будет приближаться сначала к фиолетовому, а потом к голубому.

CIE 1931



**Рисунок 2.** Диаграмма хроматичности с цветовыми координатами различных минералов, содержащих  $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$  анион-радикалы: 1) Фторкарлтонит (Мурун), 2) Карлтонит (Пудрет), 3) термически обесцвеченный фторкарлтонит, 4) Максис-берил (Pinheiro, 2007), 5)



облученный канкринит (Shendrik, 2021), б)  $\text{CO}_3$ -содержащий мейонит (Слюдянка), 7) гипотетический образец  $\text{Fe}^{3+}$ -содержащего фторкарлтонита или карлтонита.

## Выводы

Установлено, что окраска целого ряда силикатных минералов – фторкарлтонита, карлтонита, канкринита и мейонита может быть вызвана радиационно-наведенными  $(\text{CO}_3)^{\cdot-}$  анион-радикалами. Показано, что голубая окраска таких минералов достаточно легко наводится ультрафиолетовым или рентгеновским облучением. Вместе с тем она имеет достаточно высокую стойкость к термо- и фото-обесцвечиванию, что делает фторкарлтонит и карлтонит перспективными поделочным материалом.

## Библиография

1. Choudhary, G. Purple scapolite // GEMS & GEMOLOGY. – 2015. – V. 51. – P. 202–203.
2. Chukanov, N. V., Shchipalkina, N. V., Shendrik, R. Yu., Vigasina, M. F., Tauson, V. L., Lipko, S. V., Varlamov, D. A., Shcherbakov, V. D., Sapozhnikov, A. N., Kasatkin, A. V., Zubkova, N. V., Pekov, I. V. Isomorphism and Mutual Transformations of S-Bearing Components in Feldspathoids with Microporous Structures. // Minerals. – 2022. – V. 12. – P. 1456
3. Kaneva, E., Radomskaya, T., Shendrik, R. Fluorcarletonite—A New Blue Gem Material. // Journal of Gemmology. – 2022. – V. 38. – P. 376.
4. Kaneva, E., Radomskaya, T., Suvorova, L., Sterkhova, I., Mitichkin, M. Crystal chemistry of fluorcarletonite, a new mineral from the Murun alkaline complex (Russia). // European Journal of Mineralogy. – 2020. – V. 32. – P. 137–146.
5. Kaneva, E., Shendrik, R. Radiation defects and intrinsic luminescence of cancrinite. // Journal of Luminescence. – 2022. – V. 243. – P. 118628.
6. Kaneva, E.V., Shendrik, R., Radomskaya, T.A., Suvorova, L.F. Fedorite from Murun Alkaline Complex (Russia): Spectroscopy and Crystal Chemical Features. // Minerals. – 2020. – V. 10. – P. 702-726
7. Pinheiro, M., Krambrock, K., Guedes, K., Spaeth, J.-M. Optically-detected magnetic resonance of molecular color centers  $\text{CO}_3^-$  and  $\text{NO}_3^-$  in gamma-irradiated beryl // Physica Status Solidi C. – 2007. – V. 4. – P. 1293–1296.
8. Shendrik, R., Kaneva, E., Radomskaya, T., Sharygin, I., Marfin, A. Relationships between the Structural, Vibrational, and Optical Properties of Microporous Cancrinite. // Crystals. – 2021. – V. 11. – P. 280.
9. Taran, M.N., Koch-Müller, M. & Langer, K. Electronic absorption spectroscopy of natural  $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})$ -bearing spinels of spinel s.s.-hercynite and gahnite-hercynite solid solutions at different temperatures and high-pressures. // Physics and Chemistry of Minerals. – 2005. – V. 32. – P. 175–188.
10. Taran, M.N., Langer, K., Platonov, A.N., Indunty, A. A. Optical absorption investigation of  $\text{Cr}^{3+}$  ion-bearing minerals in the temperature range 77–797 K. // Physics and Chemistry of Minerals. – 1994. – V. 21. – P. 360–372.

*Сравнительная минералого-геохимическая характеристика латеритных бокситов фанерозоя и докембрия на примере месторождений Индии, Гвинеи, Сибири, КМА и Монголии. Слукин А.Д. \*, Боева Н.М., Шипилова Е.С., Макарова М.А., Внучков Д.А., Мельников Ф.П. (Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, боева@igem.ru), Жегалло Е.А., Зайцева Л.В. (Палеонтологический институт РАН)*

## Аннотация

Прослежена судьба главных минералов глинозема: гиббсита, бёмита, диаспора и корунда в латеритных профилях, их взаимоотношения, последовательность образования и эволюция в геологической истории. Исследованием были охвачены классические бокситоносные коры выветривания (КВ) Индии и Гвинеи, где формирование латеритных профилей предположительно началось в третичное время и продолжается по сей день, а также мел-палеогеновые осадочные и латеритные бокситы Чадобецкого поднятия, раннекаменноугольные бокситы КМА и докембрийские бокситы Монголии

## Ключевые слова

Латеритные бокситы, гиббсит, бёмит, диаспор, корунд

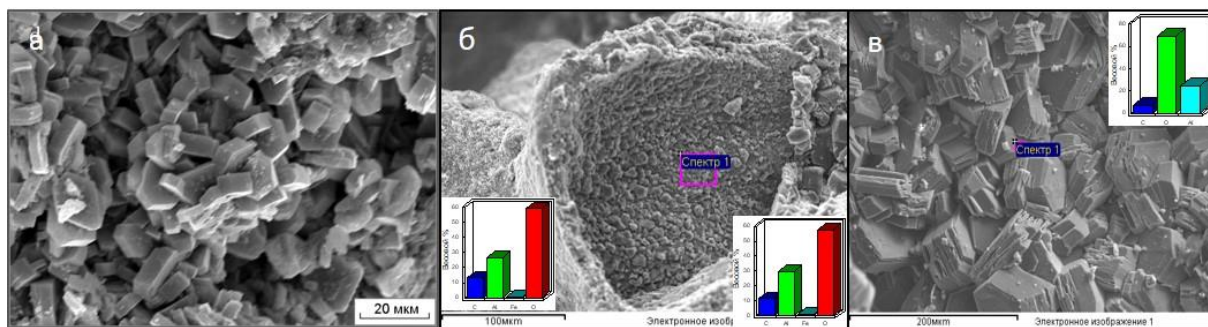
## Источники финансирования

Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН 121041500220-0.

## Теория

Прослежена судьба главных минералов глинозема: гиббсита, бёмита, диаспора и корунда в латеритных профилях, их взаимоотношения, последовательность образования и эволюция в геологической истории. Исследованием были охвачены классические бокситоносные коры выветривания (КВ) Индии и Гвинеи, где формирование латеритных профилей предположительно началось в третичное время и продолжается по сей день, а также мел-палеогеновые осадочные и латеритные бокситы Чадобецкого поднятия, раннекаменноугольные бокситы КМА и докембрийские бокситы Монголии. Установлены переходы: алюмосиликаты → аллофан и монтмориллонит, галлуазит, каолинит, гиббсит. Молодые бокситы на кварцсодержащих породах обычно высокопористые и сложены хорошо окристаллизованным гиббситом (рис. 1а). Их содержание достигает 98 мас. %. Кристаллы обладают высокой чистотой и их химический состав отвечает формуле  $Al(OH)_3$ . Обнаружены также рентгеноаморфные выделения глинозема с высокими концентрациями  $TiO_2$  (до 3 мас. %). Титан находится в сорбированном состоянии и равномерно распределен в массе глинозема. Бокситы пронизаны биоминеральными пленками, которые при старении раскристаллизовались и превратились в биоморфозы гиббсита, гематита и гётита. Нами установлено, что растворение кварца происходит при активном участии биоминеральных пленок, которые превращаются в щетки пластинчатых кристаллов гиббсита. Бокситы обильно пронизаны ходами роющих

организмов, особенно в зоне педотурбации [4]. В ходах находятся продукты пищеварительного тракта организмов, состоящие из тонкоперемолотых кристаллов гиббсита. Они частично или полностью перекристаллизованы и превращены в протяженные друзы одномерных кристаллов гиббсита, кристалломорфологически отличающихся от гиббсита в матрице (рис. 1). Роющие организмы производят мощное биомеханическое, биохимическое и биогеохимическое воздействие на латериты. Нами установлено, что дождевые щетинковые черви смачивают свою слизью поверхность кварца и затем просверливают в нем скважины-ходы. Цилиндрические стенки скважин облекаются шламом, а биопленки раскристаллизовываются в трубчатый галлуазит. В кавернах за пределами скважин комочки продуктов тракта раскристаллизованы в гиббсит, галлуазит и сидерит. На первый взгляд эти процессы могут показаться незначительными, однако, следует учитывать, что формирующиеся коры выветривания перманентно, синхронно, частично размываются, денудируются и аккумулируются в бассейнах седиментации в виде картстовых и других осадочных бокситов. И эти бокситы подвергались воздействию роющих организмов *in situ* в коре выветривания на пути переноса и в бассейнах аккумуляции.



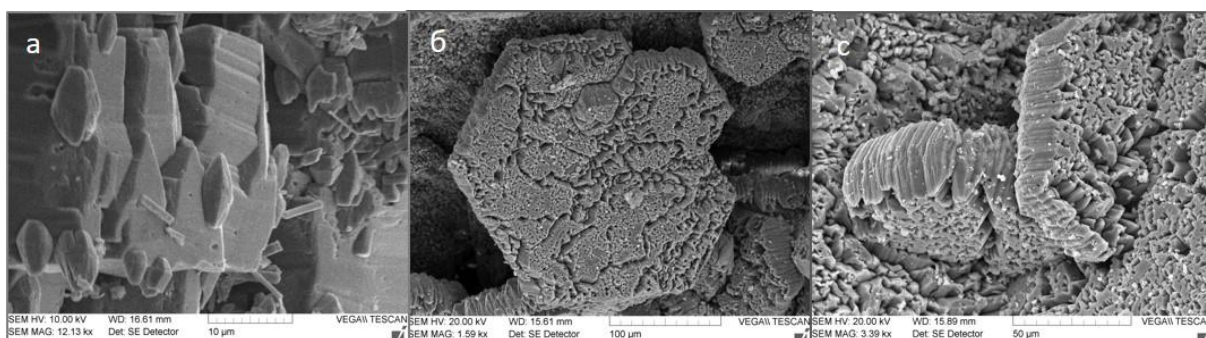
**Рисунок 1.** Кристаллы гиббсита в матрице латеритных бокситов – а, на биопленке – б, в ходах роющих организмов – в. СЭМ.

В основных породах (долеритах, базальтах) отсутствует кварц. Здесь при выветривании не создается пустых пространств. Все породообразующие минералы замещаются псевдоморфозами гипергенных минералов, в том числе монтмориллонитом, который слагает многометровые толщи (4-15 метров в Индии, до 56 метров в Сибири) ниже зон каолина и боксита. Во время муссонных дождей монтмориллонит сильно разбухает и тампонирует пути фильтрации вод. Возникает сезонная псевдоглеевая обстановка в которой  $Fe^{3+}$  восстанавливается, растворяется и выносится из каолинов, бокситов, латеритов. Образуются белые плотные (2,46 г/см<sup>3</sup>, пористость 11,3 %) бёмит-гиббситовые бокситы (талб.1, Индия). В порах обнаружены гексагональные табличатые кристаллы гиббсита, бёмит находится в скрытокристаллической форме в тесной смеси с гиббситом, его присутствие явно фиксируется на термограммах и рентгенограммах.

Таблица 1. Химический состав бокситов и их минералов (масс. %).

Месторождения	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>
Амаркантак (Индия)	-	1,57	71,93	3,0	-	22,14
Кач 1 (Индия)	0,9	6,35	57,04	4,12	-	30,47
Кач 2 (Индия)	3,0	6,38	62,98	8,52	-	14,6
Джангалгали (Индия)	0,9	2,25	82,01	0,71	-	14,56
Алагульское бокситы (Монголия)	0,98	3,18	60,54	17,48	6,48	9,41
Алагульское корундиты (Монголия)	2,85	3,12	82,37	3,44	1,84	5,34

В палеоценовых пизолитовых бокситах п-ова Кач установлено, что обломки псевдоморфных бокситов состоят из гиббсита с примесью рутила и гематита, но пизолиты имеют гиббсит-бемитовый состав (табл. 1, Кач) [7]. В Гвинее на месторождении Сангареди в бокситах обнаружены дипирамидальные кристаллы гиббсита, замещенные чечевицеобразными кристаллами бёмита [6]. На месторождениях КМА в бокситах на кварц-серицит-хлоритовых сланцах обнаружены превращения кристаллов гиббсита в бёмит (рис. 2а). Цепочки кристаллов бёмита располагаются зигзагообразно и в этом усматривается система направлений связей атомов кислорода с ОН-группами [1,5]. В эоценовых осадочных месторождениях бёмит-диаспоровых бокситов штата Джамму и Кашмир в Индии было установлено, что они являются продуктами денудации 4 латеритизированных пород: панджальских траппов, кварц-мусковит-хлорит-полевошпатовых сланцев, агломератов и фосфоритов [2]. Бокситы подверглись динамометаморфизму, пизолиты были сплющены, их плотность достигла 3,13 г/см<sup>3</sup>, и они превратились в скальные каменные породы. Многочисленные обломки латеритных бокситов сложены идиоморфными кристаллами диаспора (рис. 3а), цемент и пизолиты – смесью бёмита и диаспора (табл.1, Джангалгали). Алагульское месторождение в Монголии представляет собой тектонический блок внутри гипербазитового массива [3,8]. Бокситы при этом рассматриваются как хемогенно-осадочные породы прибрежных фаций, которые претерпели изменения в условиях, которые отвечают низам эпидот-амфиболовой-верхам зеленосланцевой фации метаморфизма. Бокситы – очень твёрдые, плотные до яшмовидных, руды бурого, черного цвета (табл.1, Монголия, химический состав (бороздовая проба, 35 метров)). Минеральный состав (мас. %): диаспор – 50,6; корунд – 14,0; гётит – 13,0; хлорит – 4,5; шпинель – 3,1; ильменит – 6,7; магнетит – 8,1. В бокситах имеется большое количество обломков корундитов размером до нескольких кубометров. Нами обнаружены выходы коренных корундитов – твердейших, пористых пород серого цвета, мощностью 2-3 м и длиной 5-10 м (табл.1). Минеральный состав (мас. %): корунд – 42,5-64,4; диаспор – 16,5-32,8; хлорит – 0-2; каолинит – 2,3-11,0; рутил – 0,8-3,3; ильменит – 0-10; гематит + гётит – 4,9-5,9; шпинель – 0-2,2. Корунд находится в виде столбчатых кристаллов, а диаспор в виде тонких пластинчатых кристаллов (до 8×10 см<sup>2</sup>) по трещинам скольжения.



**Рисунок 2.** Замещение кристаллов гиббсита бёмитом – а, вид поверхности базопинакоида – б, вид сбоку – с. СЭМ.

## Выводы

В молодых латеритных бокситах главным минералом является гиббсит или смесь гиббсита и бёмита, в зависимости от минерального состава материнских пород. В более древних породах или при воздействии процессов метаморфизма, гиббсит замещается бёмитом и диаспором. Докембрийские бокситы сложены диаспором и

корундом. Установлено, что изученные докембрийские бокситы не содержат повышенных концентраций калия. Очевидно, что кислорода в атмосфере было достаточно для полного окисления железа в бокситах. Химический состав докембрийских бокситов принципиально не отличается от бокситов фанерозоя.



**Рисунок 3.** Диаспор, Джангалгали – а, диаспор, Алагульское – б, корунд, Алагульское – в. СЭМ.

### Библиография

1. Боева Н.М., Макарова М.А., Шипилова Е.С., Слукин А.Д., Соболева С.В., Жегалло Е.А., Зайцева Л.В., Бортников Н.С. Гиббсит и бёмит в латеритизированных корах выветривания разного возраста: особенности условий нахождения и образования // ДАН. Наука о Земле. 2022. Т. 504. № 2. С. 29-39. DOI: 10.31857/S2686739722060044.
2. Бортников Н.С., Новиков В.М., Боева Н.М., Гендлер Т.С., Жегалло Е.А., Жухлистов А.П., Соболева С.В. Биогенный наногётит в коре выветривания базальтов Вьетнама – кристалломорфологические, термические и магнитные свойства // ДАН. 2014. Т. 457. № 5. С. 568–572.
3. Пинус Г.В., Агафонов Л.В., Зайцев Н.С., Баярхуу Ж. Докембрийские диаспоровые бокситы Монголии // Новосибирск. Наука. 1981. 97 С.
4. Слукин А.Д., Бортников Н.С., Жегалло Е.А., Жухлистов А.Д., Боева Н.М. Гиббсит и каолинит в зоне биологической педотурбации латеритного профиля: разные судьбы (на примере месторождений Сибири, Индии, Гвинеи и Бразилии) // ДАН. 2014. Т. 458. № 5. С. 572–577.
5. Boeva N.M., Bortnikov N.S., Slukin A.D., Shipilova E. S., Makarova M. A., Melnikov Ph. P. Biofilms and biominerals in the lateritic weathering crust as exemplified by the Central bauxite deposit (Siberian platform, Russia) // Minerals. 2021. № 11. P. 1184. <https://doi.org/10.3390/min11111184>.
6. Mamedov V.I., Boeva N.M., Makarova M. A., Shipilova E. S., Melnikov Ph. P. The Problem of the Formation of Boehmite and Gibbsite in Bauxite-Bearing Lateritic Profiles // Minerals. 2022. № 12. P. 389. <https://doi.org/10.3390/min12030389>. Q2. 21 March 2022.
7. Nandi A.K., Slukin A.D. Essential differences in mineralogy and geochemistry of Indian lateritic bauxites formed and acid and basic rocks // Travaux ICSOBA. Zagreb. 1983. V13. №18. P.145-155.
8. Slukin A.D. Boyarskaya R.V., Nandi A.K. Mineralogy of lateritic products and bauxites on khondalites, Eastern Ghats, India // Weathering: it's products and deposits Theophrastus publ. S.A., Athens, Greece. 1989. V.11. P.101-112.

*Секция №6. Геммология и технология художественной обработки материалов.*

*Изучение внутренних особенностей природного цимофана. Александрова А.Е.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [nastasya.aleksandrova.98@bk.ru](mailto:nastasya.aleksandrova.98@bk.ru)), Романова Е.И. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [romanovaei@mgri.ru](mailto:romanovaei@mgri.ru))*

**Аннотация**

Часто в желтом хризоберилле встречаются многочисленные микроскопические каналы, параллельные главной оси кристалла. Они могут быть разной величины, полыми или заполненными. При огранке таких кристаллов в виде кабошона, становится различной широкая полоса света, пересекающая ограниченную поверхность, и напоминающая кошачий глаз. Именно такие хризобериллы и называются цимофанами. Химический состав  $BeAl_2O_4$ , а основная примесь  $Fe^{3+}$ .

Оптический эффект переливчатости лучше всего наблюдается в полированных кабошонах, но часто виден на ещё необработанном сколе или срезе камня при его повороте. Такие минералы, как кварц с включениями волокнистых минералов, турмалин с системой микроскопических взаимно параллельных внутренних каналов-пустот, ориентированных вдоль основной оси, скаполит, фибролит (волокнистый силлиманит), параллельно-волокнистые сорта нефрита и диопсид также могут обладать эффектом "кошачьего глаза". Если термин "кошачий глаз" употребляется без указания минерала, то он относится к хризобериллу (цимофан)[4].

В процессе исследования было описано 3 образца хризоберилла из коллекции кафедры Минералогии и геммологии МГРИ, из них 2 природных цимофана и 1 природный александрит с эффектом «кошачьего глаза». Фотографии сделаны через микроскоп МБС-10 с цифровой камерой.

**Ключевые слова**

Цимофан, хризоберилл, эффект «кошачий глаз», драгоценные камни

**Теория**

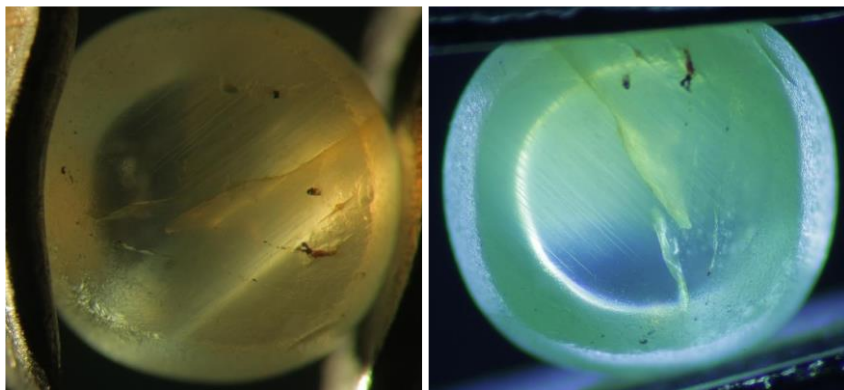
Цимофан – это непрозрачная разновидность хризоберилла. Минерал обладает эффектом «кошачий глаз». Химическая формула хризоберилла  $BeAl_2O_4$ . Хризоберилл является довольно твердым минералом – 8,5 по шкале Мооса [4]. Он обладает хорошей прозрачностью и красивым стекляннным блеском, показатель преломления 1,744-1,758, оптически двуосный, двупреломление 0,007-0,011, плотность 3,73  $г/см^3$  [3]. Устойчивая окраска хризоберилла обусловлена примесями хрома и трехвалентного железа. Чаще всего кристаллы этого минерала имеют трещины и различные включения. Хризоберилл устойчив к воздействию кислот и достаточно прочный [1]. Облагораживание хризоберилла производится в основном для улучшения цвета и повышения чистоты различными способами: промасливание, облучение, термообработка. Цены на обработанные цимофаны варьируют от 50 до 6000 USD за карат в зависимости от цвета и качества. Стоимость александрита с хорошей сменой

цвета варьируется от 5000 до 37 000 USD за карат. При этом, цена александрита зависит от их цвета, чистоты и веса. Не смотря на высокую стоимость драгоценного камня, спрос на него не падает, из-за его уникальных свойств.

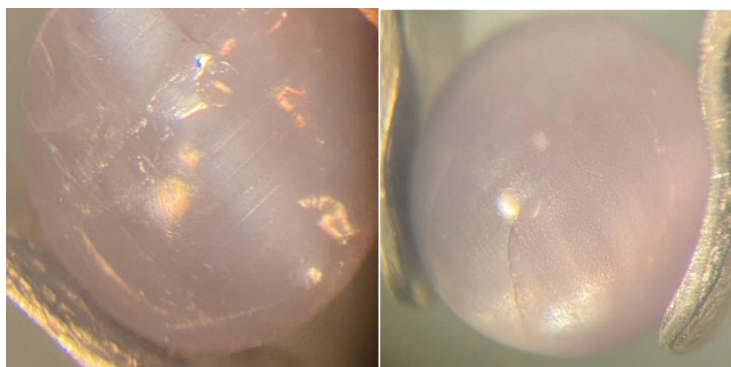
При микроскопическом изучении природных хризобериллов наблюдается большое количество флюидных - углекислотно-водных включений, расположенных хаотично или параллельно плоскостям, создавая рисунок подобный отпечатку пальца. Реже встречаются двухфазные газово-жидкие включения вытянутой формы, в которых преобладает доля газовой фазы. В зеленоватых и зеленовато-желтых хризобериллах встречаются участки буровато-коричневого цвета, вызванного наличием мельчайших точечных включений черного цвета, по-видимому, оксидов или гидроксидов железа. Локально встречаются маленькие, серого цвета включения ильменита, при большом скоплении которых, минерал становится непрозрачным. Как правило, густо окрашенные александриты содержат больше включений и трещин в отличие от светлых разновидностей хризоберилла, которые могут вообще не содержать включений. Иногда в александрите отмечаются иглы золотистого рутила, гетита, а также включения асбеста, радиальные волокна которого по форме напоминают маленьких ежей [2]. Часто в желтом хризоберилле встречаются многочисленные микроскопические каналы, параллельные главной оси кристалла, которые создают эффект "кошачьего глаза".

Хризоберилл относится к очень редким камням. Он образуется в гранитных пегматитах, слюдяных сланцах и аллювиальных отложениях. В основном цимофан добывается на Шри-Ланке (Провинция Сабарагамува, Район Ратнапура, Курувита; Ратнапура, Драгоценный гравий), Мадагаскаре (Аналаманга, Анказобский район, Андраномиади, Мариволанитра; Бецибока, Маеватанана, Морафено, Антанетибе; Верхняя Матсиатра, Икаламавони, Фитампито, Анданоа; Менабе, Миандривазо, Аналадихирина) и в России (Урал, Мариинский прииск), ДР Конго (Касаи Аллювиальные образования реки Касаи). Главным геологопромышленным типом месторождений цимофана являются аллювиальные россыпи. Россыпи р. Санарки, где изредка попадаются красивые кристаллические гальки зеленовато-желтого или даже ярко-желтого хризоберилла на Павловском прииске по этой реке и в приисках на водоразделе рек Каменки и Санарки.

Наиболее предпочтительными видами огранки александрита ранее считались полная ступенчатая и полная смешанная со скошенными углами. В последнее время максимальной цветовой игры камня и наиболее яркого проявления «александритового эффекта» достигают, задавая при огранке углы наклона между шипом и основанием по специально разработанным ТУ бриллиантовых огранок («маркиз», «овал» и др.), цимофан обрабатывают кабошоном, что выявляет и усиливает эффект кошачьего глаза [2].

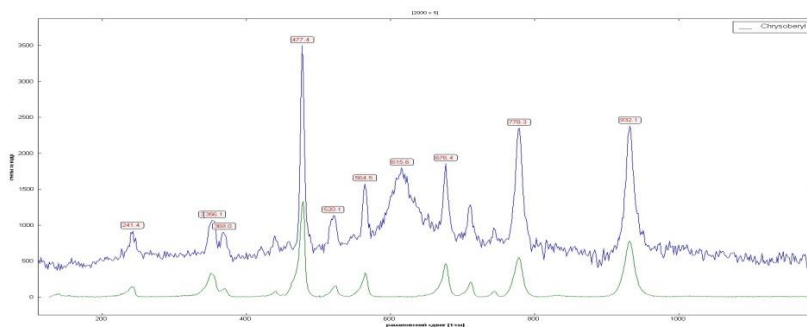


**Рисунок 1.** Каналы в природном цимофане.



**Рисунок 2.** Каналы и включения рутила в цимофане.

Образцы природных цимофанов и александритов с эффектом «кошачьего глаза» были изучены с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния. При изучении КР-спектров необлагороженных цимофанов, были выявлены характерные для этого минерала пики (Рис. 3): 241,4 ( $\text{см}^{-1}$ ); 356,1 ( $\text{см}^{-1}$ ); 369 ( $\text{см}^{-1}$ ); 477,4 ( $\text{см}^{-1}$ ); 520,1 ( $\text{см}^{-1}$ ); 564,5 ( $\text{см}^{-1}$ ); 615,6 ( $\text{см}^{-1}$ ); 676,4 ( $\text{см}^{-1}$ ); 778,3 ( $\text{см}^{-1}$ ); 932,1 ( $\text{см}^{-1}$ ).



**Рисунок 3.** КР-спектр. Желтый цимофан (синий) с эталоном (зелёный).

При изучении природных не облагороженных александритов, были выявлены характерные пики (Рис. 4): 350,6 ( $\text{см}^{-1}$ ); 370,1 ( $\text{см}^{-1}$ ); 446,9 ( $\text{см}^{-1}$ ); 478,8 ( $\text{см}^{-1}$ ); 519,4 ( $\text{см}^{-1}$ ); 547,7 ( $\text{см}^{-1}$ ); 640,1 ( $\text{см}^{-1}$ ); 677,6 ( $\text{см}^{-1}$ ); 779,5 ( $\text{см}^{-1}$ ); 934,3 ( $\text{см}^{-1}$ ). В образце александритового кошачьего глаза видны многочисленные игольчатые включения (Рис. 5). На КР-спектрах были выявлены пики, относящиеся к рутилу (Рис. 6).



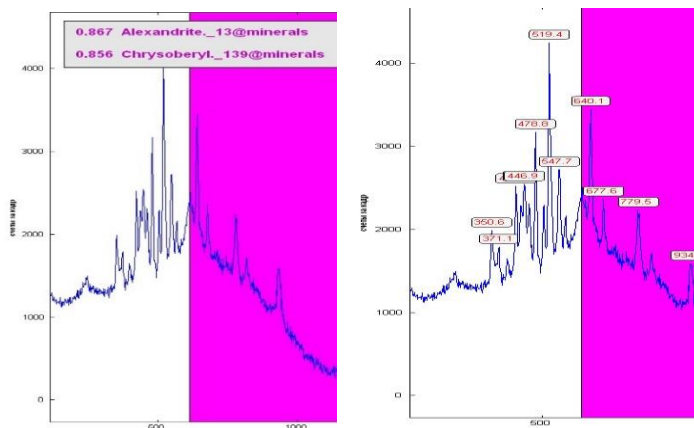


Рисунок 4. КР-спектры александрита с эффектом «кошачий глаз»

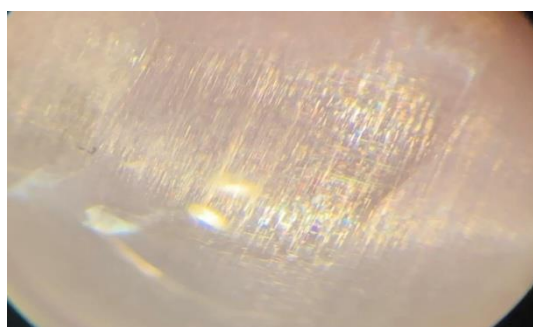


Рисунок 5. Включения рутила в александрите

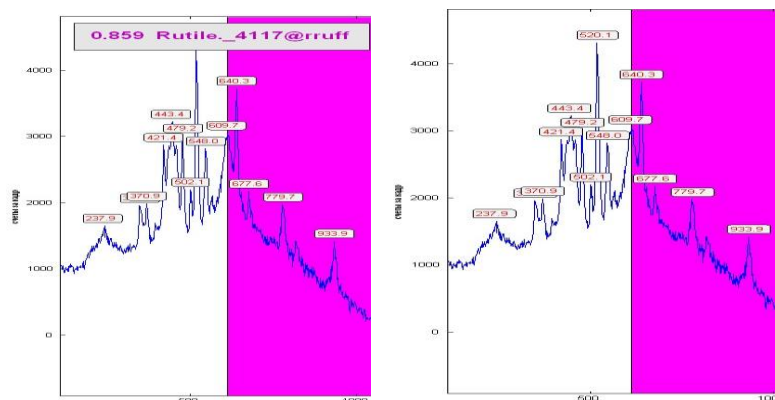


Рисунок 6. КРС. Александритовый кошачий глаз с рутилом

## Выводы

Эффект «кошачьего глаза» в цимофанах и александритах обусловлен отражением света от микроскопических полых каналов или включений рутила, ориентированных параллельно одной из кристаллографических осей. Благодаря КРС спектроскопии, определение природы эффекта «кошачий глаз», гарантирует достоверность полученных результатов.

## **Библиография**

1. Винник Д. А., Попов П. А., Арчугов С. А., Михайлов Г. Г. Теплопроводность легированных хромом монокристаллов александрита // Докл. РАН. — 2009. — Т. 428, № 4. — С. 469—470.
2. Козлов, Юрий Сергеевич. Александрит. — М.: «Наука», 2003. — 74 с. — ISBN 5-02-002718-2. Архивная копия от 16 декабря 2014 на Wayback Machine.
3. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни. Издание: Недра, Москва, 1987 г.
4. Стоун, Джаспер. Всё о драгоценных камнях. — СПб.: «Кристалл», 2006. — 176 с. — ISBN 5-306-00346-X.

*Перспективы облагораживания жадеита методом гидротермальной перекристаллизации. Ахметшин Э.А. (РХТУ им. Д. И. Менделеева, [4966945@mail.ru](mailto:4966945@mail.ru)), Терехова А.Б.\* (РХТУ им. Д. И. Менделеева, [nastt2001@mail.ru](mailto:nastt2001@mail.ru))*

## Аннотация

В настоящее время существует проблема профицита низкосортного жадеита на складах горнодобывающих компаний и уходящего в продуктивный отвал несортного жадеита, что связано с невостребованностью такого сырья. Известные методы модифицирования жадеитов не обеспечивают надёжность, долговечность и идентичность результатов природным образцам. Разработка нового способа, удовлетворяющего перечисленным параметрам, позволит значительно увеличить доходы от эксплуатации месторождений.

Авторами рассматривается модифицирование низкосортного жадеитового сырья различными методами. При этом способ гидротермальной обработки, позволяющий получить существенные положительные результаты, выделен как наиболее перспективный. К примеру, перекристаллизация с использованием комбинированного активатора (соли натрия, хрома и свинца) при 350°C и ≈ 650 атм в течение 6 часов позволяет получить на светло-сером жадеите желаемую насыщенную ярко-зелёную окраску близкую к цвету имперяла.

## Ключевые слова

Жадеит, гидротермальная перекристаллизация, модифицирование жадеита

## Теория

Жадеит – моноклинный пироксен с химической формулой  $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ [4]. В природе, как правило, встречается не собственно жадеит, а жадеитовые породы – жадеититы. Наибольший интерес представляет зелёная разновидность, цвет которой обусловлен замещением ионов алюминия хромом в кристаллической решётке[6]. Широкое применение данный минерал находит в качестве ювелирного, ювелирно-поделочного, поделочного и даже облицовочного материала.

Самая распространённая и дешёвая разновидность в классификации жадеитового сырья получила название «утилити» или «банный камень» (в виду частого использования в банных помещениях). Самоцвет характеризуется зелёным неоднородным цветом и отсутствием просвечиваемости. Выше по стоимости и востребованности располагается сорт жадеита «коммерциал», который имеет практически однородный зелёный цвет и содержит прожилки полупрозрачного ярко-зелёного жадеита. Эта разновидность находит применение в ювелирной промышленности как ювелирно-поделочный камень. Наконец самый дорогой и востребованный сорт жадеита - «имперял», характеризующийся яркой, насыщенной и однородной зелёной окраской, высокой степенью просвечиваемости, сильным блеском, а также мелкозернистой структурой. Является самым востребованным сырьём для изготовления изделий с жадеитом [5], стоимость которых оценивается в несколько миллионов долларов США [7]. В то же время цена «банного камня» не превышает и 400 рублей за килограмм. Такое отличие в стоимости наглядно демонстрирует высокий

спрос на жадеит-империал. Обособленно от приведённой классификации находится так называемый несортной жадеит – неудовлетворяющее требованиям ТУ сырьё, которое зачастую уходит при освоении месторождения в отвальную массу.

В России разрабатывается несколько месторождений жадеита. Самое крупное - Борусское, где на начало 2021 года, например, на участке Кашкарак запасы жадеита-сырца составляли 812,1 тыс. тонн. При этом содержание ювелирного сырья оценивается приблизительно в 350 кг (содержание - 0,00004%) [1]. На более мелком месторождении Пусьерка запасы жадеита-сырца оценены в 347 тонн, в том числе ювелирного – 46 кг (0,013%) [2]. Из приведённых данных можно сделать очевидный вывод, что доля низкосортного дешёвого жадеита абсолютно доминирует над долей дорогостоящего империала.

При этом в России жадеит относится к номенклатуре ювелирно-поделочных камней, но вывоз сырья за пределы страны ограничен на основании документа «Виды минерального сырья, ограниченные к перемещению через таможенную границу Таможенного союза при вывозе» пункт 1.6, код товара по единой Товарной номенклатуре внешнеэкономической деятельности Таможенного союза – 7103 10 000 0 – «Жадеит благородный». Наряду с ограничением вывоза жадеитового сырья за пределы страны спроса на него среди россиян практически не наблюдается. В итоге компании, занимающиеся добычей жадеита, сталкиваются с двойной проблемой: вывоз сырья за пределы страны ограничен, а в самой стране отсутствует к нему интерес. Результатом сложившейся ситуации является профицит на складах низкосортного и несортной жадеита, который не приносит никакой прибыли.

В настоящее время предложено несколько методов облагораживания низкосортной жадеита: крашение химическими красителями, пропитка различными маслами и полимерами. Однако получаемые изменения недолговечны и заметно отличаются от естественной зелёной окраски камня. Следовательно, существует необходимость в разработке эффективного метода облагораживания некондиционного сырья, результатом которого будет повышение его сортности, что позволит значительно увеличить прибыль от продаж и роль жадеита в экономике России. Перспективным способом модифицирования жадеита может стать перекристаллизация в гидротермальных условиях, так как сам процесс аналогичен протекающему в природе. Следовательно, результаты обработки в этих условиях, предположительно, будут аналогичны натуральному жадеиту и не диагностируемы лабораторными методами. Суть процесса перекристаллизации заключается как в растворении вещества в одной области кристалла, так и в привносе его извне с последующим переотложением в другой [3]. При этом в случае, когда в растворе присутствуют дополнительные вещества, они же будут обнаруживаться в переотложенной фазе (например, ионы-хромофоры). Таким образом, зелёной окраски жадеита при гидротермальной перекристаллизации можно добиться путём введения в раствор ионов хрома.

Работы в данном направлении получили своё начало на кафедре химии и технологии кристаллов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева под руководством Ахметшина Э. А. Серии экспериментов проводились с изменением различных факторов: температура, состав активатора гидротермального раствора, время выдержки и концентрация раствора. Предварительно были установлены температуры устойчивости жадеита до 970°C. При больших температурах после остывания обнаруживается стеклофаза. При обработке образцов солевыми расплавами при температурах, близких к температуре плавления жадеита, наблюдается

его деградация. Таким образом, расплавные и раствор-расплавные методы не приводят к положительным изменениям при модифицировании жадеитового сырья.

Для экспериментов по гидротермальной перекристаллизации была изготовлена гидротермальная ячейка - изоградиентный автоклав, обеспечивающий обтюрацию и сохранение раствора до температуры 600°C при давления до 1000 атм. Для исследований были подготовлены образцы светло-серого низкосортного жадеита. Затем образец с минерализатором и растворителем помещались в гидротермальную ячейку, которая герметично закрывалась, помещалась в резистивную печь, нагревалась, выдерживалась определённое время при заданной температуре, после этого печь выключалась, ячейка остывала, вскрывалась и разгружалась.

В серии экспериментов № 1 (рис.1) гидротермальная перекристаллизация проводилась при 300°C и  $\approx$  600 атм в течение 4 часов. В качестве минерализаторов использовались хромат и хлорид натрия. Результат экспериментов – поверхностный слой исходного светло-серого жадеита приобрёл бледно-зелёную окраску.



**Рисунок 8.** Серия № 1, слева направо: эталонный образец светло-серого жадеита до гидротермальной обработки, ответная часть после обработки и на просвет.

В серии экспериментов № 2 (рис.2) была проведена гидротермальная обработка исходного светло-серого жадеита с комплексным активатором, содержащим соли натрия, хрома и свинца, с добавлением диоксида кремния при 350°C и  $\approx$  650 атм в течение 6 часов. Результат экспериментов - яркая зелёная окраска поверхностного слоя.



**Рисунок 9.** Серия № 2, слева направо: эталонный образец светло-серого жадеита до гидротермальной обработки, ответная часть после обработки и на просвет.

В результате экспериментов удалось добиться изменения окраски жадеита со светло-серой на бледно-зелёную (рис.1) и ярко-зелёную (рис.2). Более яркий цвет образцов наблюдался при использовании комплексного минерализатора, что указывает на его важнейшую роль в процессе гидротермальной перекристаллизации. Глубина гидротермально обработанного слоя составила 0,5 мм. Отметим, что толщина окрашенного слоя глубже со стороны свободного доступа раствора. В ходе дальнейших исследований возможно усовершенствование предлагаемого способа модифицирования жадеитового сырья, что приведёт к получению образцов минерала, аналогичных натуральному жадеиту, в частности, империалу.

## **Выводы**

1. При модифицировании жадеита расплавными и раствор-расплавными методами при температурах, близких к температуре его плавления, не наблюдается положительных изменений в окраске. Воздействие на образцы в данных условиях приводит к их деградации.
2. Гидротермальная перекристаллизация позволяет улучшить цвет жадеита. В серии экспериментов с использованием в качестве минерализаторов хлорида и хромата натрия при 300°C и  $\approx 600$  атм в течение 4 часов удалось добиться изменения окраски поверхностного слоя образцов со светло-серой на бледно-зелёную. В ходе гидротермальной обработки, проводившейся с использованием комплексного минерализатора (соли натрия, хрома и свинца) и добавлением диоксида кремния при 350°C и  $\approx 650$  атм в течение 6 часов, светло-серые образцы приобрели насыщенный ярко-зелёный поверхностный слой.
3. Важнейшую роль в процессе гидротермальной перекристаллизации играют активаторы растворов. При использовании комплексных минерализаторов удаётся получить заметно более яркую и насыщенную окраску.
4. При дальнейшем усовершенствовании способа улучшения цветовых характеристик низкосортного и несортного жадеитового сырья в гидротермальных условиях можно добиться получения образцов, близких к эталонному империалу, что повысит экономическую выгоду от эксплуатации жадеитовых месторождений и роль жадеита в экономике России в целом.

## **Библиография**

5. Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых РФ, паспорт № 184 (ТФИ), № 2413 (Росгеолфонд) – объект учёта Борусское
6. Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых РФ, паспорт № 78 (ТФИ), № 2946 (Росгеолфонд) – объект учёта Пусьерка.
7. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов (индивиды). - М.: изд-во «Наука», 1975 г.
8. Минералогическая энциклопедия/ Под ред. К. Фрея: Пер. с англ. – Л.: Недра, 1985. – 512 с., ил. – Пер. изд.: США, 1981.
9. Сенкевич Н.Н. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней (ювелирных, поделочных, декоративно-облицовочных) "Жадеит". - М.: 1975. - 54 с., ил.
10. Ahmadjan Abduriyim Japanese Jadeite: History, Characteristics, and Comparison with Other Sources/ Ahmadjan Abduriyim, Kazuko Saruwatari, and Yusuke Katsurada// *Gems & Gemology*. – Spring 2017. – Vol. 53, No. 1. – P. 48 – 67.
11. Richard W. Hughes Burmese Jade: The Inscrutable Gem/ Richard W. Hughes et al.// *Gems&Gemology*. – Spring 2000. – Vol. 36, No. 1. – P. 2-26.

*Перспективы улучшения цветовых характеристик хромдиопсида  
Инаглинского месторождения. Ахметшин Э.А. (Российский химико-  
технологический университет им. Д.И. Менделеева, 4966945@mail.ru), Купчий  
К.И. \* (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
kkipchiy@mail.ru)*

## **Аннотация**

Одним из самых перспективных ювелирных камней, уникальное месторождение которого – Инаглинское – находится на территории России, является хромдиопсид. Однако подавляющая масса хромдиопсида не удовлетворяет запросу рынка на яркие камни с чистым зеленым цветом. Поэтому потребность в разработке способов, позволяющих улучшить его цветовые характеристики, является весьма актуальной. В серии экспериментов по нагреву хромдиопсида в различных условиях были получены изменения, улучшившие его окраску. Так при термообработке в восстановительной среде при температуре 790°C и времени выдержки 45 минут было получено осветление минерала; при нагреве в более высоких температурах цвет образцов приобретал коричневатый оттенок. Следует отметить влияние среды: положительные результаты были получены в серии экспериментов с использованием восстановительного агента. Таким образом, предлагаемый способ облагораживания в перспективе может позволить значительно улучшить цветовые характеристики хромдиопсида.

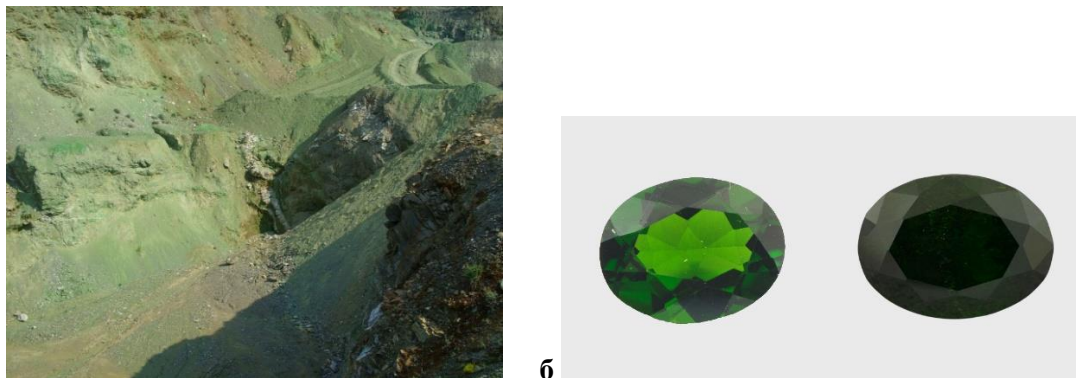
## **Ключевые слова**

Хромдиопсид, ювелирный камень, термообработка, облагораживание ювелирных камней, Инаглинское месторождение

## **Теория**

Хромдиопсид является одним из популярных ювелирных камней, ювелирной разновидностью минерала диопсид, закрепившей за собой название «якутский изумруд». На сегодняшний день Россия обладает уникальным, аналогов которому в мире нет, Инаглинским месторождением, расположенном в 30 км к западу от города Алдан, Южная Якутия, Россия. Месторождение ювелирного хромдиопсида приурочено к одноименному массиву, имеющему кольцевое строение с центральным дунитовым ядром. По дунитам на контактах с щелочными пегматитами были выявлены десятки хромдиопсидсодержащих жильных зон, имеющих колоссальные размеры с высоким содержанием хромдиопсида в телах (рис.1а) [4]. Но при существующих количествах и невысокой удельной стоимости хромдиопсид не пользуется большой популярностью, что связано с его несоответствием стандартам, принятым в ювелирной промышленности: яркая окраска, насыщенный зеленый цвет, без различных ухудшающих его оттенков. Хромдиопсид хорошо смотрится в мелких камнях порядка 1-2 карат, но основными видовыми являются камни весом 3-10 карат - именно в этой весовой группе он обладает избыточной насыщенностью, чернильно-зеленой «глухой» окраской (рис. 1а,б). Следует также отметить, что кроме ярко-зеленых, доля которых весьма незначительна, попадаются камни желтовато- и коричневатозеленого, «табачного» цвета. Поэтому появление промышленной технологии улучшения цветовых характеристик позволит существенно увеличить спрос на хромдиопсид во

всем мире. А с учетом того, что уникальное месторождение находится на территории России – заметно увеличить доходы РФ от продажи ювелирного сырья и готовых ювелирных камней. Пример изменения отношения к камню может быть продемонстрирован на танзаните, который изначально ценился невысоко, а потом стал достаточно дорогим традиционным ювелирным камнем. Это связано с тем, что появилась технология облагораживания, которая позволила переводить серо-голубые, желтоватые, коричневатые камни в ярко-синий и фиолетово-синий танзанит ювелирного качества [5].



**Рисунок 1.** а - Старый хромдиопсидовый карьер (зеленое на фотографии – это продуктивный отвал хромдиоксида). Автор: Павел М. Карташов (август, 2012 год) [3]; б - ограненный хромдиопсид Инаглинского месторождения весом 1,32 (слева) и 11 карат; размеры - 8×6 и 15,8×11,8 мм соответственно [6]. На изображении можно оценить избыточную насыщенность зеленого цвета в камне.

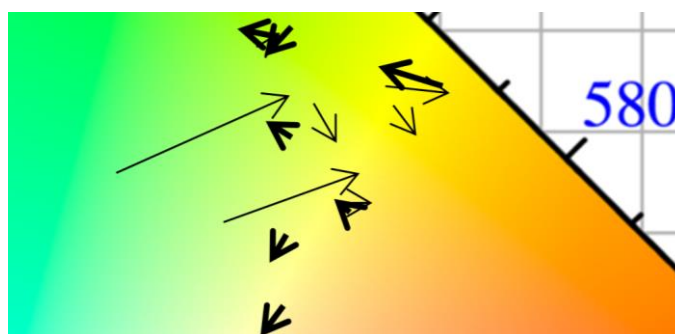
Для выяснения возможности улучшения цветовых характеристик хромдиоксида была проделана серия экспериментов, которая заключалась в нахождении подходящих для осветления условий при нагревании камней зеленого и коричнево-зеленого цветов (рис. 2). Предварительно образцы хромдиоксида были рассмотрены стереологически, микроскопически, оптико-спектральным анализом, после чего были подвергнуты нагреву. По данным энерго-дисперсионного микроанализа (детектор X-МАХ, Oxford Instruments, электронный микроскоп Tescan Vega 3) примесный состав хромдиоксида определяется следующими хромофорными элементами: хром, железо ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) и титан. При этом, для зеленых камней было отмечено более высокое содержание хрома, но меньшее (<1%) содержание железа и отсутствие титана; в желто-зеленых и табачных образцах повышенное содержание железа (>1%), присутствие титана и существенно меньшее, чем в зеленых хромдиоксидах, хрома.



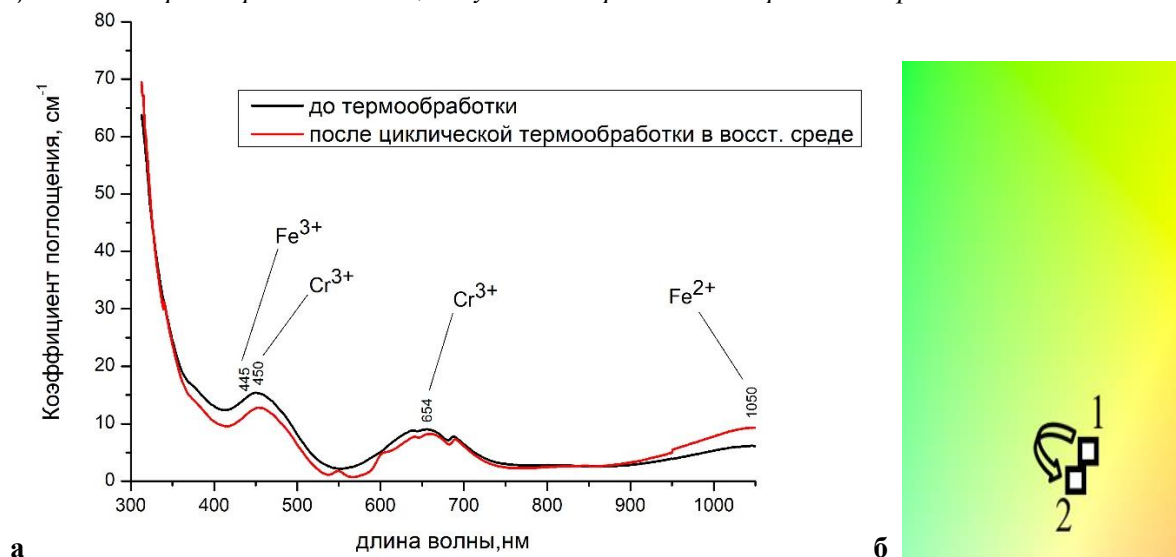
**Рисунок 2.** Хромдиопсид зеленого (слева) и коричнево-зеленого цветов: а – в отраженном свете, б – в проходящем свете. На первой фотографии можно рассмотреть внешний вид кристаллосырья, когда как на второй - оценить различие в цвете хромдиоксида одного месторождения.



Термообработка осуществлялась в электропечи с резистивным нагревателем марки СНОЛ, позволяющей контролировать нагрев в диапазоне до 1600°C. Была проведена серия экспериментов в различных средах при температурах с 500 до 970°C, в результате которой были получены как положительные, так и результаты с обратным эффектом (без изменений, либо в сторону усиления насыщенности) (рис. 3). Так, например, положительные изменения окраски были получены в пределах не выше 900°C, тогда как при нагреве свыше 950°C наблюдалось противоположное направление в сторону «затухания» цвета образцов и/или приобретению ими желтого тона. Примером улучшения цветовых характеристик может служить циклическая термообработка зеленого хромдиоксида (цикл проводился как запуск двух одинаковых последовательных процессов термообработки) с использованием восстановительного агента при температуре 790°C и времени выдержки, равному 45 мин, в результате чего произошло смещение координаты цветности к центру поля, что говорит об осветлении образца (рис. 4б).



**Рисунок 3.** Отображение изменения цветных координат для серии экспериментов по термообработке хромдиоксида на фрагменте хроматической диаграммы (диаграммы цветности) СIE. Жирными стрелками обозначены положительные изменения по улучшению цветовых характеристик камня, полученные в различных сериях экспериментов.



**Рисунок 4.** Результаты исследования образца зеленого хромдиоксида после циклической термообработки в восстановительной среде при температуре 790°C (время выдержки 45 мин): а - Спектр поглощения зеленого образца хромдиоксида до и после термообработки; б – Отображение изменения цветных координат для этого же образца (1- до термообработки; 2- после термообработки).

В результате термообработки в восстановительной среде отмечены изменения в цвете образцов: для зеленых - насыщенность цвета понизилась до термообработки - slyG 4/1, после термообработки - slyG 3/1; для коричневато-зеленых отмечалось в отдельных случаях смещение цвета в область зеленого. С помощью оптико-спектрального анализа, проведенного на спектрофотометре UNICO 2800 (UV/VIS) с диапазоном измерений 190-1100 нм, были установлены отклонения линии спектра после термообработки – значительное уменьшение поглощения в области 370-550 нм, чем и обусловлено просветление образца (рис. 4а). Изменение, по всей вероятности, связано с валентным состоянием железа и перестройкой центров окраски: просветление левого плеча пика 450 нм и увеличение поглощения в ИК области свидетельствует об уменьшении концентрации  $Fe^{3+}$  и его переходе в  $Fe^{2+}$  и, соответственно, концентрации хромофорных центров с ними связанных. При этом центры окраски хромдиопсида связанные с  $Cr^{3+}$  практически не претерпели изменений [2].

## Выводы

Цветовые характеристики хромдиопсида Инаглинского месторождения могут быть улучшены методом термообработки. Нагревание камня при температуре 790°C с использованием восстановительного агента и времени выдержки 45 мин позволяет получить положительные изменения окраски, связанные с уменьшением избыточной насыщенности зеленого цвета. Улучшение окраски образцов может быть связано с переходом  $Fe^{3+}$  в  $Fe^{2+}$  в восстановительной среде и изменением хромофорных центров, связанных с железом [1].

Перспективность выбранного способа улучшения цвета обусловлена положительным результатом по осветлению и изменению спектральных характеристик, полученных в серии экспериментов по термообработке, что несет за собой возможность отработки промышленного способа их модификации для ювелирного хромдиопсида. Однако данный способ еще требует доработки и выяснения различных прочих условий, а также получения данных по воспроизводимости.

## Библиография

1. Ахметшин, Э.А., Бгашева, Т.В. Особенности термообработки оранжево-красных сапфиров Мадагаскара в восстановительной атмосфере // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - Издательство Московского государственного горного университета. - 2008. - № 5. – С. 335-341.
2. Бахтин, А.И. Оптическая спектроскопия минералов и руд и ее применение в геологоразведочных работах: монография / А.И. Бахтин, Б.С. Горобец. - Казань: Изд-во Казанского университета, 1992. - 232 с.
3. Инаглинское месторождение хромдиопсида // Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья URL: <https://webmineral.ru/deposits/item.php?id=1453> (дата обращения: 22.01.2023).
4. Корчагин, А.М. Инаглинский плутон и его полезные ископаемые. – М.: Недра, 1996. – 157 с.
5. Платонов, А. Н., Таран, М. Н., Балицкий, В. С. Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. – 196 с.

6. Хромдиопсид // Полудраг.ру URL: [https://vk.com/market-53052089?section=album\\_23](https://vk.com/market-53052089?section=album_23) (дата обращения: 30.01.2023).

***Применение аддитивных технологий в изготовлении корпуса блока питания для микродвигателя. Брусов А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г.Москва, brusovaa@mgri.ru)***

**Аннотация**

Описание технологии 3D печати и ее плюсы. Создание 3d модели разборного корпуса блока управления для питания микродвигателя бормашины и последующая ее печать на 3d принтере.

**Ключевые слова**

аддитивные технологии, 3d моделирование, FDM печать, 3d принтер, пластик

3D-моделирование сегодня широко используется во многих отраслях промышленности, как для проектирования и визуализации, так и для производства. 3D-печать позволяющий создать физический объект на основе цифровой модели путем послойной «печати». Это сильно помогает для создания прототипов или готовых изделий, в зависимости от области применения. 3D-печать часто используется в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная, медицинская и архитектурная, а также в ювелирном деле и дизайне в различных сферах. Это быстрый и экономически эффективный способ создания физических объектов, который может использоваться для производства широкого спектра продукции, от мелких деталей до крупных конструкций [3].

Важно отметить, что время, необходимое для моделирования объекта с помощью программного обеспечения для 3D-моделирования, зависит от ряда факторов, включая сложность объекта, используемое программное обеспечение и уровень квалификации человека, выполняющего моделирование. В целом, 3D-модель простого объекта можно создать всего за несколько часов, но для моделирования более сложных объектов может потребоваться гораздо больше времени, что может занять несколько дней или даже недель.

Что касается 3D-печати, то время, необходимое для печати объекта, опять же зависит от ряда факторов, включая размер и сложность объекта, используемый материал и возможности 3D-принтера. В целом, печать небольших объектов займет меньше времени, чем больших, а простых объектов - меньше, чем более сложных. Стоит также отметить, что время, необходимое для печати объекта, зависит от используемого метода печати и специфических свойств используемого материала. Например, некоторые материалы могут требовать более длительного времени печати из-за своих свойств, или некоторые методы печати могут быть быстрее, но давать менее качественные результаты [1].

Это одни из основных преимуществ использования 3D-печати и моделирования для создания прототипов. Некоторые другие преимущества:

**Быстрое создание прототипов:** 3D-печать позволяет быстро создавать прототипы, что может быть полезно для тестирования и доработки дизайна перед запуском в массовое производство [2].

**Персонализация:** 3D-печать позволяет создавать индивидуальные детали и прототипы, которые соответствуют вашим конкретным потребностям и требованиям.

Экономическая эффективность: 3D-печать может быть более рентабельной, чем традиционные методы производства, при небольших объемах производства или при создании единичных прототипов.

Гибкость материалов: 3D-печать может использоваться с широким спектром материалов, включая металлы, пластмассы и композиты, что позволяет выбрать наилучший материал для конкретного применения.

Свобода дизайна: 3D-моделирование и печать позволяют создавать сложные формы и конструкции, которые могут быть невозможны при использовании традиционных методов производства, что дает вам больше свободы для разработки уникальных и инновационных продуктов. В целом, использование 3D-печати и моделирования для создания прототипов может предложить ряд преимуществ, включая большую гибкость дизайна, экономическую эффективность и возможность создания индивидуальных деталей, отвечающих вашим конкретным потребностям.

Лучше всего для создания геометрии подходят программ на основе NURBS - моделирования. Для создания 3d модели корпуса блока управления используем Rhinoceros (пробная версия программы) [4].

3D-печатные детали из пластика не будут испытывать таких же технологических нагрузок, как металлические детали, что может быть полезно для определенных применений. В целом, пригодность того или иного материала для конкретного применения будет зависеть от конкретных свойств и требований к детали.

Перед моделированием важно заранее продумать, какие элементы изделия могут быть выполнены с использованием металлических деталей простых форм (прокатный профиль круглой, угловой, квадратной формы), поскольку это может упростить процесс моделирования, сделать более прочную конструкцию и уменьшить время печати всех основных деталей изделия.

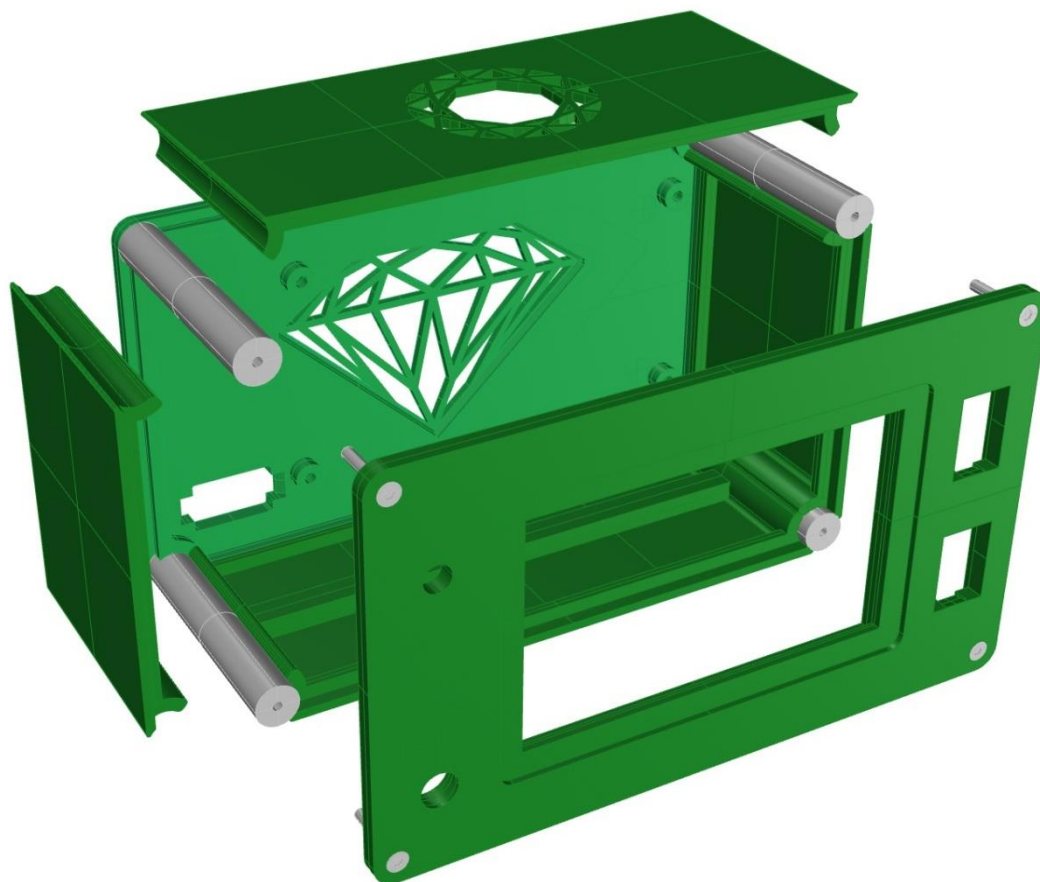
Алюминиевый прокат будет показан на 3d модели серым цветом, пластиковая часть зеленым.

Для создания простых моделей требуется начальный уровень знания 3d моделирования. В процессе моделирования используются следующие команды.

Для создания кривых: Line Segments, Interpolate Points, Fillet Curves, Circle, Join, Trim.

Для создания поверхностей: Extrude Curve, Sweep 2 Rail, Boolean: Difference, Fillet Edge, Split.

Процесс моделирования занимает не более двух часов при учете заранее продуманной конструкции деталей. Учитывая размеры плат управления микродвигателем, делаются необходимого размера стенки корпуса. На следующем этапе создаются технологические отверстия под провод питания, кнопки управления, экран. Каждая сторона блока питания является отдельной деталью, сборка единой конструкции начинается с соединения четырех деталей основного контура корпуса за счет полукруглых пазов через которые проходит круглый прокат, совмещая их. Двумя деталями - передней и задней панелью, данная конструкция стягивается винтиками. При 3D печати используется метод основанный на послойном «выращивании» будущего изделия, для прочности все стенки блока питания печатаются внешней плоской стороной стенки к столу принтера.



*Рисунок 1. 3d модель корпуса блока управления для питания микродвигателя в разобранном состоянии*

Печать производится на 3d принтер Flyingbear ghost 5 с direct экструдером. Материал для печати пластик pet-g. Он достаточно прочный и выдерживает удары и падения.

В слайсере создается G-код с учетом параметров данной модели 3d принтера и свойств пластика: диаметр сопла 0.4 мм, температура сопла – 230°C, температура стола – 80°C, скорость вентилятора – 30% в высота слоя 0.2, заполнение 15%, периметры – 3, сплошные слои низа и верха – 5, скорость печати 70 мм/с.

Напечатанные детали имеют заметные следы свойственные технологии FDM печати, для придания гладкости поверхности, с лицевой стороны детали покрываются тонким слоем эпоксидной смолы, шлифуются, покрываются лаком.

### **Выводы**

Для создания простых моделей вам потребуются начальные знания программного обеспечения для 3D-моделирования и специфических команд, используемых в процессе моделирования. В зависимости, от используемого программного обеспечения, это могут быть как базовые команды для создания и манипулирования фигурами, так и более сложные команды для создания сложных геометрий и поверхностей. Для создания точной и функциональной модели также



*Рисунок 2. Напечатанный корпус блока управления с микродвигателем*

важно учитывать специфические требования к изделию, так же необходимые размеры и допуски.

Таким образом, использование аддитивных технологий при производстве корпуса питания для микродвигателя позволяет создать высококачественный и надежный продукт.

### **Библиография**

1. Згонников Артем, «Аддитивные технологии в производстве», Москва, CADmaster, №1(86) 2017.
2. Луговой В.П., «Технология ювелирного производства», Москва-Минск, Инфра-М, 2012.
3. Тарасова Татьяна Васильевна, «Аддитивное производство» учебное пособие, Москва, Инфра-М, 2022.
4. Элиания Розетти, «Дизайн ювелирных изделий в Rhinoceros», Омск, Дедал-Пресс, 2014.

**История культивирования, морфология и диагностика пресноводного культивированного жемчуга Касуми. Ванданова Д.Б. (МГРИ, vandanovad@gmail.com)**

**Аннотация**

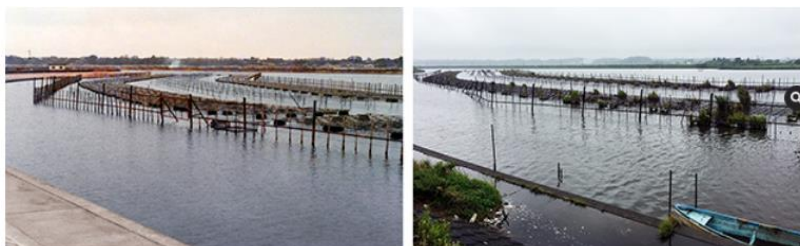
В работе описана история культивирования жемчуга касуми, проанализировано его положение на ювелирном рынке, и проведено исследование 2 жемчужин касуми в лаборатории МГРИ. Данная работа основывается на результатах магистерской выпускной квалификационной работы «Новейшие виды пресноводного культивированного жемчуга Японии и Китая и их применение в ювелирном деле» автора под руководством доцента Прыгова В.И.

**Ключевые слова**

Пресноводный культивированный жемчуг, жемчуг касуми, озеро Касумигаура, ювелирные изделия, ювелирный рынок, диагностика, оптическая микроскопия, КР спектроскопия, люминесценция.

**Теория**

**История культивирования жемчуга касуми.** Предприниматель Кадзухиса Янасэ первым начал выращивать пресноводный жемчуг диаметром 10 мм на озере Касумигаура в 1946 году (Abduriyim, 2018). Озеро Касумигаура, в переводе с японского «туманная бухта», является вторым по величине пресноводным озером Японии. Оно расположено в 80 км к северо-востоку от Токио в перфектуре Ибараки. В 1962 году 10 небольших жемчужных ферм переехали из озера Бива на Касумигаура и начали культивировать пресноводный безъядерный жемчуг – так называемый жемчуг «Касумига» или «Касуми» с использованием искусственно выведенных раковин *Nugtopsis schlegelii*. Годовое производство касуми в 1970-х составляло сотню килограммов, однако оно выросло до более 750 кг в 1980-х. Жемчужные фермеры поставили перед собой задачу культивировать ядерный жемчуг диаметром более 10 мм, который мог бы конкурировать по качеству с жемчугом Южных морей. В итоге их эксперименты оказались успешными в выращивании сферического жемчуга в новом виде моллюска, гибрида *Nugtopsis*, полученного путем скрещивания *Nugtopsis schlegelii* и *Nugtopsis cumingii*. Однако производство этого сферического жемчуга составляло всего несколько десятков граммов в год. В конце 1980-х уровень воды понизился в связи с использованием озера как источник водоснабжения Токио. Для сведения к минимуму риска экологического ущерба моллюскам, жемчужные фермы расположились в устьях рек Шинтонэ, Сонобэ и Оногава, впадающих в озеро Касумигаура (рис.1).



**Рисунок 3.** Ферма «Toda Pearl» на реке Оногава в 1980 (слева) и 2018 (справа). Abduriyim, 2018.



Внимание к жемчугу касуми почти было потеряно, и производимые жемчужины продавались вместе с «остатками» культивированного пресноводного жемчуга из озера Бива. Выращивание безъядерного жемчуга на Касумигаура прекратилось в конце 1980-х годов и перешло к исключительно ядерному методу культивирования в 1991 году. (Strack, 2015).

Новый интерес к о.Касумигаура возник благодаря появлению на рынке крупных и красочных жемчужин, именованных как «Japanese kasumi pearls» в начале 1990-х. Получение жемчуга касуми высокого качества основывалось на ядерном методе культивации, разработанном Кадзухисой Янасэ и Харуо Сакаи; он используется в настоящее время. С 1990-х по 2013 года среднегодовое производство жемчуга касуми составляло 40–50 кг. С 2014 года производство снизилось, текущая годовая добыча составляет менее 40 кг, однако жемчуг касуми (рис.2) высоко ценится в США и Европе за его морфологические характеристики и географическое происхождение (Abdurijim, 2018).

**Положение жемчуга касуми на ювелирном рынке.** В настоящее время существуют три компании, занимающиеся продажей японского пресноводного культивированного жемчуга и сбытом ювелирных изделий из них на мировом рынке. Борис Дилленбургер, директор немецко-японской жемчужной компании «Perlen Yukie», поставил одной из своих целей создание более широкого потребительского интереса к жемчугу касуми, поэтому сформировал коллекцию японских пресноводных культивированных жемчужин о.Касумигаура (рис.2 слева, 3). Дилленбургер выкупает около 70% жемчуга касуми, производимого жемчужной фермой Янасэ (Strack, 2015). На рисунке 2 представлен комплект 18-каратных золотых серег-конго с жемчужинами касуми, подобранными по серовато-розовому окрасу и округлой форме. Размер жемчужин составляет 14,3 мм. Такие серьги простой конструкции фирмы Perlen Yukie оцениваются в 2800 долларов США (Perlen Yukie, 2022). Также ювелирные изделия с жемчугом касуми привлекают разнообразием причудливых форм и окраски с ориетом. По таким признакам создаются украшения компаниями «Pacific Pearls» и «Kojima» из Калифорнии. Например, 18-дюймовое ожерелье с жемчугом касуми формы барокко (рис.2, справа) и размером от 11,5 до 14,0 мм; урожай 2020 года. Изделие дополнено крупной двойной застежкой из 14-каратного желтого золота. Ожерелье выставлено на продажу Kojima за 8991 доллар США (Kojima Company, 2022).



**Рисунок 4.** Слева: золотые серьги с жемчугом касуми компании «Perlen Yukie», Perlen Yukie, 2022. Справа: Золотое ожерелье с жемчугом касуми компании Kojima, 2022.

**Основные характеристики жемчуга касуми.** Культивация жемчуга касуми проходит только ядерным методом «Янасэ и Сакаи». Квадратный кусочек мантии моллюска-донора имплантируется в просверленную ядро-бусину из американского перламутра. Затем их насаживают на игольчатый штифт и вводят в мягкое тело раковины, образуя мешок, в котором начинает «расти» жемчужина. За один цикл образуется только одна жемчужина. Толщина перламутра жемчуга, культивированного в течение 3,5–4 года, достигает 3 мм, что намного толще перламутра жемчуга акояя. Размер жемчуга касуми обычно составляет от 11 до 16 мм; форма округлая, овальная,

или барокко с волнистой поверхностью (рис.3). Цвет окраски жемчужин разнообразен: белый, розовый, пурпурный, фиолетовый, желтый, пурпурно-красный, оранжевый и коричневый с ориентом (рис.3). Стоимость на розовый и фиолетовый жемчуг касуми всегда выше (Abdurijim, 2018).



Рисунок 5. Жемчужины касуми размерами 10-16 мм из коллекции Б. Дилленбургера, 2015.

**Исследование образцов жемчуга касуми.** Диагностика двух пресноводных культивированных жемчужин касуми проводилась в лаборатории «Аналитической минералогии и геммологии» Геологоразведочного факультета МГРИ. Определение структуры поверхности перламутра осуществлялось методом оптической микроскопии под стереомикроскопом МС-1 с максимальным 120-кратным увеличением. Характер люминесценции образцов регистрировался в настольном аналитическом кабинете «Vildis» с длинами волн 230 и 365 нм. Идентификация жемчуга получена с помощью КР-микроскопа «EnSpectr R532», оснащенного лазером с длиной волны 532 нм. Измерения регистрировались в программе «EnSpectr Про» в диапазоне от 0 до 4000 см<sup>-1</sup>. Метод рентгеновской томографии внутреннего строения образцов не проводился.

Две японские жемчужины касуми культивированного пресноводного происхождения имеют размеры 10-15 мм и форму барокко с волнистой поверхностью (рис.4) Окраска варьируется от коричневато-бронзового до сиреневато-коричневого основных цветов с умеренным голубо-зеленым и золотым ориентом; блеск от сильного до умеренного. Оба образца имеют высверленные отверстия. Являются частью геммологической коллекции кафедры Минералогии и геммологии МГРИ.



Рисунок 6. Образцы 2 жемчужин касуми в разных положениях.

Жемчуг касуми обычно не подвергается такой обработке, как отбеливание и окрашивание. В коротковолновом УФ-свете люминесцентного кабинета образцы показали участки слабой зеленовато-голубой флуоресценции, остальная часть поверхности - инертна (рис.5). Спектры люминесценции не были зафиксированы в связи со слабым свечением образцов.

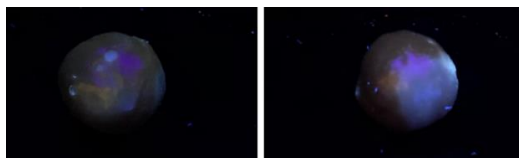
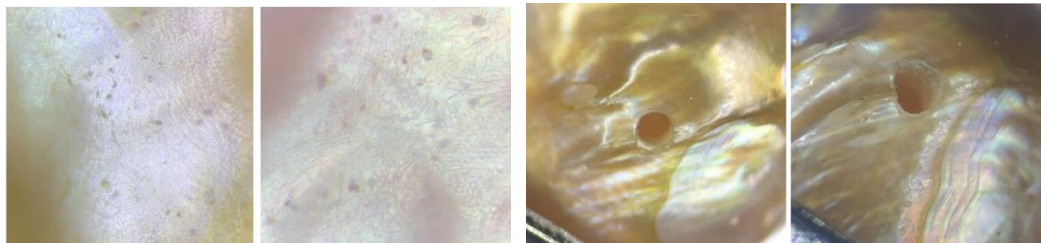


Рисунок 7. Люминесценция жемчуга касуми под коротковолновым УФ-излучением.

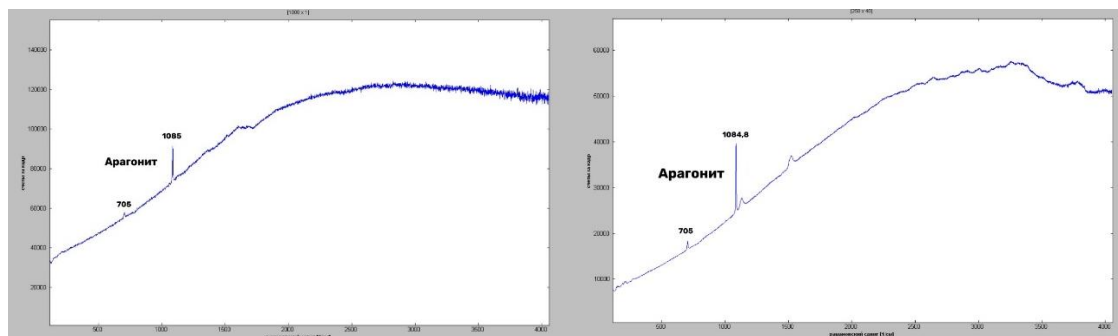
Под увеличением жемчуг касуми имеет неравномерные, прерывистые или искаженные слои нарастания арагонита. Эти слои были образованы толстыми пластинками арагонита и нескольких темными участками органических отложений на поверхности (рис.6, слева). Отсутствие темных пигментных кругов, равномерный цвет

вокруг и внутри отверстия свидетельствуют об отсутствии процессов облагораживания (рис.6, справа). Ориент образуется благодаря покрытым по всей поверхности тонкими, призматическими слоями-наростам (рис.6, справа). Золотой цвет с ориентом, радужными бликами, предположительно возникает из слоистых розово-пурпурных пластинок арагонита, образованных обильным выделением раковин в период роста непосредственно перед сбором урожая (Abduriyim, 2018).



**Рисунок 8.** Слева: арагонитовые слои в жемчуге касуми. Увеличение 40х (слева) и 60х. Справа: высверленное отверстие с призматическими наростами перламутра. Увеличение 1,2х (слева) и 20х (справа).

На рисунке представлены КР спектры двух жемчужин касуми в диапазоне от 0 до 4000  $\text{см}^{-2}$ . Наличие пиков 1085  $\text{см}^{-1}$  и 705  $\text{см}^{-1}$  указывают на минерал арагонит, пластинки которого образуют жемчуг. Следовательно, изученные две жемчужины касуми идентифицируются как жемчуг, не подвергшийся облагораживанию.



**Рисунок 9.** КР спектры арагонита в двух жемчужинах касуми ( $\text{см}^{-1}$ ).

## Выводы

Пресноводный культивируемый жемчуг из озера Касумигаура зарекомендовал себя как минерал, занимающий ценную нишу на ювелирном рынке. Украшения с ним считаются редкостью в связи с низким производством жемчужин. Жемчуг касуми может достигать цен в несколько тысяч долларов за жемчужину. Проведенное исследование 2 образцов пресноводного культивируемого жемчуга касуми из коллекции МГРИ позволило определить, что они не подвергались облагораживанию.

## Библиография

1. Abduriyim, A. Cultured pearls from Lake Kasumigaura: Production and gemological characteristics. *Gems and Gemology* 2018. Vol. 54, pp. 166-183.
2. Kojima Company [Электронный ресурс] // Kojima Pearl, 2022. URL: <https://kojimapearl.com> (дата обращения: 10.04.2022).
3. Perlen Yukie [Электронный ресурс] // D & M Pearl Company, Ltd, 2022. URL: <http://dandmpearl.co.jp> (дата обращения: 10.04.2022).

4. Strack E. Cultured pearls from lake Kasumigaura. *Margaritologia, The Pearl Newsletter*, No. 4, December 2015, Hamburg, pp. 1-15.

*Южноякутская хрусталеносная провинция. Гадиятов В.Г.\* (Воронежский государственный технический университет, gadiatovvg@mail.ru), Калугин П.И. (Воронежский государственный технический университет), Демиденко А.И. (Воронежский государственный технический университет), Хута, Д. (Воронежский государственный технический университет)*

#### **Аннотация**

Южноякутская хрусталеносная провинция занимает юго-восточную часть Чаро-Алданской плиты. Административно находится в Алданском и Нерюнгринском районах Республики Саха (Якутия). В состав провинции входят Верхнеалданская и Верхнетимптонская хрусталеносные области, включающие Курумкан-Суонтиитскую, Чугинскую и Калын-Перекактинскую хрусталеносные зоны, в которых открыто более 30 хрусталеносных районов. Месторождения горного хрусталя приурочены к кварцитам с залегающими в них кварцевыми жилами с горным хрусталем. Вмещающие породы подверглись гидротермальным преобразованиям.

#### **Ключевые слова**

Горный хрусталь, кристаллы, кварц, кварциты, месторождения.

#### **Теория**

Южноякутская хрусталеносная провинция находится в Алданском и Нерюнгринском районах Республики Саха (Якутия). Локализована в архейских образованиях крупной куполовидной структуры. В состав провинции входят Верхнеалданская и Верхнетимптонская хрусталеносные области, в минерагеническом отношении - Центральноалданская и Тимптонозейская минерагенические зоны [1, 2]. Хрусталеносные области находятся в бассейнах рек Алдан и Тимптон (рис. 1).

В Верхнеалданской хрусталеносной области выделяют Курумкан-Суонтиитскую, Чугинскую и Калын-Перекактинскую хрусталеносные зоны, в которых открыто более 30 хрусталеносных районов. В геологическом строении хрусталеносной области принимают участие различные по составу гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты и др. Месторождения горного хрусталя приурочены к кварцитам с залегающими в них кварцевыми жилами с горным хрусталем. Вмещающие породы подверглись гидротермальным преобразованиям, проявившимся в серицитизации, каолинизации, а также перекристаллизации и растворении кварцитов. Подчиненное значение имеют процессы хлоритизации и эпидотизации. Кварцевые жилы представлены единичными простыми жилами мощностью от 0,5 до 5 м, жильными зонами, мощность которых составляет 5-15 м, столбообразными жильными телами и штокверками. Хрусталеносные кварцевые жилы, как правило, образуют сложные по строению кварцево-жильные зоны, которые, в свою очередь слагают жильные поля, объединяемые в хрусталеносные узлы. В составе хрусталеносных кварцевых жил основное место занимает молочно-белый кварц, второстепенное – полевошпат, серицит, хлорит. Встречаются также сульфиды, гематит, турмалин, альбит, эпидот, адуляр, циркон, амфибол, каолин и другие минералы. Контакты кварцевых жил с вмещающими кварцитами постепенные. Горный хрусталь содержится в хрусталеносных полостях, (погребках, гнездах). Кристаллы горного хрусталя часто находятся среди глинистого материала. Объем полостей от десятых долей до десятков кубических метров. Форма полостей обычно изометричная, эллипсоидная, трубообразная. Стенки выполнены жильным кварцем, внутренняя часть заполнена

серицитизированной глиной или песчано-глинистым материалом с обломками кварцитов, жильного кварца и горного хрусталя. Длина кристаллов горного хрусталя колеблется от 6 до 25 см, достигая 1 м.

В состав Курумкан-Суонтиитской хрусталеносной зоны входят Суонтиитское, Нимгерское и Кускангринское хрусталеносные районы, включающие более 50 объектов. Одним из наиболее крупных хрусталеносных районов является Суонтиитский, в котором более 10 месторождений и проявлений. Среди них Северное, Отрада, Холодное, Доброе, Пять пальцев, Пустынное, Засуонтиитское, Оёнкское. В геологическом строении Суонтиитского хрусталеносного района принимают участие кварциты, основные кристаллосланцы и гнейсы. Хрусталеносные кварцевые жилы приурочены к полям развития кварцитов, мощность которых достигает нескольких сот метров. Среди них выделяются слабо метаморфизованные слоистые породы с признаками первично-кластической структуры и сильно метаморфизованные мономинеральные или обогащенные полевыми шпатами, слюдой, турмалином и другими минералами. Последние обычно крупнозернистые, монолитные породы серого цвета различных оттенков. Они преобладают и с ними связана хрусталеносность. Суонтиитский район можно использовать в качестве полигона по изучению месторождений горного хрусталя в докембрийских породах [3,4].

Калын-Перекактинский хрусталеносная зона включает Перекактинское и Чомпулинское хрусталеносные районы. В Перекактинском хрусталеносном районе около 30 участков развития жильного кварца. Среди них Колыньское, Чомпулинское, Владимирское, Николаевское, Афанасьевское, Верхнее, Южное, Неожиданное, Амбурдах и Перекактное месторождения. Самым крупным в хрусталеносной зоне и во всей Южнокутской провинции является месторождение Перекактное.

В строении месторождения Перекактное принимают участие докембрийские образования, слагающие три горизонта. Нижний представлен двупироксеновыми, пироксен-амфиболовыми и биотит-амфиболовыми плагиогнейсами с прослоями амфиболитов и кристаллосланцев, а также согласных тел гранитогнейсов. Средний горизонт сложен мономинеральными, полевошпатовыми, фельдшпатизированными и силлиманитовыми кварцитами. Верхний горизонт слагают биотит-гранатовые, пироксен-амфиболовые, биотит-амфиболовые плагиогнейсы и кристаллосланцы с линзами амфиболитов. Хрусталеносность приурочена к среднему горизонту - кварцитов.

На месторождении выявлено более десяти кварцево-жильных зон, тяготеющих к приконтактовому разлому, но промышленная хрусталеносность связана только с одной жильной зоной. Кварцевые жилы, составляющие жильную зону, ориентированы в разных направлениях и протягиваются на 30-50 м при мощности до 3 м. Жильный кварц крупно-гигантокристаллический, структура шестоватая, параллельно-шестоватая и друзовидная. Горный хрусталь находится в полостях (гнездах и в камерах) объемом от долей до сотен кубометров. Происхождение полостей тектоническое, остаточное и выщелачивания. Вмещающие породы подверглись гидротермальным преобразованиям, перекристаллизации и растворению кварцитов. Стенки полостей покрыты кристаллами, образующими сростки и друзы. Форма полостей щелевидная, трубообразная, неправильная с многочисленными карманами. Хрусталеносные гнезда выполнены кристаллами горного хрусталя, часто отделёнными от стенок, друзами, щебнем вмещающих пород, глинистым материалом серицитизированным. Кристаллы горного хрусталя бесцветные, реже содержат слабые дымчатые зоны. Размеры кристаллов от нескольких миллиметров до 1 м по длинной оси и до 40 см – по короткой. Средняя длина кристаллов горного хрусталя 15–25 см, ширина – 6–7 см. Габитус кристаллов средне-длиннопризматический, реже обелисковидный облик.

Характерны параллельные двойники, мелкие кристаллы (5-10 см) часто двуглавые. В кристаллах встречаются газово-жидкие и твердые включения. Последние представлены кристаллами и волосовидными выделениями гематита, полевым шпатом, хлоритом, актинолитом, кальцитом.

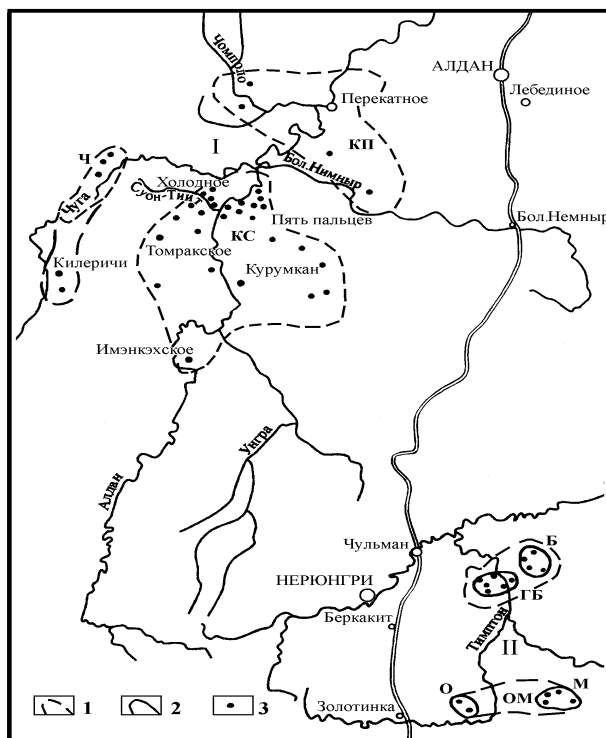
Чомпулинский хрусталеносный район объединяет Чомпулинское, Владимирское и Николаевское месторождения. В самом крупном Чомпулинском месторождении продуктивная хрусталеносная жильная зона состоит из серии кварцевых жил разной формы. Жильный кварц хорошо раскристаллизован и часто образует друзовидные агрегаты. Полости представлены гнездами неправильной формы, локализованными в зальбандах кварцевых жил, внутри жил и на участках пересечения разноориентированных жил. Объем гнезд от 0,6 м<sup>3</sup> до 1,5 м<sup>3</sup>. Самые крупные гнезда находятся на пересечении жил. Длина кристаллов горного хрусталя в среднем 10-15 см, ширина 3-5 см. Цвет водяно-прозрачный и слабодымчатый.

*Верхнетимптонская хрусталеносная область* включает Горбылях-Бугорыктинскую и Окурдано-Митингскую хрусталеносные зоны. Горбылях-Бугорыктинская хрусталеносная зона объединяет мелкие месторождения и проявления горного хрусталя – Дальнее, Надежное, Бугорыкта, Снежное, Придорожное, Мало-Нихотское, Длинное, Олонгринское и др., локализованные в кварцитах. Хрусталеносные кварцевые жилы самого крупного месторождения Бугорыкта линзовидной и трубчатой форм. Их мощность доходит до 8–10 м. Объем полостей с горным хрусталем достигает нескольких десятков кубометров. Габитус кристаллов горного хрусталя короткостолбчатый и длиннопризматический. Кристаллы бесцветные и дымчатые, редко зеленоватые и розоватые, иногда по цвету близкие к мориону. Длина кристаллов варьирует от 3 до 15 см, ширина – до 8 см.

В составе Окурдано-Митингской хрусталеносной зоны выделяют Митингское и Окурданское хрусталеносные районы. Митингский хрусталеносный район включает месторождения Лагерное, Березовое, Лукинда, локализованные в кварцитах. Маломощные и незначительные по протяженности хрусталеносные тела входят в состав жильных зон, прослеженных на расстояние до 200 м. Горный хрусталь на всех месторождениях локализован в полостях, длина которых доходит 3 м. Кристаллы горного хрусталя средне-, длиннопризматические, размером до 12–15 см в длину. В Окурданском хрусталеносном районе горный хрусталь содержится в многочисленных полостях, локализованных в жильных зонах среди кварцитов. Жильные зоны состоят из беспорядочно расположенных кварцевых жил. Кварц имеет шестовато-друзовидную структуру. Длина кристаллов горного хрусталя составляет около 10 см.

## **Выводы**

Месторождения горного хрусталя приурочены к кварцитам с залегающими в них кварцевыми жилами с горным хрусталем. Вмещающие породы подверглись гидротермальным преобразованиям, проявившимся в серицитизации, каолинизации, перекристаллизации и растворении. Жильный кварц молочно-белый, крупнокристаллический, параллельно-шестоватый и друзовидный. Кристаллы горного хрусталя бесцветные, слабо окрашенные, в основном средне-длиннопризматического габитуса длиной от 10 до 25 см. Кварц и горный хрусталь южнокутской хрусталеносной провинции можно применять для получения особо чистого кварца [5].



**Рисунок 1.** Схема Южно-Якутской хрусталеносной провинции. Хрусталеносные области: I – Верхнеалданский; II – Верхнетимптонский. Хрусталеносные зоны: КП – Калын-Перекактинский, Ч – Чугинский, КС – Курумкан-Суонтиитский, ГБ – Горбылях-Бугорыктинский, ОМ – Окурдано-Митингский. 1 – границы хрусталеносных областей, 2 – границы хрусталеносных зон, 3 – месторождение горного хрусталя

## Библиография

1. Гадиятов В.Г. Минерагения и прогнозирование месторождений цветных и декоративно-облицовочных камней: учебное пособие. Воронеж: ВГТУ, 2018. – 130 с.
2. Гадиятов В.Г. Пространственное размещение месторождений цветных камней на территории Российской Федерации. // Геммология: материалы 6-ой науч. конф. Томск, - 2023. – С 28-37.
3. Гадиятов В.Г. Дмитриев Д.А., Боброва Е.М. Воронежская антеклиза – новая камнесамоцветная область на минерагенической карте России // Инновации в соврем. Геолог. Науке и практике: материалы Всерос. Науч.-практ. конф. С межд. Участием.- Старый оскол, 2014. – 22-28.
4. Гадиятов В.Г. Геохимический методы поисков золотого оруденения в зеленокаменных толщах Алданского щита: автореф. Дис. Канд. геол.-мин. наук. – Иркутск, 1982 – 17 с.
5. Гадиятов В.Г., Киях Д.А., Жидкова С.А. К проблеме использования кварцевого песка для получения особо чистого кварца // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2010. - № 2. С. 324–327.



*Рентгенолюминесценция обыкновенного опала Томского месторождения (Западная Сибирь, Россия). Зырянова Л.А. \* (Томский госуниверситет, г. Томск, [luizazyryanova@mail.ru](mailto:luizazyryanova@mail.ru)), Борозновская Н.Н. (Томский госуниверситет, г. Томск, [boroznovskaya@mail.ru](mailto:boroznovskaya@mail.ru)), Петрова Е.П. (Томский госуниверситет, г. Томск, [ptrvl.elena@yandex](mailto:ptrvl.elena@yandex))*

## Аннотация

В работе приведены результаты исследования рентгенолюминесцентных свойств цветковых разновидностей обыкновенного опала Томского месторождения (Западная Сибирь, Россия).

Полученные спектры рентгенолюминесценции (РЛ) представлены полосами излучения с максимумами в диапазонах (нм): 340-370, 400-600 и 600-900, которые в основном, относятся к собственным дефектам различных типов, характерных для минералов группы кремнезема. РЛ в диапазоне 400-600 нм объясняется наличием компенсаторов при замещении  $\text{Si}^{4+}$  на  $\text{Al}^{3+}$ . РЛ в диапазоне 620-650 нм обязана немостиловому кислороду с одной разорванной связью с предшественниками в виде силанольных групп.

Присутствующее в коричневом опале железо не имеет собственных минеральных фаз, а меньшая интенсивность РЛ в диапазоне 280-300 нм по сравнению с белым опалом свидетельствует о некотором увеличении потенциала кислорода при его образовании.

## Ключевые слова

Рентгенолюминесценция, опал, Томское месторождение.

## Теория

В работе приведены результаты исследования рентгенолюминесценции (РЛ) цветковых разновидностей обыкновенного опала Томского месторождения (Западная Сибирь, Россия) с целью детализации структуры опала и получения дополнительной информации об условиях образования цветковых разновидностей.

Томское месторождение обыкновенного опала расположено на территории Томского района Томской области в непосредственной близости от поселка Мирный.

В геологическом строении района месторождения, детально описанного в ряде работ [Зырянова и др., 2019], принимают участие терригенные отложения нижне-среднего карбона, прорванные дайками долеритов пермь-триасового возраста. На породах фундамента повсеместно развиты остаточные коры выветривания площадного и линейного типов, погребённые под терригенно-осадочными отложениями мел-палеоген-четвертичного возраста.

Опаловая минерализация пространственно связана с дайками долеритов. Опал входит в состав опал-гётитовых гнезд и жил мощностью 10-50 см среди долеритов, реже в зоне их контакта с вмещающими терригенными породами. Высокая декоративность сырья обеспечивается сочетанием опала различных цветковых разновидностей. Нами исследована рентгенолюминесценция опала белого цвета и коричневого разной степени насыщенности (рисунок 1).

Аналитические работы выполнены в «Аналитическом центре геохимии природных систем» Томского государственного университета (ЦКП «АЦГПС» ТГУ).

Для уточнения химического состава опала перечисленных цветowych разновидностей проведены исследования с использованием растровой электронной микроскопии (сканирующий электронный микроскоп TESCAN VEGA II LMU. Аналитик Бестемьянова К.В.).



**Рисунок 1.** Образцы опала Томского месторождения с пространственно совмещёнными цветовыми разновидностями (коричневым -1, светло-коричневым -2 и белым -3).

В результате проведённых исследований в составе коричневого и светло-коричневого опала установлена примесь Fe количественно пропорциональная цветовой насыщенности. Содержание Fe (вес. %) в опале: коричневый – 0,734, светло-коричневый – 0,613, белый – не обнаружено. При этом собственных минеральных фаз Fe, с которыми можно было бы связать коричневую окраску опала, не выявлено. Поэтому считаем, что коричневая окраска опала связана с присутствием Fe, не имеющего собственные минеральные фазы. В исследованных цветowych разновидностях опала установлена также примесь Al (вес. %): коричневый – 0,072, светло-коричневый – 0,031, белый – 0,037. Кроме того, опал содержит примесь Na (вес. %): коричневый – 0,018, светло-коричневый – 0,018, белый – 0,008.

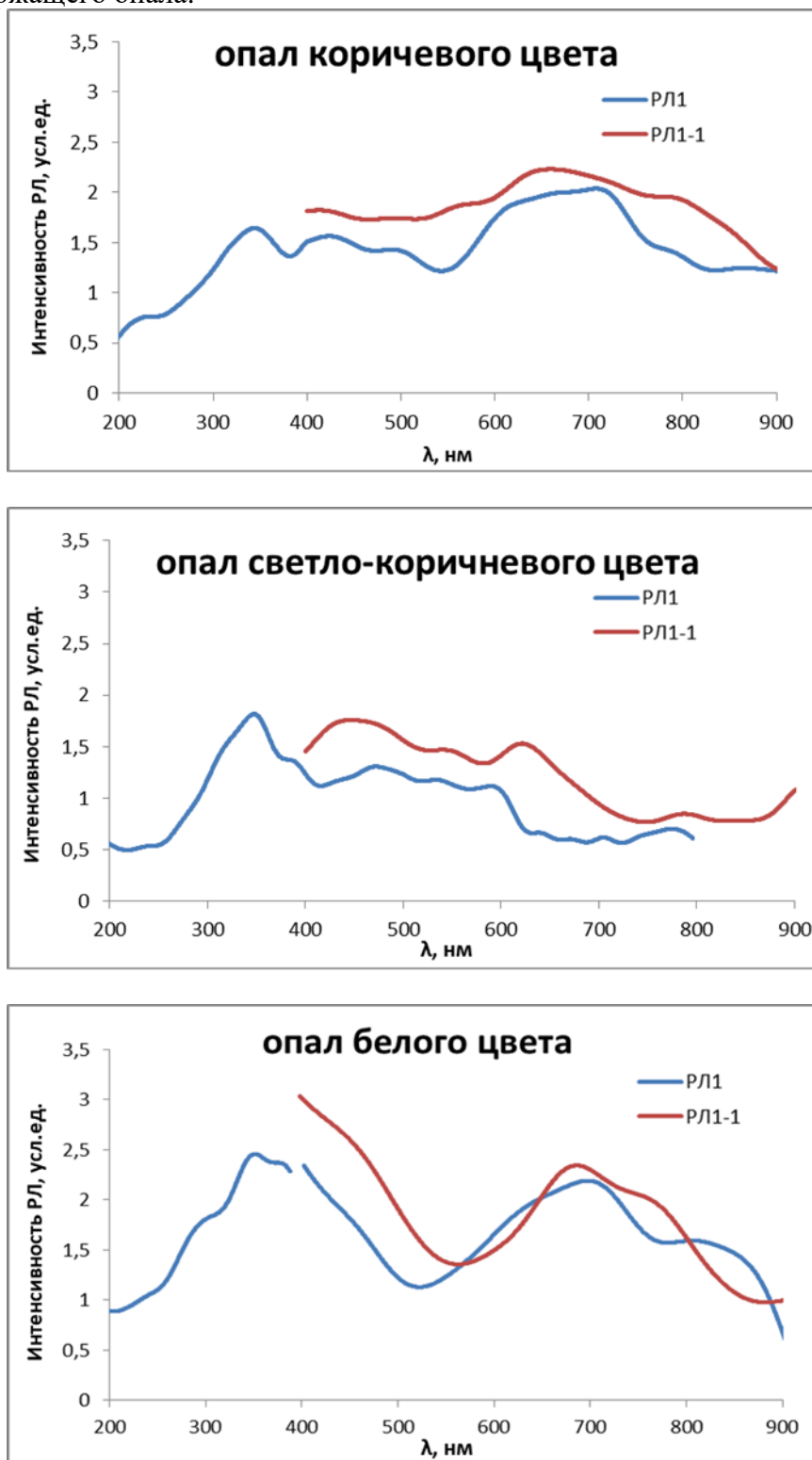
Рентгенолюминесцентный анализ (РЛ) в оптическом диапазоне длин волн выполнен с помощью установки, собранной на базе монохроматора МДР-12 и сменных ФЭУ-79, 100. Источником возбуждения служила рентгеновская трубка БСВ-2 от аппарата УРС-55 с Мо-антикатодом. Аналитик Н.Н. Борозновская.

Съёмка спектров рентгенолюминесценции проводилась при стандартном времени рентгенизации в течение 25 минут (РЛ1). Для более четкой идентификации ряда полученных центров люминесценции выполнена повторная съёмка с увеличением времени рентгенизации в два раза (50 минут – РЛ1-1).

Полученные спектры рентгенолюминесценции (РЛ) представлены полосами излучения с максимумами в диапазонах (нм): 340-370, 400-600 и 600-900. Перечисленные полосы РЛ, в основном, относятся к собственным дефектам различных типов (возбуждённые кислородные состояния) и характерны для минералов группы кремнезема [Vogoznovskaya N.N. и др. 2016].

Установлено, что в диапазоне от 200 до 400 нм, начиная от УФ области и заканчивая уже в видимом диапазоне, происходит заметное усиление интенсивности РЛ. Появляющаяся полоса РЛ в диапазоне 280-300 нм у коричневого и светло-коричневого опала менее интенсивная, чем у белого. Поскольку за эту полосу отвечают вакансии кислорода, то полученный результат может свидетельствовать о некотором

увеличении окислительного потенциала при образовании коричневого железосодержащего опала.



**Рисунок 2.** Спектры рентгенолюминесценции цветowych разновидностей обыкновенного опала Томского месторождения. Пояснения в тексте.

Более интенсивная полоса отмечается в диапазоне от 340-370 нм. Эта полоса в минералах группы кремнезёма характерна для мостикового и междуузельного

кислорода. Наиболее интенсивно эта полоса проявляется у белого безжелезистого опала.

Рентгенолюминесценция в диапазоне 620-650 нм объясняется участием немостикового кислорода с одной разорванной связью с предшественниками в виде силанольных групп, представляющих собой гидроксильную группу, соединенной с ионом кремния [Мисюра и др., 2016; Cidade M. K. и др., 2018]. РЛ в диапазоне 690-710 может быть связана с  $Fe^{3+}$ , замещающим Si или Al.

В исследуемом опале всех цветовых разновидностей люминесценция уходит за пределы красного свечения в ИК-область. На наш взгляд, это связано с присутствием силанольных групп, участие которых косвенно подтверждается результатами термического анализа (ДСК) [Зырянова и др., 2019]. Присутствующие в составе изучаемых нами образцов силанольные группы являются наиболее благоприятными предтечами образования немостикового кислорода [Cidade и др., 2018]. Поэтому участие в РЛ немостикового кислорода может проявлять себя довольно активно.

## Выводы

1. Получены спектры рентгенолюминесценции в диапазоне 200-900 нм с максимумами в диапазоне 340-370 нм, 400-600 нм и перекрывающимися друг друга полосами в красном и ИК диапазонах.

2. Рентгенолюминесценция в диапазоне 200-400 нм связана с собственными дефектами структуры. Меньшая интенсивность РЛ в диапазоне 280-300 нм в коричневом железосодержащем опале свидетельствует о некотором увеличении окислительного потенциала при его образовании.

3. Рентгенолюминесценция в диапазоне 400-600 нм объясняется наличием компенсаторов при замещении  $Si^{4+}$  на  $Al^{3+}$ .

4. Рентгенолюминесценция в диапазоне 620-650 нм обязана немостиковому кислороду с одной разорванной связью с предшественниками в виде силанольных групп.

5. РЛ в диапазоне 690-710 может быть связана с  $Fe^{3+}$ , замещающим Si или Al без образования собственных минеральных фаз.

## Библиография

1. Зырянова Л.А., Туров В.В., Борозновская Н.Н., Асочакова Е.М., Пешков А.А., Небера Т.С. Кахолонг Томского месторождения обыкновенного опала (Западная Сибирь, Россия). Геммология: Сборник статей. – Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2019. – С. 93-104.
2. Мисюра И.Н., Кононенко С.И., Калантарьян О.В., Журенко В.П., Скиба Р.В., Авотин С.С., Рохманов Н.Я. Люминесценция кварцевого стекла, индуцированная рентгеновским излучением // Журнал физики и инженерии поверхности. – 2016. – Т. 1. – № 3. – С. 282–288.
3. Boroznovskaya N.N., Korneva A.P., Marfin A.E. Structural Impurities and Intrinsic Defects Role in High Quality Raw Quartz Selection by Use of Luminescence Analyses // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 683. – P. 168-173.
4. Cidade M.K., Palombini F.L., Cunha Duarte L., Paciornik S. Investigation of the thermal microstructural effects of CO<sub>2</sub> laser engraving on agate via X-ray microtomography // Optics and Laser Technology. – 2018. – V. 104. – P. 56-64.

**Эсколаит в сростании с красным корундом в мраморах Кочкарского антиклинория (Южный Урал): проблема источника Al и Cr. Кисин А.Ю. (Институт геологии и геохимии УрО РАН, Уральский государственный горный университет, [kissin@igg.uran.ru](mailto:kissin@igg.uran.ru)),**

### Аннотация

Рубин – ювелирная разновидность корунда, содержащая изоморфную примесь Cr. Лучшие рубины встречаются в мраморах некоторых месторождений. Источники Al и Cr в мраморах остаются дискуссионными.

На некоторых высокохромистых ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  2-4 масс. %) кристаллах красного корунда из мраморов Кучинского проявления (Ю. Урал) обнаружен эсколаит ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) с примесью Al. Минерал исследован с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol и микроанализатора Cameca SX 100. С рубином прогрессивного этапа метаморфизма ассоциирует эсколаит черного цвета; химический состав (3 анализа)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9.1-54.27,  $\text{TiO}_2$  0.52-9.66,  $\text{V}_2\text{O}_5$  0.53-1.54, FeO 0.03-0.1, MgO 0.05-0.24,  $\text{SiO}_2$  0.1-0.21 масс.%. Эсколаит в ассоциации с рубином регрессивного этапа окрашен в буро-зеленый цвет и содержит (8 анализов)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12.25-21.2,  $\text{TiO}_2$  0.01-0.07,  $\text{V}_2\text{O}_5$  0.32-1.62, FeO 0.01-0.08, MgO 0.0-0.48,  $\text{SiO}_2$  0.01-0.1 масс. %. Признаков выноса хрома из рубина не наблюдается. Геологические признаки и наличие эсколаита в ассоциации с рубином в мраморах Кучинского проявления дают основание считать, что Al и Cr переносились флюидом в процессе рубинообразования.

### Ключевые слова

Драгоценные камни, рубин, эсколаит, Урал.

### Источники финансирования

Работа выполнена в рамках Гос. задания № Гос. учета НИОКТР 123011800011-2 «Рудообразующие процессы и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых во внутриплитных коллизионно-складчатых поясах».

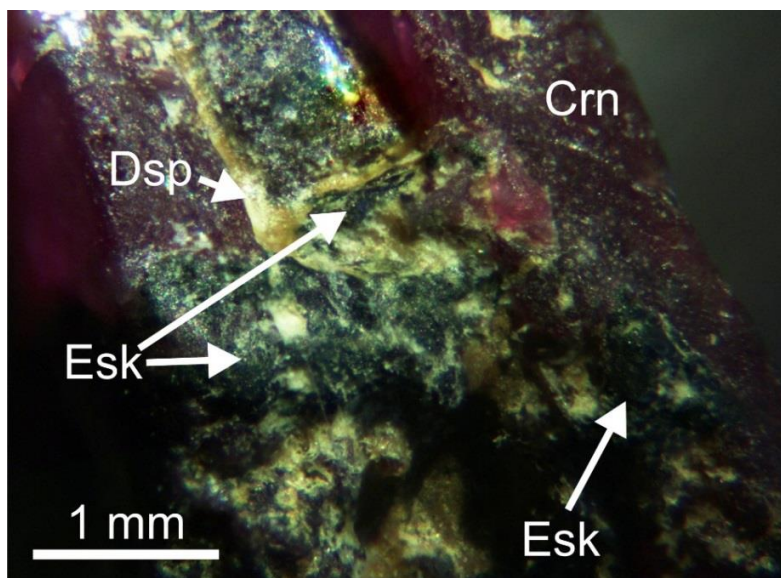
### Теория

Рубин входит в тройку самых дорогих самоцветов. Наиболее крупные месторождения высококачественного рубина и красной шпинели (Cr-содержащих минералов) связаны с мраморами (Мьянма, Вьетнам, Афганистан, Таджикистан и др.). В рубиноносных мраморах обычны и другие Cr-содержащие минералы, например, Cr-мусковит, -флогопит, -паргасит, -турмалин, -диопсид, -маргарит, -диаспор, -рутил, -сфен и другие. На Урале в рубин-содержащих мраморах установлен уваровит ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 18.60 мас. %) с примесью гроссуляра [1]. Однако собственных минералов Cr в рубин/шпинель-содержащем мраморе прежде не находили, что ставило вопрос об источниках Al и Cr. Обзор взглядов на эту проблему приведен в [4].

В распоряжении автора оказалось более 2 кг красного корунда (рубина) неювелирного качества. При изучении материала оптическими методами, на некоторых наиболее темных, высокохромистых корундах обнаружены черные и темно-зеленые

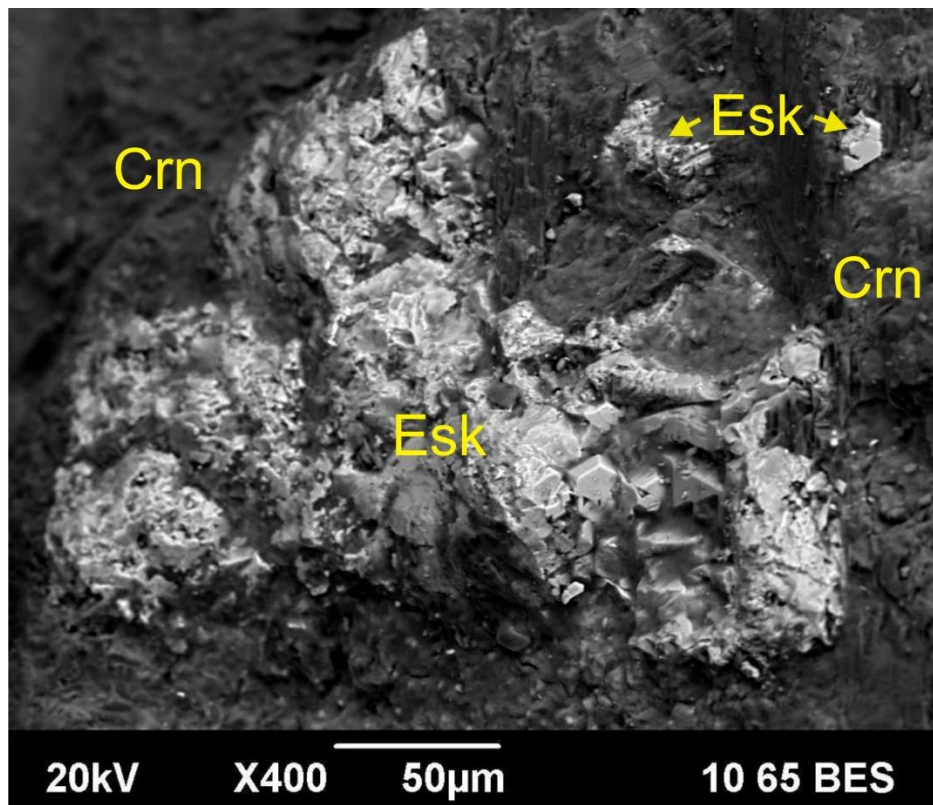
минералы. Неизвестные минералы исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 и EBSD-приставкой NordlysNano Oxford Instruments: съемка микрообъектов; анализ их псевдообъемных 3D-изображений с использованием программного пакета Mex 5.1; полуколичественное (качественное) определение элементов от Na до U с содержанием от 0.1 до 100 мас.%; получение картин дифракции обратно-рассеянных электронов. Часть зерен корунда с неизвестными минералами изучены в полированных аншлифах с помощью микроанализатора Cameca SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и энергодисперсионной приставкой Bruker XFlash 6; установки для напыления углеродного и металлического покрытий Q150TES фирмы Quorum Technologies: количественное определение (с содержанием от 0,01 до 100 мас.%) элементов до U, в том числе легких - O, F, Be и других в пробах с локальностью до 1 мкм. Исследования выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

В результате проведенных исследований установлено, что данные неизвестные минералы в ассоциации с рубином относятся к эсколаиту (рис. 1), образующего с корундом непрерывный изоморфный ряд. Рентгеноструктурные исследования подтвердили диагностику минерала.



**Рисунок 1.** Эсколаит (Esk) и диаспор (Dsp) на кристалле рубина (Crn). Оптический микроскоп, боковое освещение

Эсколаит представлен агрегатами мелких кристаллов таблитчатого облика размером до 10 микрон (рис. 2), реже до 0.2 мм. На кристаллах рубина 1 типа [2] эсколаит представлен агрегатами черного цвета, а на рубинах 3 типа – агрегатами бурозеленого цвета. Известно, что зеленый цвет эсколаита наблюдается только в тонких срезах и порошках. Следовательно, кристаллы эсколаита прогрессивного этапа метаморфизма более крупные, чем кристаллы регрессивного этапа. По результатам микрондовых анализов, эсколаит прогрессивного этапа содержит (3 анализа)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  9.1-54.27,  $\text{TiO}_2$  0.52-9.66,  $\text{V}_2\text{O}_3$  0.53-1.54,  $\text{FeO}$  0.03-0.1,  $\text{MgO}$  0.05-0.24,  $\text{SiO}_2$  0.1-0.21 мас.%. Эсколаит регрессивного этапа состоит из (8 анализов):  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12.25-21.2,  $\text{TiO}_2$  0.01-0.07,  $\text{V}_2\text{O}_3$  0.32-1.62,  $\text{FeO}$  0.01-0.08,  $\text{MgO}$  0.0-0.48,  $\text{SiO}_2$  0.01-0.1 мас.%



**Рисунок 2.** Скопление кристаллов эсколаита (Esk) на поверхности кристалла рубина (Crn). Изображение в обратно-отраженных электронах (BES)

Анализы показали, что эсколаит, как и рубин на Кучинском проявлении, почти не содержит Fe. При этом эсколаит прогрессивного этапа метаморфизма заметно обогащен  $\text{TiO}_2$  и характеризуется более широкими вариациями содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , по сравнению с эсколаитом регрессивного этапа.

На Кучинском проявлении эсколаит ассоциирует только с высокохромистыми рубинами, что указывает на их генетические связи. Содержание хрома в мраморе очень низкое: от следов до 35 ppm. Ультраосновных пород на Кучинском проявлении и в радиусе 5 км от него не известно.

На прогрессивном этапе в мраморе иногда образуется высокохромистая темно-красная шпинель, содержащая  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 20 масс. % и более. Но эсколаит в сростании с ней не наблюдался. Возможно, что это обусловлено редкостью нахождения данной шпинели. Однако, после образования высокохромистого рубина регрессивного этапа метаморфизма – появляется другая высокохромистая шпинель, содержащая  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 5

масс. %, которая имеет достаточно большое распространение. Но эсколаит в ассоциации и с этой шпинелью также не встречался.

Эсколаит наблюдается только на поверхности кристаллов рубина или в их приповерхностной области, совместно с диаспором. Следовательно, эсколаит образуется на заключительной стадии роста кристаллов рубина. Зонального распределения хрома в кристаллах рубина не наблюдалась. Обогащение корунда хромом в зоне контакта с эсколаитом иногда имеется, но не является правилом. Вероятно, содержание хрома в корунде лимитируется условиями кристаллизации, а не активностью хрома. Al и Cr обладают амфотерными свойствами и в гидротермально-метасоматических процессах мигрируют в близких условиях [3]. В таком случае, мы можем предполагать, что Al и Cr привносились в мрамор высокотемпературным флюидом.

Таким образом, появление эсколаита в ассоциации с рубином указывает на привнос Al и Cr в систему метаморфогенными флюидами. Это объясняет и морфологию минерализованных зон, и распространение в мраморах различных Cr-содержащих минералов. Флюиды часто обогащены фтором, что указывает на их связь с гранитогнейсовыми куполами, в обрамлении которых и локализованы рубин/шпинель-содержащие мраморы.

## **Выводы**

1. Это первая находка эсколаита в сростании с рубином в мраморах.
2. Как и рубин, эсколаит в мраморах Кучинского проявления формировался на прогрессивном и регрессивном этапах метаморфизма, что нашло отражение в его составе.
3. Совместное нахождение высокохромистого рубина и эсколаита в мраморе, приуроченность рубиноносных мраморов к обрамлению гранитогнейсовых куполов, морфология минерализованных зон указывают на то, что Al и Cr привносились в систему флюидами.

## **Библиография**

1. Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Баталина А.А., Томилина А.В. Зеленый гранат с Алабашского и Липовского проявлений рубина (Средний Урал) // Вестник УрО РМО. № 11. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. С. 52-59.
2. Кисин А.Ю., Мурзин В.В., Томилина А.В., Притчин М.Е. Рубин-сапфир-шпинелевая минерализация в мраморах Среднего и Южного Урала: геология, минералогия, генезис // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 4. С. 385-402.
3. Сазонов В.Н. Хром в гидротермальном процессе (на примере Урала). М.: Изд-во «Наука», 1978. 287 с.
4. Kissin A., Gottman I, Sustavov S, Murzin V. and Kiseleva D. The first find of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eskolaite associated with marble-hosted ruby in Southern Urals and the problem of Al and Cr sources // Minerals 2020, 10, 101; doi:10.3390/min10020101



*Сине-фиолетовые алмазы из россыпей Анабара (север Сибирской платформы). Коногорова Д.В.\* (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Геологический факультет, [diana-96permt@mail.ru](mailto:diana-96permt@mail.ru)), Тутков С.В. (ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия, [titkov@igem.ru](mailto:titkov@igem.ru)), Павлушин А.Д. (Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, [pavlushin@diamond.ysn.ru](mailto:pavlushin@diamond.ysn.ru)), Бардухинов Л.Д. (Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО) Лаборатория комплексного изучения алмаза, [bardukhinovld@alrosa.ru](mailto:bardukhinovld@alrosa.ru)), Гаранин В.К. (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова Геологический факультет; Минералогический музей им. Ферсмана, [vgaranin@mail.ru](mailto:vgaranin@mail.ru))*

## Аннотация

Уникальный по своей цветовой характеристике алмаз насыщенного сине-фиолетового цвета весом 0,16 карат добыт АО Алмазы Анабара в аллювиальной россыпи Анабара, расположенной на северо-востоке Сибирской платформы. Камень представляет собой целый прозрачный кривогранный додекаэдроид искаженной формы. Алмаз проявляет желто-зеленую фотолюминесценцию в ультрафиолетовых лучах. В спектре фотолюминесценции зафиксированы дефекты N3 и S2. По данным ИК-спектроскопии в алмазе установлено высокое содержание структурной примеси азота ( $N_{tot}=959$  at.ppm) с низкой степенью ее агрегации (%B=38%). Также зафиксировано очень высокое содержание структурной примеси водорода ( $30.1$  см<sup>-1</sup>). Важно отметить, что в кристалле отсутствуют структурные примеси бора, которая, как принято считать, обычно придает алмазам аллохроматическую окраску синего цвета (Шв тип по физической классификации алмаза). Алмазы синего цвета с подобным дефектно-примесным составом зафиксированном в анабарском алмазе встречаются в лампроитовом месторождении Аргайл [6]. Наличие данного генетического сходства кристаллов говорит о близости мантийных условий алмаз образования в пределах различных континентов.

## Ключевые слова

Сине-фиолетовый алмаз, окраска алмаза, инфракрасная спектроскопия, спектроскопия поглощения в видимой области, водород.

## Теория

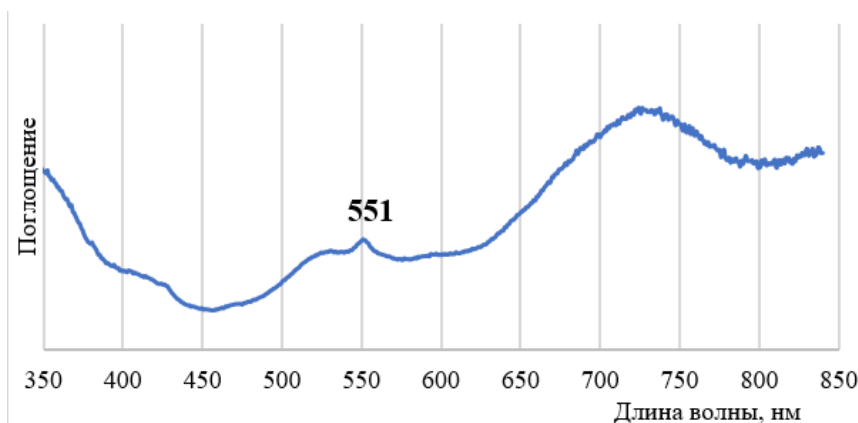
Данная работа посвящена первым изученным сине-фиолетовыми алмазам из месторождений России. Алмаз добыт дочерней компанией АЛРОСА «Алмазы Анабара», из россыпного месторождения р.Эбелях или просто Анабара (приток реки Анабар, север Сибирской платформы). Источником алмазов этой россыпи являются вулканогенно-осадочные породы, наиболее древними из которых являются булкуриты с ураганным содержанием алмазов. Их образование связывают с выбросом алмазоносных туфов из кратеров вулканов [1]. Данное месторождение известно своими алмазами «фантазийного» цвета, здесь встречаются уникальные по окраске алмазы – розовые, фиолетовые, желтые, оранжевые, зелёные, коричневые и синие.

Методы исследования: оптическая микроскопия и минералогическое описание алмаза выполнено с помощью бинокля Leica Wild M420 и биноклярного

микроскопа Leica M205; фотографирование алмаза выполнено с помощью бинокулярного микроскопа Leica M205; для возбуждения фотолюминесценции при характеристике цвета свечения использован лазер АИЛ-3 с длиной волны 337 нм; съемка спектров фотолюминесценции кристаллов алмазов выполнена с использованием возможностей КР-микроскопа InVia. (источник возбуждения лазер КР-микроскопа,  $\lambda$  325 нм, мощность 20 мВт); изучение окраски алмаза проводилась в диапазоне волн 380 – 850 нм на спектрофотометре Shimadzu UV2550; регистрация спектров ИК-поглощения в волновом диапазоне 600-4500  $\text{см}^{-1}$  на Фурье спектрометре Tensor-27 фирмы Bruker с микроскопом Hyperion 3000 (в качестве внутреннего стандарта было принято собственное поглощение алмаза [7], концентрации дефектов рассчитаны по методике [2; 3, 4]; с целью изучения внутреннего строения алмаза проведена съемка на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272.

Алмаз имеет вес 0,16 карат представлен целым насыщенно сине-фиолетовым прозрачным додекаэдром искаженной формы с глубокими трещинами.

По данным спектроскопии поглощения в видимой области один четкий пик – 551 нм (рис. 1). Данный пик предположительно связывают с присутствием водорода [6]. В спектре присутствуют две широкие полосы 520-565 и 700-750 нм, которые создают два окна пропускания в синей и красной области. Именно они связаны с сине-фиолетовой окраской [5].



**Рисунок 1.** Спектр видимой области сине-фиолетового алмаза.

При исследовании люминесценции алмаза с использованием лазера с длиной волны 337 нм у алмаза установлена желто-зеленая фотолюминесценция. Данное свечение связывают с наличием S2-дефекта в структуре кристалла [7]. В спектре фотолюминесценции зафиксирован N3-дефект (415 нм) и S2-дефект (523 нм), связанный со смикструктурными примесями никеля [7].

По данным ИК-спектроскопии в алмазе установлено высокое содержание структурной примеси азота ( $N_{\text{tot}}=959$  at.ppm) с низкой степенью ее агрегации (%B=38%). Также зафиксировано очень высокое содержание структурной примеси водорода (30.1  $\text{см}^{-1}$ ). Данный алмаз относится к Ia типу, по физической классификации алмаза. Важно отметить, что в кристалле отсутствуют структурные примеси бора, которые, как принято считать, придают алмазам аллохроматическую окраску синего цвета (IIb тип по физической классификации алмаза).

## Выводы

Алмазы серо-синего и серо-фиолетового цвета с подобным дефектно-примесным составом, зафиксированном в анабарском кристалле, встречаются в лампроитовом месторождении Аргайл [6].

Наличие данного генетического сходства алмазов говорит о близости мантийных условий алмазообразования в пределах различных континентов.

### **Благодарности**

Авторы благодарят за поддержку и помощь в работе сотрудников компании АК «АЛРОСА» (ПАО): главного эксперта ЕСО Л.А. Демидову, сотрудников Виллойской ГРЭ А.Н. Липашову, Р. В. Манхорова, Т.В. Кедрову, И.В. Глушкову, О.В. Данилову.

### **Библиография**

1. Граханов С.А., Проскурнин В.Ф., Петров О.В., Соболев Н.В. Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса Арктической зоны Сибири. Геология и геофизика. Т. 63. № 4. 2022. С. 550-578.
2. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998, 554 с.
3. Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond. Philos. Mag., V. 69. № 6. 1994. P. 1149–1153.
4. Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond. Philos. Mag., V. 72. 1995. P. 351–361.
5. Fritsch E., Hainschwang T., Massi L., Rondeau B. Hydrogen-Related Optical Centers in Natural Diamond: An Update. New Diamond and Frontier Carbon Technology. MSU Tokyo. V. 17. № 2. 2007. P. 63-89.
6. Eaton-Magaña S., Breeding C. M., and Shigley J. E.. Natural-color blue, gray, and violet diamonds: allure of the deep. Gems & Gemology, Summer 2018. V. 54. № 2. P. 112-131.
7. Zaitsev A. M. Optical properties of diamond: A data handbook. Springer, Berlin Heidelberg, 2001. 502 p.

*Создание и использование оправ для нестандартных форм вставок камней в реализации проектов ювелирных изделий. Костенко Ольга Евгеньевна\*, (ИРНИТУ, e-mail:lolginger70@gmail.com)*

### **Аннотация**

Рассматриваются способы создания оправ для каменных вставок нестандартных форм при помощи различных видов ювелирного воска. В качестве вставок в изделия, при применении данного метода, подходят все необработанные образцы минералов с сохранившимися природными гранями, формами и инклюзиями. Это может быть галтовка ювелирно-поделочных камней или расколовшиеся в процессе обработки кабошоны драгоценных камней ценные, как материал, но не обладающие возможностью быть закрепленными в традиционную оправу. Подобные вставки позволяют максимально скрыть изъяны и подчеркнуть декоративные качества камней в изделии. Показаны примеры уникальных ювелирных работ с использованием индивидуального крепления ювелирных вставок с описанием технологии изготовления, рассматриваются различные типы оборудования и способы его применения. Апробирован ювелирный воск и его возможности при выполнении украшений с индивидуальным дизайном.

### **Ключевые слова**

Индивидуальные оправы, ювелирные вставки, модельный воск, дизайн, моделирование

### **Теория**

Существует множество видов оправ ювелирных вставок, но индивидуальной оправе для нестандартных природных форм уделяется достаточно мало внимания в профессиональных источниках, описывающих технологию изготовления традиционных оправ для камней в ювелирных изделиях. Описываемый вид оправы может занять особое место среди современных ювелирных дизайнов, и технология её изготовления заслуживает рассмотрения, как в учебно-научной литературе, так и в практических руководствах для ювелиров[5]. Данная работа направлена на создание уникальных украшений с использованием каменных вставок нестандартных форм, и поиска способа воспроизводить их в достаточных количествах, сохраняя оригинальный дизайн.

Идея создания индивидуальных оправ под ювелирные вставки возникла в процессе обработки камней. Зачастую при работе над созданием вставки сам камень может дать трещину, или расколоться на части. В таком случае у мастера остается лишь два варианта, либо избавиться от сырья, либо начинать обработку заново, меняя форму и теряя при этом массу, что в свою очередь влияет на стоимость конечного изделия и производства в целом. Попытки избежать потерь привели к идее создания особых оправ, выполняемых под каждую такую вставку индивидуально, но при этом быстро и с минимальными трудозатратами. Ценность данного способа состоит и в том, что каждый использованный камень будет иметь свой неповторимый вид и уникальность[2].


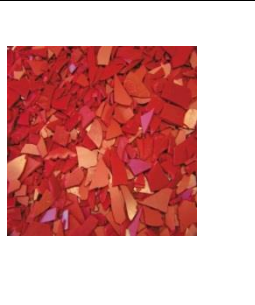
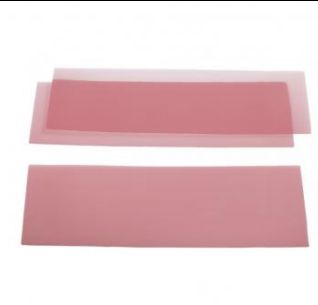
Апробация возможностей создания индивидуальных оправ было рассмотрено на каменных вставках у друз, у отдельных кристаллов, недоработанных кабошонов, треснувших обработанных камней с фантазийной формой, все они были использованы и разделены на соответствующие категории (табл.1).

Таблица 1. Исходное сырье

Кристалл	Кабошон	Обработанный камень фантазийной формы	Части друзы
			
Аметист	Кварц	Чароит	Кварц

В процессе работы необходимо разобраться с модельным воском для создания индивидуальных оправ вставок в украшениях[1]. На рынке предлагается огромный ассортимент воска, который различается по твёрдости, вязкости, упругости, текучести, степени усадки, скорости застывания и т.д. Большое разнообразие позволяет полностью использовать все возможности материала и процесса моделирования. Различные свойства воска достигаются за счёт добавления химических соединений и природных веществ в состав натурального природного или искусственного воска для изменения их физических и механических свойств. В зависимости от тех или иных свойств воска варьируется и его цветовая гамма (табл.2).

Таблица 2. Виды воска

Воск «морская волна»	Красный	Розовый
		

В процессе исследования все типы воска и исходного сырья комбинировались, расширяя диапазон знаний и возможностей. С каждым экспериментом и этапом находился лучший метод работы с тем или иным камнем и воском. Также не обошлось без использования специального оборудования, такого как инжектор, вулканизатор, термошпатель и т.д. Что давало еще более широкий спектр возможностей. Воск плавился, напаивался, обрабатывался бормашиной, создавались слепки, каждый процесс приносил с собой массу выводов, и, главное - множество положительных результатов[4].



**Рисунок 1.** Готовое изделие с использованием друзы



**Рисунок 2.** Браслет с вставками кварцевых кабошонов

На рисунке 1 представлено готовое изделие со вставкой кварцевой друзы с напылением, при создании оправы которого был использован зеленый и красный воск. Для создания браслета с кабошонами из кварца на рисунке 2, был использован розовый воск и красный, для укрепления конструкции перед процессом литья.



**Рисунок 3.** Кольцо с обработанным камнем неправильной формы



**Рисунок 4.** Кольцо с кристаллом аметиста

На рисунке 3 изображено кольцо с камнем фантазийной формы, к которому применялась техника работы с красным воском с применением термошпателя. На рисунке 4 – кольцо со вставкой из кристалла аметиста, самым удачным оказалось использование зеленого и красного воска.

### Выводы

В процессе проведенного исследования было установлено, что не всем видам неликвидного каменного сырья подходят различные виды воска. Поэтому конечный результат исследования оценивается по пяти бальной шкале (табл.3). Выяснилось, что камни с трещинами не следует покрывать мягким воском во избежание их засорения, это же относится и к камням с напылением. Вставкам, которые реагируют на температуру сменой цвета не желательно контактировать с воском в расплавленном состоянии. Необходимо с осторожностью использовать красный и розовый воск на больших плоскостях, так как усадка металла может быть критической и в итоге камень не подойдет к касту[3]. Удобней всего использовать красный инжекторный воск во всех вышеописанных случаях.

Таблица 3. Оценка конечного результата исследования

	зеленый	красный	розовый
кристаллы	4 (хорошо)	5 (отлично)	4 (хорошо)
кабошоны	5 (отлично)	5 (отлично)	3 (удовлетворительно)
Обработанные камни фантазийной формы	5 (отлично)	4 (хорошо)	3 (удовлетворительно)
Части друзы	2 (не удовлетворительно)	3 (удовлетворительно)	4 (хорошо)

### Библиография

1. Виды и применение воска в ювелирном деле [Электронный ресурс]: // URL: <https://3dcast.ru/vidy-i-primeneniye-voška-v-juvelirnom-dele/>
2. Гринько К.В. Архитектурное формообразование в ювелирных изделиях. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2021 [Электронный ресурс] // URL: <https://eee-science.ru/item-work/2021-3199/>
3. Лившиц В.Б. Технология литья художественных изделий. М.: 2017. 272 с. [Текст]
4. Сапфир ювелирный технопарк [Электронный ресурс] // URL: <https://www.sapphire.ru/vcd-531/catalog.html>
5. Хрущева И.Г. Дизайн и технология изготовления ювелирных изделий на основе природных растительных материалов. М. 2013 [Электронный ресурс] // URL: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01006597067.pdf>

**Анализ внедрения системы прослеживаемости ювелирных изделий и пути ее совершенствования. Куликова А.И.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), sashka1249@mail.ru)**

**Аннотация**

В данном исследовании рассмотрены вопросы связанные с введением системы прослеживаемости ювелирных товаров ГИИС ДМДК. Рассмотрены базовые проблемы, возникшие у участников торгового оборота на основных этапах внедрения. Также проанализированы перспективы системы прослеживаемости товаров и проблема контроля камней 2 и 3 порядка.

**Ключевые слова**

Ювелирные изделия, маркировка, драгоценные металлы, драгоценные камни, прослеживаемость.

**Теория**

В 2021 году на внутреннем рынке РФ началось внедрение прослеживаемости ювелирных изделий в системе ГИИС ДМДК. Причиной такого решения стал так называемый «теневой оборот» ювелирных товаров, который составил в 2020г. 50% по данным Министерства финансов. [1] ГИИС ДМДК – государственная интегрированная информационная система в сфере контроля за оборотом драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах этого оборота. [2,5] Контроль маркировки осуществляет АО «Гознак», а не Центр развития перспективных технологий (ЦРПТ).

При завершении первого этапа внедрения системы прослеживаемости можно сказать, что организации, работающие с ювелирными изделиями, столкнулись с рядом сложностей (Рис. 1).

01.03.2022	Выпущенная или ввезённая в РФ продукция (материалы и украшения) должна иметь ярлыки с кодами Data Matrix, а участники товарооборота регистрировать в ДМДК сведения о: – вводе в оборот; – передаче прав собственности от изготовителя (импортера) оптовнику или розничному продавцу; – о перемещении между складами и торговыми точками; – о продаже конечному потребителю. Штрихкоды для слитков драгметаллов можно наносить на паспорта и сертификаты.
01.03.2023	На каждой товарной единице должен быть код маркировки. Без нанометки нельзя выпускать и ввозить ювелирные товары из зарубежных стран, но можно хранить остатки на складе.
01.04.2024	Необходимо нанести физические нанометки на все остатки. Розничная сеть не сможет продавать драгоценности без кода маркировки.

**Рисунок 1.** Ключевые даты внедрения системы прослеживаемости ювелирных товаров [4]



В Приказах Министерства финансов РФ, о передаваемой в ГИИС ДМДК информации, содержатся сведения:

- о химически чистом драгоценном металле в составе каждого ювелирного изделия;
- о недорогих камнях, закрепленных в каждом ювелирном изделии;
- о марке сплава, из которого изготовлено каждое ювелирное изделие.

Данные позиции не требуются в перечне информации, подлежащей передаче в ГИИС ДМДК, в соответствии с Постановлением Правительства РФ. Обязанность предоставления вышеуказанной информации создает дополнительную и существенную нагрузку на участников рынка. Расчет доли химически чистого драгоценного металла в готовом изделии не дает достоверного результата, но накладывает ответственность на участников оборота за предоставление недостоверной информации.

Использование данной информационной системы предполагает наличие квалифицированного персонала с углубленным знанием характеристик товара, а также опытных пользователей программными продуктами. В настоящее время большая часть отрасли состоит из субъектов малого бизнеса и микропредпринимательства, не имеющего такого персонала, что приводит к многочисленным ошибкам при эксплуатации системы. Вследствие и к перегрузке служб технической поддержки.

Следует отметить, что представители Федеральной Пробирной Палаты под термином «маркировка» понимают исключительно физическое нанесение лазерного Data Matrix кода (далее –DM-код) на поверхность ювелирного товара (2-3 этап внедрения системы прослеживаемости). В остальных случаях используется термин «уникальный идентификационный номер (УИН)». [3]

На сегодняшний день изделие может иметь на бирке УИН, но не иметь физической маркировки.оборот таких изделий возможен до 01.01.2023 года. С 01.03.2023 года на каждой товарной единице должен быть код маркировки. Без нанометки нельзя выпускать и ввозить ювелирные товары из зарубежных стран, но можно хранить остатки на складе (Рис.2).



**Рисунок 2.** Нанесение обязательной маркировки (физической) на ювелирные товары

На втором этапе внедрения изучаемой системы прослеживаемости участники оборота могут столкнуться с техническими проблемами. В ГИИС ДМДК закладывается размер маркировки непосредственно ювелирных изделий 0,8 x 0,8 мм (0,64 кв. мм.), что крайне мало для надежного считывания метки даже с ровной и матовой поверхности. Двухмерный код: QR-код или Data Matrix, имеет ограничения по количеству записанной в нем информации на единицу площади физического его размера (маленький физический размер нанесенного штрих-кода, содержит в себе мало информации). Минимум кодируемой информации в ГИИС ДМДК выглядит как: УИН номер и ссылка на Интернет-ресурс оператора. Такой небольшой объем информации в мировой практике помещают в DM-код (при маркировке микросхем). Однако размер наносимого DM-кода составляет не менее 1,5 x 1,5 мм., т.е. около 2,25 кв. мм. Так же следует отметить, что при глянцевой поверхности изделия, имеющей блики увеличивается риск не считываемости или ошибки считываемости маркировки.

Обязательной маркировке в системе ГИИС ДМДК подлежат драгоценные камни 1 порядка (рубины, бриллианты, сапфиры, изумруды). Рассмотрев рынок ювелирных изделий необходимо отметить, что зачастую камни 2 и 3 порядка (Александрит, Опал, Аквамарин и др.) имеют большую стоимость в сравнении с камнями 1 порядка. Не отслеживание государством таких ресурсов дает возможность недобросовестным продавцам вводить покупателей в заблуждение, предлагая искусственно окрашенные, восстановленные, искусственно выращенные камни за натуральные.

### **Выводы**

Система прослеживаемости ГИИС ДМДК была введена в обязательное использование в сентябре 2021 г. С начала внедрения и до сегодняшнего момента участники торгового оборота сталкиваются с проблемами функционирования системы, которые требуют решения. Постановлением Правительства №270 в функционал ГИИС ДМДК изначально были заложены концептуальные и технологические решения, сложность и многозадачность которых требуют максимальных ресурсов информационной системы и подготовки квалифицированных кадров. В сложившихся условиях для улучшения работоспособности ГИИС ДМДК, в первую очередь, необходимо стандартизировать перечень информации, наносимой на бирку изделия. Доработать маркировку DM-кодами непосредственно на ювелирных изделиях. Обратить внимание на прослеживаемость ювелирных камней 2 и 3 порядка.

### **Библиография**

1. Внедрение системы прослеживаемости драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах их оборота на территории Российской Федерации / доклад Минфина / URL: [minfin.gov.ru/ru/document/](http://minfin.gov.ru/ru/document/).
2. ГИИС ДМДК – государственная интегрированная информационная система в сфере контроля за оборотом драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах этого оборота / URL: <https://dmdk.ru/>
3. Кучинская Л. В., Краснослободцева Ю.С. «Современное состояние и перспективы прослеживаемости ювелирных товаров»
4. Постановление Правительства РФ от 26.02.2021 N 270 (ред. от 02.04.2022) «О некоторых вопросах контроля за оборотом драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах этого оборота и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (вместе с «Правилами функционирования государственной интегрированной информационной системы в сфере контроля за оборотом драгоценных металлов, драгоценных камней и изделий из них на всех этапах этого оборота») // СПС «КонсультантПлюс».
5. Федеральная пробирная палата / URL: <https://probpalata.gov.ru/dmdk/>

**Геммология и пробная огранка сапфиров месторождения Стаж-2, Юго-Западный Памир. Литвиненко А.К. \* (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [akl1954@yandex.ru](mailto:akl1954@yandex.ru)), Литвиненко Д.А. (ФГБОУ ВО Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [dariaenglish@yandex.ru](mailto:dariaenglish@yandex.ru))**

**Аннотация**

Исследованы геммологические свойства сапфира: морфологические, оптические, плотность, вещественный состав (приводятся микронзондовые анализы самоцвета); описываются твёрдые и газово-жидкие включения; установлены внутренние деформации, нарушающие прозрачность кристаллосырья, для которого характерны регенерированные поверхности.

Произведена пробная огранка сапфира из различных парагенезисов: вставки сапфира из плагиоклазового матрикса, вставки сапфира из флогопитового матрикса и вставки сапфира из карбонатного матрикса. Это позволило рассматривать сапфиры месторождения Стаж-2 в качестве сырья для изготовления кабошонов.

**Ключевые слова**

Сапфиры, месторождение Стаж-2, Юго-Западный Памир, геммологические свойства, пробная огранка

**Теория**

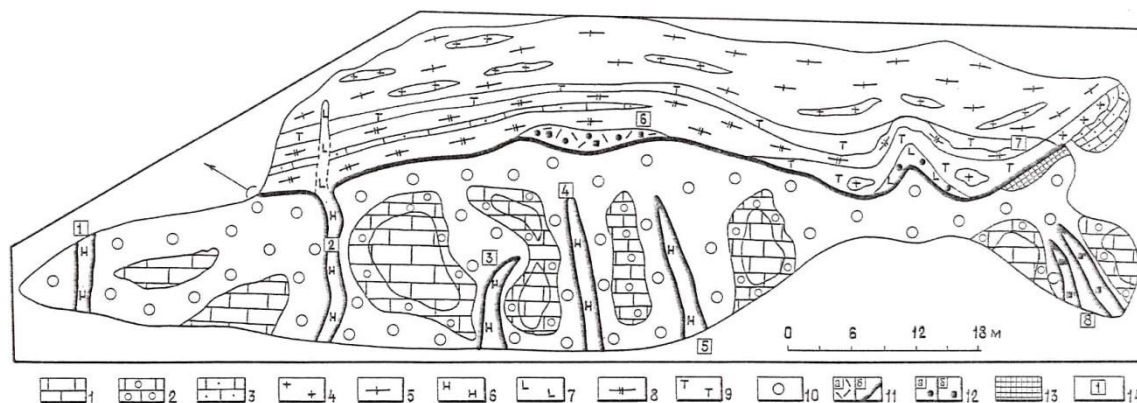
Географическое и геологическое положение подробно рассмотрены ранее [1]. На месторождении Стаж 2 отмечается 7 жил секущего положения относительно магнезитов и одна согласная (рисунок 1). Начальные компоненты биметасоматоза представлены: жильным материалом гранитов (мигматитов) и вмещающими их магнезитами.

Обобщенная метасоматическая колонка сапфироносных пород в контактах гранитов с магнезитами выглядит следующим образом (таблице 1).

**Таблица 1**

Магнезиты	ЗОНЫ									Гранитоиды
	Экзоконтактовые			Эндоконтактовые						
	Маг-не-зифи-ры	Фор-сте-рито-вая	Энс-тати-то-вая	Фло-гопи-то-вая	Шпи-неле-вая	Сап-фи-ро-вая	Плаги-оклаз-корун-довая	Пла-гио-кла-зовая	Калишпат-плагиокла-зовая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Секущие жилы имеют концентрически-зональное строение, а согласная – линейное, с неповторяющимися метасоматическими зонами. Образование метасоматических зон и сапфира обусловлены биметасоматическим процессом [2].



**Рисунок 1.** Геологический план месторождения сапфира Стаж 2 по [1].

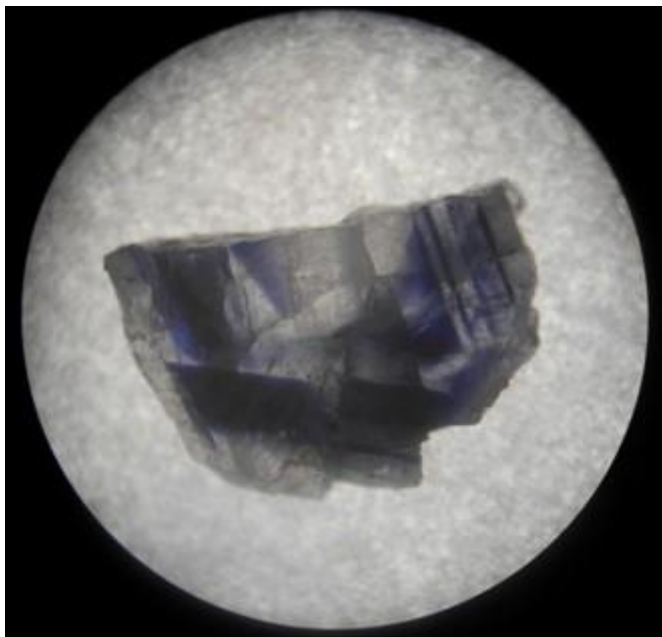
1 – магнетитовые мраморы. 2 – кальцифиров с форстеритом. 3 – кальцитовые мраморы. 4 – граниты. 5 – гнейсы. 6 – апогранитные сапфирующие жилы. 7 – апогранитный плагиоклазит. 8 – апогнейсовый плагиоклазит. 9-11 – метасоматические зоны: 9 – плагиоклаз-калишпатовая, 10 – форстеритовая, 11а – флогопитовая в масштабе, 11б – она же вне масштаба. 12а – сапфир, 12б – шпинель синяя. 13 – энстатитовая порода. 14 – номера сапфирующих жил.

Сапфир образует различные объёмные количества, поэтому подсчёт среднего содержания представляет определённую сложность. Пример такой жилы приведен на рисунке 2. На нём видно неравномерность кристаллосырья по размеру и размещению, а также неравномерность окраски сапфира (бесцветная и ярко-синяя в одном кристалле).



**Рисунок 2.** Образец сапфирующего корундового плагиоклазита: синий – сапфир, серый-корунд, белый – плагиоклаз, коричневый – флогопит. Сапфир не образует парагенезиса с флогопитом. Вверху сантиметровая линейка

Для исследуемого сапфирового кристаллосырья характерна неравномерная зональная окраска, с большими неокрашенными участками, трещины отрыва и скола (рисунок 3).



*Рисунок 3. Не симметричные зоны роста в регенерированном кристалле сапфира, отражающие различную плотность распределения элементов-хромофоров*

Огранке было подвергнуто 7 кристаллов, извлеченных из флогопитового и кальцитового агрегата. После предварительного укрепления (проклеивания в эпоксидке) удалось получить семь вставок (рисунок 4). Сапфир хорошо принимает полировку и имеет неплохой декоративный облик.



*Рисунок 4. Вставки сапфиров: 1,2 – 1,5 кар; 3 – 1,3 кар; 4,5 – 2,8 кар; 6 – 2,2 кар; 7 – 20,4 кар*

Авторы измерили показатели преломления 10 сапфировых кристаллов. Все замеры получились в следующих значениях:  $n_g = 1.770$ ,  $n_p = 1.762 \pm 0,002$ . Замерялись как синие, так и бесцветные индивиды. При этом оказалось, что показатели преломления синих и бесцветных корундов имеют одинаковые значения. В этой связи напрашивается вывод, что цвет синих корундов не влияет на показатель преломления.

Химический состав сапфира отличается широким разнообразием. Нами в нём обнаружены следующие изоморфные включения, в мас. %: SiO<sub>2</sub> от 0 до 0.39, TiO<sub>2</sub> от 0 до 0.43, FeO от 0 до 0.24, MnO от 0 до 0.09, CoO от 0 до 0.27, NiO от 0 до 0.18, CaO от 0 до 0.04, K<sub>2</sub>O от 0 до 0.04, Na<sub>2</sub>O от 0 до 0.19, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0 до 0.15, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0 до 0.16, CuO от 0 до 0.14, ZnO от 0 до 0.20 [4]. Этот набор химических элементов представляет смесь гранитофильных SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, FeO и базитофильных элементов CoO, NiO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, ZnO.

В составе сапфира отмечаются относительно редко твёрдые и часто газожидкие включения. В составе твёрдых включений установлены: рутил и уранинит.

Для всех минералов сапфировой ассоциации характерен широкий изоморфизм составов [3].

### **Выводы**

В результате проведенных работ было установлено, что сапфировая минерализация самого крупного на Юго-Западном Памире месторождения Стаж 2 относится к синему корунду. Многочисленные трещины отрыва и отдельности не позволяют проявиться в кристаллах сапфира свободному прохождению света, что создаёт прозрачность. На основе малопредставительных проб-образцов авторы располагали малым количеством каменного материала (11 штуфов). Однако, несмотря на малый объём проб, можно рекомендовать использовать сапфиры данного региона для изготовления кабошонов. Этот материал не будет подпадать под запреты ГОХРАНА Республики Таджикистан к регламентированию движения камней 1-го класса. Это упрощает введение в эксплуатацию месторождения Стаж 2.

Изготовленная нами серия кабошонов общим объёмом до 32,5 карат и более может быть использована в недорогих ювелирных изделиях.

### **Благодарности**

Авторы выражают признательность заведующему кафедрой минералогии и геммологии Д.А. Петроченкову за помощь в огранке сапфирового кристаллосырья и оценке его ювелирных качеств.

### **Библиография**

1. Литвиненко А.К. Минерагеня сапфино- и рубиноносных метасоматитов Юго-Западного Памира. Липецк: ЛГПУ. 2006. 128 с.
2. Литвиненко Д.А., Литвиненко А.К. О биметасоматическом сапфире с месторождения Стаж-2, Юго-Западный Памир // Минерально-сырьевая база алмазовблагородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. М.:ЦНИГРИ. 2021. С.88-91.
3. Литвиненко Д.А., Литвиненко А.К. Особенности проявления "изоморфизма" в минералах месторождения рубина Снежное, Ц.Памир // XV Международная Конференция «Новые идеи в науках о Земле», 2021.С. 179-184.
4. Литвиненко Д.А., Литвиненко А.К. Особенности химического состава сапфира с месторождения Стаж 2, Юго-Западный Памир // X Международная конференция молодых учёных "Молодые -Наукам о Земле". Тезисы докладов. 2022. Т. II. С. 157-161.

*Канитель как ювелирный материал в декоративной отделке текстильных изделий. Миронова Н. В.\* (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: n3308780@yandex.ru), Курсанова Е. А. (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: oimgudt@yandex.ru)*

## **Аннотация**

В этой статье рассматривается канитель как ювелирный материал для декорирования тканей жесткими светоотражающими не текстильными элементами. Канитель до середины XIX века изготавливалась ювелирами на заказ из ювелирных сплавов. Позже канитель стала изготавливаться из не драгоценных металлов с различными поверхностными покрытиями для придания необходимых визуальных и антикоррозионных свойств.

Статья охватывает материалы и покрытия из которых изготавливается канитель. Материал различается по толщине и форме сечения проволоки из которого изготавливается канитель, плотности навива и форме поперечного сечения самой пружины канители.

## **Ключевые слова**

Канитель, ювелирный материал, декоративный текстиль, декоративные элементы, металл.

## **Теория**

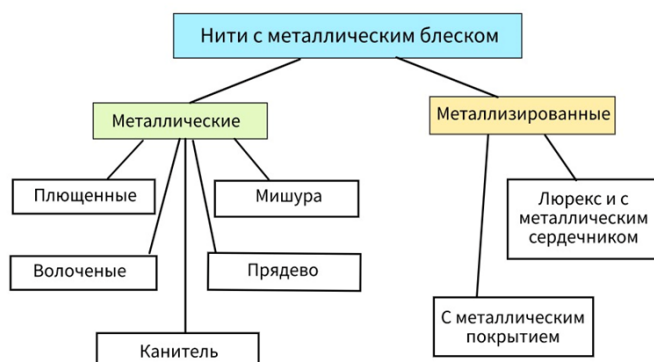
В ювелирной и текстильной промышленности один и тот же продукт широко применяется, но имел разные названия — это металлическая нить и проволока. Продукт промышленности один и выпускается одним и тем же методом и очень часто на одних и тех же приборах, только используется в разных отраслях. Металлы из которых изготавливается продукт такие же как используются в ювелирной промышленности, и они обладают необходимыми физико-химическими показателями: высокой коррозионной стойкостью, высокой пластичностью, блеском. Канитель из драгоценных металлов до сих пор изготавливается ювелирами вручную или при помощи специального оборудования. Этот вид декоративного материала является общим для двух отраслей промышленности ювелирной и текстильной. Так исторически сложилось. Для улучшения показателей отражения и износостойкости прибегают к обработке проволоки покрытиями. Современная химическая промышленность обладает широким ассортиментом покрытий, которые могут полностью обеспечить решение поставленных целей. С помощью покрытий можно добиться снижения уровня химической и механической износостойкости поверхности и вследствие избежание потери блеска и прочности, предотвращения образования окисления как в случае в медной и латунной проволокой, придания материалу более высокого уровня блеска, как например обработка изделий из серебра родированием, придания проволоке различных оттенков[3].

Нити с металлическим блеском могут выступать как в качестве самостоятельного декоративного элемента, например, при выполнении декорирования вышивкой или используя нити в качестве материала для изготовления мягких готовых текстильных отделочных материалов, как и в случае введения нитей в текстильное

полотно. Нити с металлическим блеском являются одними из декоративных материалов обладающим высокой отражающей способностью и, следовательно, блеском, применяющихся в текстильной промышленности [5].

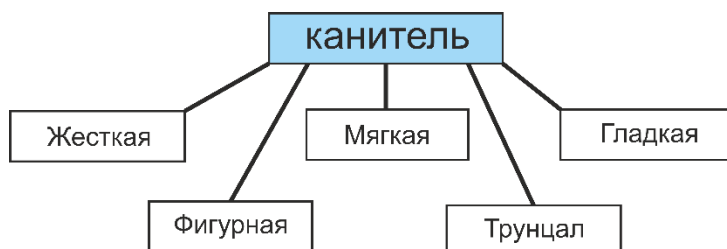
Нити с металлическим блеском делятся на две категории, основывавшиеся на строении: на металлические и металлизированные (рис.1). Металлические нити обязательно представляют собой цельнометаллическую моноплетню. Металлические моноплетни могут быть различной формы поперечного сечения. Комплексные нити в состав которых входят металлические нити тоже относят к металлическим. Комплексные нити могут иметь в своем строении сердечник из текстильной нити или комбинацию из металлических нитей разного поперечного сечения как в случае с мишурой [4]. Металлические нити могут быть покрыты гальваническими покрытиями из более дорогих металлов для создания декоративного внешнего вида и придания коррозионной стойкости. Так же для того чтобы избежать окисления поверхности металлические нити покрывают лаком, что дает в случае использования, например, медной нити избежать потемнения поверхности. Металлические нити менее устойчивы к коррозии чем металлизированные, легко образуются заломы, которые трудно разгладить.

Металлические нити классифицируют на: волооченные, плющенные, мишуру, прядево, канитель и позументную нить. Классификация основана на особенностях строения и поперечном сечении нитей.



**Рисунок 1.** Схема классификации нитей с металлическим блеском применяющихся в отделке текстильных изделий.

Канитель – металлическая нить плотно свитая в спираль. Канитель подразделяется на: жесткую, мягкую, гладкую, фигурную и трунцал [1].



**Рисунок 2.** Схема классификации канители.



Жесткая канитель изготавливается только из толстых металлических нитей круглого сечения (рис. 2). Имеет ярко выраженную спиральную фактуру от которой исходит неровный рассеянный блеск. Обладает высокой прочностью по сравнению с другими видами канители, вследствие чего ее сложнее деформировать при декоративной отделке. Используется для создания контура крупных деталей рисунка т. к. ее жесткость позволяет хорошо сохранять форму и направление [1,4].

Мягкая канитель изготавливается из более тонкой металлической проволоки по сравнению с жесткой канителью, исключительно круглого сечения. Отличается ярким ровным блеском и мелкой спиральной фактурой [1]. Мягкая канитель легко деформируется и требует более аккуратного обращения во время декорирования. Применяется для сплошного застила фрагментов рисунка декоративной отделки и создания мелких деталей.

Гладкая канитель изготавливается из нитей плоского сечения. Такое строение создает меньшую степень гибкости чем у мягкой канители. Использование плоских профилей проволоки создает гладкую фактуру с еле различимыми спиральными навивами как визуально, так и наощупь, обладает ярким четким не рассеянным блеском. Гладкую канитель отличает обладание самым ярким блеском из всех видов.

Фигурная канитель производится из проволоки различного сечения в зависимости от цели достижения декоративного эффекта. Отличительной чертой данного вида канители является ярко выраженная фактура поверхности. Декоративный эффект достигается навивом нитей на формообразующую заготовку соответствующей формы [1, 2]. Фигурная канитель выпускается разных подвидов и названий: бамбуковая, витая, спиральная и т.д.

Трунцал является частным случаем фигурной канители выделенным в отдельный вид за счет создаваемого определенного декоративного эффекта хаотичных граней [1]. изготавливается из металлической нити плоского сечения, которая навивается на четырех-, пяти- и т.д. угольные заготовки, за счет чего образуется канитель с резкими изгибами нити на выступающих частях многоугольной заготовки (рис. 3). Имеет сильно шероховатую фактуру и ярко выраженный граненый блеск за счет комбинации плющенной металлической нити и навива на многоугольную заготовку.

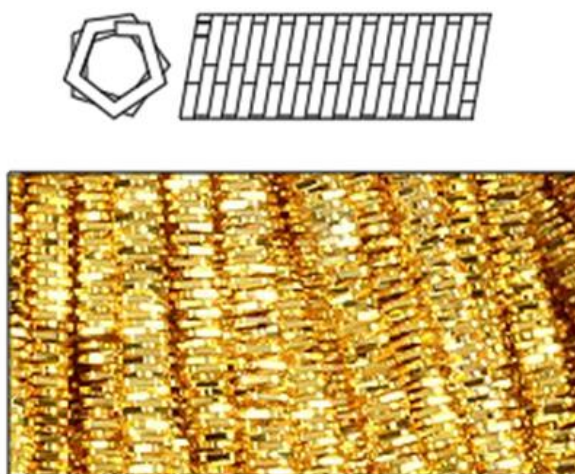


Рисунок 3. Трунцал [1].

Существует три метода крепления канители. Первый метод требует канители небольшой длины которая нанизывается на иглу через центральное отверстие и пришивается как бусины. Второй метод позволяет использовать длинную канитель. Отрез канители нанизывается на иглу через центральное отверстие, пришивается по краям и только потом закрепляется в нескольких местах поперечными стежками. Для того чтобы нить не выделялась на поверхности канители, ее немного растягивают и стежки проходя между навивами прячутся внутри канители [2,5]. Третий способ крепления применяется для жестких видов канители, которые пришиваются только потайными поперечными стежками.

## **Выводы**

Канитель является довольно редким элементом декоративной отделки готовых текстильных изделий. Вплоть до первой половины XX века канитель часто изготавливалась из драгоценных металлов в ювелирных мастерских, сейчас в производстве широко применяются менее дорогостоящие металлы с поверхностными покрытиями, что ничуть не уменьшает декоративных и прочностных свойств современной канители. Существует множество вариаций форм и навива канители что позволяет достигать различных эффектов декоративной отделки изделий. Канитель и металлические нити являются общими продуктами двух разных сфер промышленности: текстильной и ювелирной.

## **Библиография**

1. Канитель [Электронный ресурс]. Код доступа: [https://beadsbee.ru/info/articles/2018/o\\_kaniteli/](https://beadsbee.ru/info/articles/2018/o_kaniteli/)
2. Кирсанова Е.А. Исследование и разработка технологии получения объемных эффектов в швейных изделиях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва, 1985
3. Кирсанова Е.А., Звягинцев С. В. Дизайн отделки швейных изделий. ИИЦ МГУДТ. 2008–192с.
4. Обработка текстильных изделий, содержащих металлические нити с применением препаратов фирмы ООО «НФП Траверс» [Электронный ресурс]. Код доступа: <https://www.travers.su/upload/iblock/15a/15ad38da987b5a3f0591c8c568022203.pdf>
5. Пашкова, Д. И. Способы декоративной отделки ткани как процесс творческого развития в профессиональной деятельности дизайнера / Д. И. Пашкова, Е. В. Львова // Science and education: problems and innovations : сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 февраля 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 271-274.

*Целесообразность крепления ниточным методом граненых декоративных ювелирных вставок без специальных оправ. Миронова Н. В.\* (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: n3308780@yandex.ru), Курсанова Е. А. (РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), e-mail: oimgudt@yandex.ru)*

## Аннотация

Дизайнеры часто не задумываются о технологии создания продукта, а разрабатывают только визуальную концепцию, не вникая в конструкцию, поэтому часто встречаются не рациональные конструктивные предложения и решения. Огранённые вставки, в оправках, которые предложены на рынке не могут полностью удовлетворить потребителя в качестве закрепки. Приходилось часто сталкиваться с предложениями закрепить facетные огранённые элементы через отверстие в самом теле элемента для более эффективного крепления. Строение огранки и физики распространения света в огранённом материале полностью опровергает такое техническое решение.

## Ключевые слова

Крепление, закрепка, декоративная отделка, драгоценные вставки.

## Теория

Фасетная или facетная (от фр. *facette* – «грань») – тип огранки, образованный комбинацией граней. Данный вид огранки используют преимущественно в обработке прозрачных материалов, огранка гранями позволяет лучше всего выявить блеск, ступенчатая модификация огранки позволяет раскрыть цвет и подчеркнуть оптическое эффекты. Но все декоративные вставки, огранённые facетной огранкой, имеют общее строение вне зависимости от расположения граней и подвидов facетной огранки. Декоративные материалы, огранённые facетной огранкой, имеют четкое строение формы объёмной фигуры образованной короной, павильоном, рундистом, площадкой и в некоторых случаях калеттой [4]. Сочетание всех углов граней должно быть такими, чтобы собрать свет, исходящий из воздушной атмосферы и вернуть его в глаза наблюдателю.

Чтобы посмотреть, как будет выглядеть камень при различных углах наклона граней, можно воспользоваться следующими программами: «Facet disigner», «Gemcad» и «Gemray», «Diamond calculator». В программе «Gemcutstudio» есть функция просмотра сразу всех вариантов с разными углами наклона. Программа сама автоматически предлагает вариант огранки с наилучшими углами граней.

Недостатками пришивного метода является то что для крепления декоративных материалов к текстильному полотну необходимы отверстия [1, 2]. Согласно закону полного внутреннего отражения, помимо математически выверенной формы и углов наклона в огранённом материале также необходимо отсутствие дефектов в для того чтобы луч света не имел препятствий при прохождении в гранёной вставке [4]. В основном отражение света внутри страза или драгоценного камня зависит от павильона. Для того чтобы твердый прозрачный материал проявлял блеск его следует

обрабатывать определенной формой, которая имеет математически выверенные углы. Минимальный угол наклона граней низа или павильона должен быть не меньше критического, который четко зависит от показателей преломления. Влияние граней короны на картину отражения света в огранённых вставках не так значительно, как расположение граней павильона [4]. Грани короны отклоняют часть лучей света обратно внутрь огранённой вставки. Большой размер рундиста будет так же влиять на картину отражений. Но при этом свет будет гаснуть из-за внутренних особенностей камня и плохого качества полировки, а также становится непредсказуемым место выхода этого луча из камня.

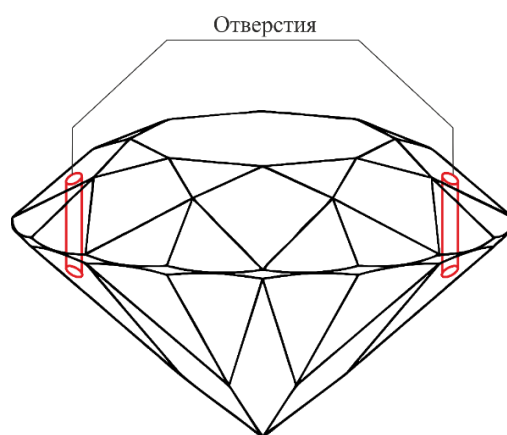
Свет проходит через весь камень, дважды отражаясь от нижних граней, то, следовательно, всё что попадает на его пути тоже отражается в них и так же препятствовать прохождению луча света. Это вызывает проблемы при огранке, потому что все внутренние включения и дефекты полировки будут многократно отражаться как в калейдоскопе и затемнять отражения препятствуя максимальному блеску нижних граней, уменьшая красоту огранённой вставки [5]. Из этого можно сделать вывод что любые отверстия в огранённых вставках предназначенные для пришивного метода будут значительно ухудшать отражение света даже если декоративная вставка выполнена из материала с высоким показателем преломления и огранена с соблюдением критических углов. Кроме того, отверстия в декоративных вставках не полированные, их в многократное отражение внутри декоративной вставки будет производить эффект не прозрачного материала.

Среди ассортимента декоративных светоотражающих вставок для текстильной промышленности были найдены пришивные декоративные вставки, огранённые в форме Кр-57 с соблюдением углов и пропорций. Декоративные элементы не имеют оправы. Крепление осуществляется за счет отверстия в самом светоотражающем элементе которое располагается в павильоне декоративной вставки параллельно рундисту (рис. 1). На фото показан декоративный элемент с разных ракурсов где можно отчетливо увидеть проходящее сквозь декоративный элемент отверстие. Внутри видно малое количество светлых участков граней с отраженным светом и, следовательно, как сильно влияет на блеск внутреннего отражения отверстие для крепления. Кроме того, такая конструкция декоративного элемента не позволяет его прочно закрепить площадкой вверх, которая будет обеспечивать наблюдение картины полного внутреннего отражения. И нет технических решений, позволяющих прочно, качественно и аккуратно фиксировать декоративный элемент площадкой вверх. Декоративный элемент будет стремиться переворачиваться павильоном вверх, а площадкой к поверхности текстильного полотна [3]. Подобное крепление декоративных элементов может способствовать соскалыванию или полному разрушению при ударе материала из которого они выполнены.



**Рисунок 1.** Декоративный светоотражающий элемент с отверстием для ниточного крепления.

Существует еще один вариант расположения отверстий для крепления проходящие через камень перпендикулярно площадке. Данный метод крепления обеспечивает достаточно хрупкое крепление. Нить, проходящая через отверстие, охватывает достаточно тонкий участок вставки (рис. 2). Закрепленный декоративный элемент имеет достаточно подвижное соединение и вследствие этого может происходить эффект рычага что спровоцирует напряжение на участке и разлом по отверстию как по самому слабому месту. В ювелирных украшениях так же встречается этот метод закрепки граненых вставок, но с использованием металлических колец и штифтов, проходящих сквозь отверстия, но его не применяют для дорогих материалов и у потребителя украшения с таким креплением вызывает недоверие и следовательно меньший спрос. Этот вариант крепления вставок с помощью отверстий перпендикулярных площадке так же не имеет возможности прочной фиксации в необходимом положении, декоративный элемент будет стремиться перевернуться и опереться площадкой на текстильное полотно.



**Рисунок 2.** Чертеж граненой вставки с отверстиями для крепления расположенные перпендикулярно площадке.

Еще один недостаток крепления страза без оправы заключается в том, что отверстия имеют не полированную шероховатую поверхность и острые края которые травмируют и перетирают нити, которыми осуществляется крепление. Травмирование скрепляющего материала будет вне зависимости от его строения и химического состава, так, например, леска которая из себя представляет монополь с относительно большим сечением и высокой прочностью на разрыв перетирается краями отверстий быстрее чем нить из хлопковых волокон [3]. За счёт перетирания ниточного крепления будет неизбежно происходить утрата декоративных элементов, что не допустимо при декорировании дорогими декоративными материалами. Существует возможность производства декоративных вставок литьём, что позволит получать сразу готовые изделия, с отверстиями, которые полированы по краям и внутри. Такие декоративные элементы применимы для частных случаев декорирования. Этот метод производства обладает рядом недостатков: во-первых литые граненые вставки обладают низким качеством полировки граней за счет особенностей литья и возможностью производить только вставки с крупными гранями, существует возможность дополнительно отполировать грани и добавить новые, во-вторых метод производства литьем сильно сужает ассортимент материалов из которых изготавливается декоративный элемент, а есть смысл иметь возможность использовать более высококачественные и дорогие материалы с более высоким показателем преломления. Можно дополнительно обрабатывать края отверстий шлифуя и полируя уменьшить трение о шероховатости и уменьшить воздействие на скрепляющую нить.

Рассматриваемый вид крепления жестких светоотражающих декоративных элементов рационален в своем применении только в случае сферических граненых элементов, таких как бусины. Отражение света в случае бусин происходит в основном от внешней поверхности декоративных элементов, а внутреннее отражение в сферических формах от граней играет уже второстепенную роль в создании общего визуального эффекта. Отверстие в бусинах проходит как правило через самую широкую часть декоративного элемента что обеспечивает прочность.

После анализа жестких светоотражающих декоративных элементов, закрепляющихся через отверстия в самом светоотражающем материале, была поставлена цель разработать прочное крепление, обеспечивающее возможности светопреломления и отражения жестких декоративных элементов. Решение проблемы позволит использовать в декоративной отделке дорогостоящих синтетических материалов так и природных. Проанализировав ассортимент декоративных светоотражающих элементов в текстильной промышленности были выявлены недостатки в конструктивных особенностях декоративных элементов. Метод крепления с отверстиями, проходящими через декоративную вставку не подходит для цели декорирования текстильных изделий декоративными вставками высокого качества обработки из дорогих кристаллических материалов. Полученные данные выявили то что без использования оправы в декорировании текстиля не обойтись. Ассортимент оправ для объёмных фасетных вставок не удовлетворяет требованиям крепления, следовательно, следует работать в области разработки крепления, основанного на оправе в сочетании с другими техническими решениями.

## **Выводы**

Данный метод не позволяет обеспечить прочное крепление и полностью раскрыть игру света декоративных элементов из светопреломляющих материалов. На основе проведенного анализа были сделаны выводы и принято решение разработать метод крепления, который решит проблему невозможности использовать светоотражающие элементы с формой, которая способна обеспечить полное внутреннее отражение света материала, что позволит в наивысшей степени раскрыть блеск и дисперсию.

## **Библиография**

1. Кирсанова Е.А., Звягинцев С. В. Дизайн отделки швейных изделий. ИИЦ МГУДТ. 2008–192с.
2. Кирсанова, Е. А. Многокомпонентные системы современных материалов для отделки швейных изделий / Е. А. Кирсанова // Дизайн и технологии. – 2009. – № 13(55). – С. 84-89.
3. Кирюхин С.М. Методы и средства технического контроля и управления качеством текстильных материалов. Раздел “Методы управления качеством текстильных материалов” / Кирюхин С.М., Гриднева Т.М., Демократова Е.Б.// Учебное пособие – М.: МГУДТ, 2013. -57с.
4. Рид, П. Г. Геммология / П. Г. Рид ; П. Рид ; Пер. с англ. Е.А. Седовой ; Под ред. Ю.П. Солодовой. – Москва : Мир, 2003. – 366 с. – ISBN 5-03-003369-6.
5. Фильчев Э.Г. Математическое обоснование углов огранки драгоценных камней. Мир современной науки. 2016. № 2 (36). С. 36-41.

*Ювелирные минералы и агрегаты на месторождениях олова. Задачи исследований. Петроченков Д.А\*. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), [p-d-a@mail.ru](mailto:p-d-a@mail.ru)), Рогова А.Р. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), [annasuperroller@mail.ru](mailto:annasuperroller@mail.ru))*

## Аннотация

Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз олова в мире. Месторождения олова являются комплексными и попутно из них извлекается вольфрам, ниобий, тантал и ряд других металлов. Как показали проведенные исследования авторов оловорудные месторождения могут служить источником ювелирных минералов и агрегатов. Основными из них являются касситерит, деревянистое олово, берилл, топаз, кварц, гранат.

## Ключевые слова

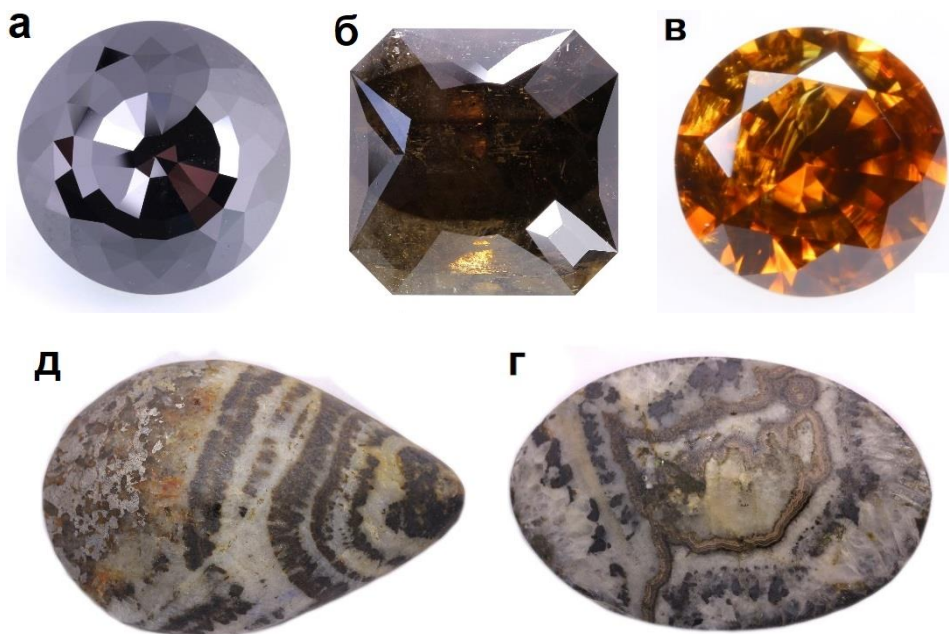
Ювелирные минералы и агрегаты, месторождения олова, касситерит

## Теория

Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз олова, занимая второе место после Китая по запасам олова [2]. Это позволяет осуществлять добычу олова в значительных объемах на многих месторождениях. Месторождения олова, как правило, являются комплексными и попутно из них извлекаются вольфрам, ниобий, тантал и ряд других минералов [3]. Наряду с традиционными попутными компонентами на месторождениях олова могут добываться ювелирные минералы и агрегаты.

Для определения возможных ювелирных минералов и агрегатов на месторождениях олова были изучены образцы, представленные в геологических музеях и на выставках в России и за рубежом; проанализирован большой объем литературы, изготовлены различные виды огранки и ювелирные изделия.

В соответствии с принятой классификацией [3], по геолого-минералогическим и геохимическим факторам установлены две оловорудные формации: редкометалльно-вольфрам-оловянная и железисто-полиметалльно-оловянная, в пределах которых выделены промышленные типы. В результате проведенных исследований установлены ювелирные минералы и агрегаты, характерные для основных промышленных типов месторождений олова, которые коммерчески выгодно использовать в качестве ювелирного материала. Основным ювелирным минералом является касситерит; представляют интерес деревянистое олово, берилл, топаз, кварц, турмалин, опал, флюорит, фрагменты руд с положительными декоративными и технологическими характеристиками (рис. 1).



**Рисунок 1.** Касситериты- 18 мм, 44 кар. (а); 15 мм, 34 кар. (б); 6.7 мм, 2,2 кар. с использованием метода облагораживания (в). Деревянистое олово-53x35 мм, 81 кар. (г). Фрагмент рудной жилы – 38x25 мм, 63 кар. (д).

Касситерит по своим геммологическим характеристикам не уступает многим популярным минералам [5]. В рудах касситерит содержится преимущественно в виде мелких (менее 1 мм) кристаллов черного цвета. Используемые в огранке прозрачные бледно-окрашенные кристаллы крайне редки. По этой причине ограненные кристаллы касситерита представлены на мировом рынке в ограниченном количестве, а их цена превышает 100 долл. США/кар.

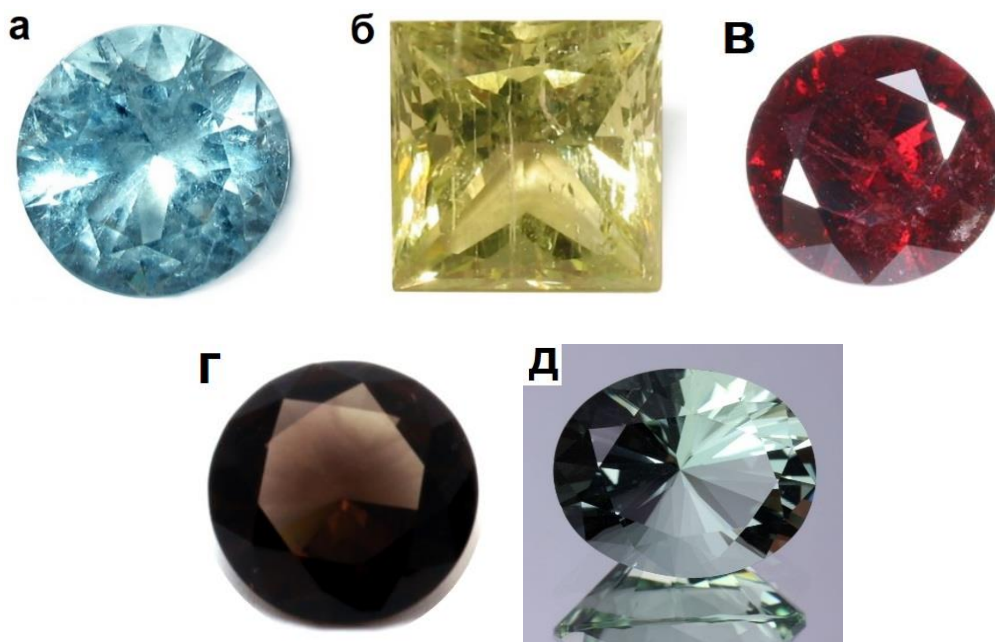
Проведенные исследования показали, что крупные (более 10 мм) кристаллы касситерита встречались на многих месторождениях редкометалльно-вольфрам-оловянной формации. Наиболее благоприятными из них являются месторождения олово-кварцевого промышленного типа, а также олово-грейзенового и апоскарново-оловянного типов, если на них широко развиты кварцевые рудные жилы. Тем не менее систематическая добыча кристаллов не проводилась. В результате основная их часть, включая уникальные образцы, была утрачена. Основной причиной, на наш взгляд, является то, что ювелирный касситерит не рассматривается в качестве попутного компонента на месторождениях олова и не входит в реестр ювелирного сырья [2-4].

Положительным фактором использования касситерита в ювелирных изделиях является разработка метода облагораживания [1], в результате которого происходит осветление кристаллов и образование касситерита желтого, оранжевого и красного цвета, крайне редко встречающихся в природе. Изготовление различных видов огранки, включая нетрадиционные, а также огранки размером 1,5-3 мм, позволяют расширить диапазон добываемого сырья и максимально его использовать.

Кристаллы кварца присутствуют на месторождениях всех промышленных типов и представлены горным хрусталем, дымчатым кварцем и морионом. Кристаллы могут достигать значительных размеров, но, как правило, содержат большое количество включений. Интересные результаты могут быть получены при термообработке дымчатых разновидностей кварца, в результате которого может образоваться цитрин.



Берилл и топаз ювелирного качества встречаются на месторождениях редкометалльных пегматитов, олово-кварцевом и олово-грейзеновом промышленных типов. Берилл представлен гошенитом, аквамарином, редко гелиодором и морганитом. Кристаллы топаза бесцветные, редко голубого цвета, небольшого размера. Кристаллосырье берилла и топаза преимущественно невысокого качества. Это требует нетрадиционного подхода к его обработке, использование методов облагораживания (рис. 2).



**Рисунок 2.** Аквамарин - 11.5 мм, 4.7 кар. (а); гелиодор - 8,5 мм, 3.1 кар. (б); гранат-7 мм, 1,5 кар (в); дымчатый кварц - 10мм, 3 кар. (г); флюорит - 19x15 мм, 18.3 кар. (д).

Флюорит также широко распространен на месторождениях олова. Встречаются достаточно крупные (10-50 мм) разноокрашенные кристаллы, пригодные для огранки.

Гранат присутствует на месторождениях оловянных редкометалльных пегматитов, где представлен спессартином, и апоскарнового-оловянного типа, где представлен пироп-альмандиновой и гроссуляровой разновидностью. На месторождении Питкьяранское (Россия) нами установлен редкий ванадиевый гранат голдманит гроссуляр-андрадитового ряда.

Турмалин ювелирного качества встречается на месторождениях оловянных редкометалльных пегматитах. Скопления цветного турмалина были встречены в пегматитовой жиле месторождения Завитинское (Россия), в редкометалльных пегматитовых полях Пала и Мезе- Гранде (США).

На месторождениях олово-риолитового типа (Гуанахуато, Мексика) встречается огненный опал ювелирного качества. Опал образует, как правило, тонкие прожилки в риолитах. Встречаются и крупные жеоды диаметром 10-15 см с гроздевидными обособлениями опала. В России находки огненного опала в настоящее время не зафиксированы.

Деревянистое олово – скрытокристаллические радиально-лучистые агрегаты касситерита (рис. 1г) – встречается на месторождениях олово-риолитового, олово-силикатного и олово-сульфидного (колчеданный подтип) типах. Оно может добываться в значительных количествах как из коренных, так и россыпных месторождений [6].

Рассмотренные виды ювелирного сырья на месторождениях олова могут быть расширены в процессе дальнейшего их изучения. В частности, перспективными являются шеелит, апатит.

## **Выводы**

На месторождениях олова установлены различные виды ювелирных минералов и агрегатов, которые могут добываться попутно, не требуя значительных материальных затрат. К ним относится касситерит, деревянистое олова, берилл, топаз, кварц, гранат, флюорит, огненный опал, декоративные фрагменты руд. Дальнейшими задачами исследований являются: разработка критериев поиска, методов оценки запасов и добычи ювелирного сырья, установление новых видов, использование известных и разработка новых методов облагораживания, технологий художественной обработки материалов.

## **Библиография**

1. Ахметшин Э.А., Петроченков Д.А. Патент на изобретение №2743679 Российской Федерации. Способ улучшения цветовых характеристик природного касситерита методом термообработки / патентообладатель Д.А. Петроченков. – Оpubл. 24.02.2021. - Бюлл. № 6-9с.
2. Государственные доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации / Под ред. Е.И. Петрова. – М.: Роснедра. – 2021. - 586 с.
3. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Олово. – М.: НП НАЭН. – 2002. – 48с.
4. Методические рекомендации по применению классификации месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Ювелирно-поделочные камни. – М.: ФГУ ГКЗ. – 2007. – 37 с.
5. Петроченков Д.А. Касситерит – пять тысяч лет истории: Новые грани / Д.А. Петроченков // Природа. – 2022. - №8. - с. 21-28.
6. Петроченков Д.А. Деревянистое олово- руда и ювелирный материал / Д.А. Петроченков // Природа. – 2022. - №10. - с. 13-25.

*Декоративные коллекционные образцы ювелирных минералов на месторождениях олова. Проблемы и перспективы добычи. Петроченков Д.А.\* (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), [p-d-@mail.ru](mailto:p-d-@mail.ru)), Рогова А.Р. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), [annasuperroller@mail.ru](mailto:annasuperroller@mail.ru))*

## Аннотация

Россия занимает второе место по разведанным запасам олова в мире, которые заключены в 89 оловорудных месторождениях. Месторождения, как показали исследования, наряду с традиционными видами извлекаемых металлов, являются источником декоративных коллекционных образцов, которые могут добываться попутно без значительных материальных затрат.

## Ключевые слова

Коллекционные образцы, месторождения олова, касситерит

## Теория

Россия занимает второе место после Китая по разведанным запасам олова, которые размещены в 89 оловорудных месторождениях [2]. Месторождения являются комплексными, и вместе с оловом извлекаются вольфрам, ниобий, тантал, бериллий и ряд других металлов [1-3]. По разнообразию и сложности минерального состава и текстурным особенностям руд месторождения олова занимают одно из первых мест среди эндогенных месторождений. Это позволяет выделить широкий спектр коллекционных образцов, характеризующих текстуры и минеральный состав руд, а также отдельные минералы.

Коллекционный материал как полезное ископаемое включает образцы минералов, руд, представляющих минералогический, научный и декоративный интерес. По назначению коллекционный материал месторождений олова можно разделить для научных исследований, для учебных коллекций и декоративный. Декоративные коллекционные образцы представляют наибольший коммерческий интерес, что связано с высокой их стоимостью и количественной востребованностью. Таким образом, наряду с традиционными компонентами, может добываться и разнообразный комплекс декоративных образцов, востребованных как на российском, так и зарубежных рынках. Тем не менее систематической добычи декоративных коллекционных образцов не проводилось. В результате основная их часть, включая уникальные образцы, были утрачены. Основными причинами, на наш взгляд являются: декоративные коллекционные образцы не рассматриваются в качестве попутного компонента на месторождениях олова; не выделены их характерные виды на промышленных типах месторождений; не проведена классификация по качеству материала.

В декоративных коллекционных образцах целесообразно выделить ювелирные минералы, которые характеризуют качество кристаллосырья, минеральные ассоциации.

Отметим, что стоимость декоративных коллекционных кристаллов ювелирного качества существенно (более 30 %) выше их ограночной стоимости [5]. Для определения минеральных видов декоративных коллекционных образцов ювелирных минералов были изучены коллекции музеев геологического профиля, а также образцы, представленные на российских и международных выставках, проанализированы литературные материалы. В результате проведенных исследований установлены характерные виды декоративных коллекционных образцов ювелирных минералов на промышленных типах месторождений олова, которые выделены в принятой в настоящее время классификации [3]. Основными из них являются крупные кристаллы касситерита (рис. 1).



**Рисунок 1.** Кристаллы касситерита из месторождений олово-кварцевого типа (а); редкометалльных пегматитов (б); кристалл касситерита 10 мм в ассоциации с турмалином и кварцем из редкометалльных пегматитов (в).

К декоративным коллекционным образцам относятся кристаллы касситерита размером более 10мм с хорошими кристаллографическими формами [4]. Они связаны преимущественно с месторождениями редкометалльно-вольфрам-оловянной формации. Наиболее перспективным является олово-кварцевый промышленный тип, в меньшей степени олово-грейзеновый, апоскарновый оловянный, на которых развиты рудные жилы, а также оловянные редкометалльные пегматиты. Основным интересом из морфологических типов минеральных образований представляют кристаллы и друзы свободного роста в минерализованных пустотах кварцевых жил, в камерах и занорышах редкометалльных пегматитов.

Благоприятные условия формирования крупных кристаллов касситерита и других ювелирных минералов в рудных кварцевых жилах месторождений редкометалльно-вольфрам-оловянной формации обусловлены близким расположением рудогенерирующих гранитных массивов. В результате создается система циркуляции высокотемпературных минералообразующих растворов в течение продолжительного времени.

В олово-кварцевом промышленном типе установлено только в России 27 месторождений с крупными кристаллами, размер которых достигает 110x80x65 мм. На месторождении Иульгин найдена уникальная друза кристаллов касситерита размером 140x110x100 мм и массой 16 кг. Декоративный коллекционный интерес представляют кристаллы шеелита до 10 см, топаза, берилла, флюорита. На большинстве месторождений присутствуют кристаллы и друзы кварца высокой декоративности. Размер кристаллов может достигать 50 см (Иульгин, Тенкергин, Светлое, Снежное, Мерек, Забытое, Полярное, Россия; Караоба, Казахстан).

На месторождениях апоскарнового оловянного типа встречаются крупные декоративные кристаллы касситерита размером более 50 мм (Питкьяранское, Россия; Шварценберг, Брайтенбрунн, Германия; Россардан, Австралия). Представляют декоративный коллекционный интерес гранат, флюорит, кварц.

На месторождениях олово-грейзенового типа размер декоративных кристаллов касситерита достигает 50 мм. Касситерит на месторождениях может сопровождаться топазом, бериллом, флюоритом, кварцем декоративного качества (Шерлова Гора, Россия) (рис. 2).



**Рисунок 2.** Кристаллы аквамарина 50x20мм (а), гелиодора 36x9мм (б); кристалл мориона с мелкими бесцветными кристаллами топаза, 40x20мм (в); друза светло-голубых топазов с кристаллами кварца и мориона, 50x50мм (г); друза кристаллов дымчатого кварца с морионом, 60x40мм (д). Месторождение Шерлова Гора, Россия.

Широкий спектр декоративных коллекционных ювелирных минералов представлен в редкометалльных пегматитах. Крупные кристаллы касситерита встречаются редко, но могут достигать уникального размера – 150x 120x80 мм (Кара-Су, Киргизия). Декоративный коллекционный интерес представляют: топаз, цветной турмалин, аквамарин, морганит, дымчатый кварц, морион (Белореченское, Завитинское, Шибановское, Россия; Арандиз, Намибия; Пала, Мезе-Гранде, США) (рис.1).

На месторождениях олово-риолитового типа встречаются кристаллы редкой разновидности берилла красного цвета – биксбита. Месторождения биксбита известны в эффузивных толщах неогена в штатах Юта, Аризона и Нью-Мексика, США.

## **Выводы**

Кристаллы касситерита декоративного коллекционного качества связаны преимущественно с месторождениями редкометалльно-вольфрам-оловянной формации с олово-кварцевым промышленным типом. Значительный интерес представляют оловянные редкометалльные пегматиты, в которых касситерит ассоциирует с другими коллекционными ювелирными минералами, а также месторождения олово-грейзенового и апоскарнового оловянного типов, в которых широко развиты кварцевые жилы.

С касситеритом ассоциируют ювелирные минералы декоративного коллекционного качества: шеелит, кварц, берилл, топаз, турмалин, флюорит, гранат. Установлена их принадлежность к промышленным типам месторождений. Декоративные коллекционные минералы могут добываться попутно при отработке месторождений олова с незначительными материальными затратами.

## **Библиография**

1. Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. С.Ф. Лугова. - Т.1. Геологические основы прогноза, поисков и оценки оловорудных месторождений.- М.: Недра. 1986. - 332 с.
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации / Под ред. Е.И. Петрова. – М.: Роснедра. – 2021. - 586 с.
3. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Олово. – М.: НП НАЭН. – 2002. – 48с.
4. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 27. Коллекционные камни / Под ред. Н.И. Кашева, В.П. Дроздова. - М.: Союзкварцсамоцветы. - 1987. - 76 с.
5. Петроченков Д.А. Месторождения олова с коллекционным и ювелирным касситеритом. Критерии поиска, особенности оценки и добычи / Д.А. Петроченков, Л.З. Быховский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2022. - № 5-6. – с. 31-42.
6. Петроченков Д.А. Шерлова Гора – месторождение олова с цветными камнями / Д.А. Петроченков // Доклады XIII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» Т.1. – М.: ФГБУ «ВНИГНИ». – 2017. – С. 175-176.

*Литературные образы в композиционных решениях медальонов работы русских мастеров начала XX в. (на примере трагедии И.-В. Гёте «Фауст»). Прыгов В.И.\* (МГРИ, prygovvi@mgri.ru)*

## **Аннотация**

Обращение к трагедии И.-В. Гёте «Фауст» было весьма характерно для театрального искусства, живописи и графики, декоративного оформления интерьера эпохи Модерна. Литературный образ Мефистофеля, столь типичный для культурного пространства Серебряного века, привлекал также и мастеров-ювелиров, в том числе из прославленной фирмы К.Г. Фаберже. Примерами воплощения этого персонажа в малых формах ювелирных предметов служит ряд драгоценных медальонов из частной московской коллекции. В их декоративном решении используются пластически выразительные барельефные изображения, дополняемые бриллиантами и полихромными эмалями.

В данной работе приводятся результаты расшифровки оттисков пробирных и именных клейм, рассмотрены стилистические особенности ювелирных медальонов и прослежены возможные изобразительные источники.

## **Ключевые слова**

Медальон, жетон, Мефистофель, Модерн, ювелирные изделия

## **Теория**

Из частной коллекции (г. Москва), насчитывающей несколько десятков предметов, были отобраны три медальона, объединенных единством сюжета и стилистикой зрелого Модерна. Изображение Мефистофеля встречается достаточно редко в декоративном оформлении личных ювелирных украшений и аксессуаров. Однако, в России рубежа веков сюжет и литературные образы трагедии И.-В. Гёте «Фауст» были хорошо известны образованной части общества, благодаря великолепно оформленным книжным изданиям, сценическим постановкам и воплощению в других видах искусств [6].

Золотой одностворчатый медальон (жетон) грушевидной формы – был изготовлен неизвестным мастером в начале XX века (Рисунок 1). Верхнюю часть лицевой стороны образует барельефное профильное изображение крылатой поясной фигуры Мефистофеля. Контур крыльев в нижней части переходит в композицию орнаментального обрамления из растительных побегов и завитков. Падший ангел держит в обнаженной мускулистой руке крупный бриллиант - символ всех земных сокровищ, а в другой – орнаментальный стебель обрамления. Всей композиции присущи мягкая и плавная моделировка формы, использование разной высоты рельефа для фигуры и орнаментальных элементов, что характерно для художественного языка эпохи модерна [2].

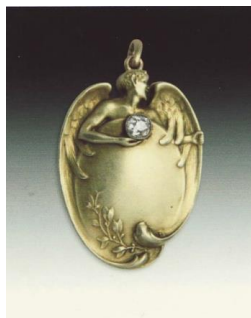
Другой медальон (Рисунок 2) был изготовлен мастерами московского отделения фирмы К.Г. Фаберже между 1908-1917 гг. На лицевой стороне в верхней части располагается профильное погрудное изображение крылатого обнаженного

Мефистофеля, держащего крупный бриллиант в одной руке, а другой охватывающего элемент орнаментального обрамления. Вся композиция отличается некоторой назидательностью и морализаторством, наглядно показывая, что за успехом и земной славой таятся искушения и соблазны, исходящие от врага рода человеческого.

На лицевой стороне двухстворчатого медальона изготовленного мастерами московской артели ювелиров (Рисунок 3) пластически активная орнаментальная рама обрамляет асимметричный резерв, в котором на фоне ночного неба с полной луной выступает из водной глади обнаженная фигура Мефистофеля с бриллиантом в руках, символом всех земных сокровищ. Основные особенности стилистики модерна проявляются особенно эффектно: извилистая линия обрамления с округлыми растительными завитками и меандром, мягкие пастельные тона непрозрачной синей, розоватой и желтой эмали, диагональный ракурс фигуры, матовая фактурованная поверхность золота, передающего ночное мерцание моря. Тыльную часть медальона полностью занимает дарственная гравированная надпись «Дорогому Р.И. Заранз на добрую память от служащих Комм. Ссудн. Отд. К.В. ж.д. Харбин. 1 мая 1913 г.». Шрифт инскрипта неоднороден, в асимметричной компоновке слов и начертании литер также прослеживается влияние модерна. Заслуживает внимания и такая второстепенная деталь, как логотип фирмы-продавца на внутренней стороне крышки сохранившегося оригинального футляра: «Торговый дом Г. Каспе и Ко. Харбин». Наличие в ассортименте изысканного и модного мужского медальона на окраине Российской империи указывает на существование соответствующего круга состоятельных заказчиков [3].



**Рисунок 1.** Медальон. Начало XX в. Неизвестный мастер. Бриллиант, золото, серебро. Длина: 4 см.



**Рисунок 2.** Медальон. Москва 1908-1917 гг. Фирма К.Г. Фаберже. Бриллиант, золото, серебро, стекло, ткань. Длина: 4 см.



Чтобы ответить на вопрос, чем обусловлено изображение Мефистофеля на личных аксессуарах (украшениях), следует обратиться к созданным в тот же период времени значительным произведениям других видов искусства и оценить их значение



**Рисунок 3.** Медальон. Москва. 1908-1917. Мастер-монограммист «АЮ» (?) /возможно артель ювелиров/. Бриллиант, эмаль, золото, серебро. Длина 5 см.

в повседневной жизни «образованного» сословия Российской империи. Со второй половины 1880-х годов в Санкт-Петербурге с большим успехом экспонировалась выполненная М. М. Антокольским статуя «Мефистофель», названная им ранее «XIX век». Сохранение же литературного названия статуи делало образ более понятным для людей. Для той же цели скульптор наделил его некоторыми свойствами черта-проказника из средневековых народных легенд [4].

Еще один пример обращения отечественного значительного художника к «Фаусту» И.-В. Гете - цикл декоративных панно, выполненный М.А. Врубелем для оформления интерьера готического кабинета в особняке А.В. Морозова. В пяти стеновых панелях помещен своеобразный иллюстративный ряд к трагедии: «Мефистофель и ученик», «Маргарита», «Фауст», «Полет Фауста и Мефистофеля», «Фауст и Маргарита в саду».

Статуя «Мефистофель», а также многочисленные эскизы и советы М.А. Врубеля, В.А. Серова, К. А. Коровина внимательно и вдумчиво использовались Ф.И. Шаляпиным в процессе работы над сценическим образом. Как он признавался позднее, во многом под воздействием произведения М.М. Антокольского, была создана одна из его наиболее известных партий – партия в опере Ш. Гуно «Фауст», которую артист на протяжении сорока лет с неизменным успехом исполнял на крупнейших сценах мира [1,5].

### Выводы

Мода в эпоху Модерна чутко откликалась на литературные произведения и сценические постановки, в создании и успешности которых был важен творческий вклад не только артистов, но и художников-оформителей. Широкая известность и слава Ф.И. Шаляпина, в немалой степени были обусловлены и неизменным успехом партии Мефистофеля в опере Ш. Гуно «Фауст». Благодаря изображениям певца на открытках, афишах, фотографиях, созданный им образ становился популярен и легко узнаваем. На примере рассмотренных драгоценных медальонов наглядно видно отражение в работах ювелиров злободневных социально-культурных веяний и ассоциативно понятная современникам семантика сюжетов.

### Библиография

1. Головин А. Я. Встречи и впечатления: воспоминания художника. / ред. и коммент. Э. Ф. Голлербаха/. Л.- М.: Искусство, 1940.
2. Добровольская Л.И. Отечественные жетоны как явление русской истории конца XIX - начала XX вв.: дисс. к.и.н. – СПб, 1997.
3. Иванов А.Н. Жетоны Российской Империи. М., Русский Национальный Музей, 2004 г.
4. Кузнецова Э.В. М.М. Антокольский: Жизнь и творчество. – М., Искусство, 1989.
5. Раскин А.Г. Шаляпин и русские художники. Л. – М.: Искусство, 1963.
6. Forster-Hahn F. A hero for all seasons? Illustrations for Goethe's "Faust" and the course of modern German history // Zeitschrift für Kunstgeschichte, - 1990 - Bd. 53. - Н. 4 - S. 511-536.

***Применение инструментальных методов при проведении геммологического исследования культурных ценностей из ювелирных материалов (на примере оклада иконы). Прыгов В.И.\* (МГРИ, prygovvi@mgri.ru)***

### **Аннотация**

Иконы в богато украшенных окладах относились к особо ценным владельцами предметам и передавались из поколения в поколение. Длительный период их бытования обычно был отмечен ремонтно-реставрационными вмешательствами и поновлениями. Имеющиеся в них ювелирные вставки отличаются широким разнообразием материалов. Характер их закрепки, существенные габариты и конструктивные особенности окладов зачастую ограничивают возможности использования полного комплекса геммологического оборудования. Диагностика ювелирных камней лишь по органолептическим показателям в большинстве случаев не бывает однозначной и требует инструментального подтверждения. Результаты объективной и достоверной геммологической экспертизы составляют неотъемлемую часть комплексной экспертизы относящихся к ювелирной сфере культурных ценностей, вводимых в научный оборот.

В данной работе приводятся результаты исследований ювелирных вставок в богато декорированном окладе иконы при помощи портативного анализатора фирмы Hitachi (модель X-MET8000 Expert GEO) с определением полуколичественного элементного состава.

### **Ключевые слова**

Оклад иконы, шитье жемчугом, стразы, алмзы, бриллианты, сапфир

### **Теория**

На протяжении нескольких веков истории русской иконы, оклад был максимально значимым видом отечественного декоративно-прикладного искусства. Для изготовления риз традиционно использовались разные материалы. Наличие оклада, как правило, значительно увеличивало стоимость иконы. Серебряный с яркой позолотой оклад, украшенный ручной резьбой и чеканным орнаментом делал ее более дорогой. Для северных областей России был характерен такой декоративный прием как шитье жемчугом. Это особое и самобытное направление в данном виде «церковного искусства», а сам декор получил название «жемчужная обнизь». Принято было также оформлять оклады цветными стразами (стёклами) и различными накладными и подвесными деталями. Именно русским произведениям всегда были свойственны наибольшая роскошь и размах производства иконных риз [4]. С точки зрения литургического значения и предназначения, оклад несет в себе огромный ритуальный и богословский смысл. Считается, что сверкающая риза иконы символизирует исходящий от нее небесный невещественный свет.

На Руси издревле существовала традиция «вкладов», то есть одевания уже имеющихся икон в красивые оклады, созданные специально под них уже позднее, и украшения икон. Вкладами могли быть не только ризы в общем понимании, но и прочие дорогостоящие украшения, которые крепились на священное изображение после чудодейственного влияния иконы на жизнь человека. Многие люди верили в

силу иконы, молились о здоровье близких, удаче в делах, о благополучии и благодати. После исполнения желаемого, исцеления, в память о минувших событиях православные верующие старались отблагодарить Божественный образ. Для собственных икон владельцы могли заказывать драгоценные оклады, а храмовые святыни, постепенно украшались или прихожанами или же за счет вложений богатых ктиторов. Особенно чтились Богородичные лики. На их обрамление традиционно выделяли значительные количества самоцветов и драгоценных металлов.

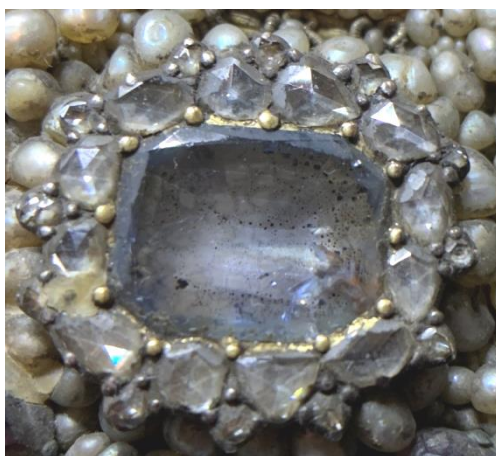
Представленная на геммологическое исследование икона из частной коллекции (г. Москва) была выполнена на рубеже XIX-XX вв., прошла опробование и клеймение в Санкт-Петербургском пробирном учреждении. Её серебряный с позолотой оклад, богато украшен драгоценными камнями, стразами, жемчужным и перламутровым шитьем. Жемчужная обнизь с кластерами ограненных ювелирных вставок обрамляет изображения ликов Богородицы и младенца Христа. При визуальном исследовании было установлено, что девять таких кластеров содержат бриллианты старой огранки и алмазы огранки «роза», а остальные – стразы, как бесцветные, так и различных цветовых оттенков. Использование тестера для бриллиантов SmartPro Reader – 1 для проверки визуальной диагностики вставок подтвердило правильность предварительных выводов.



**Рисунок 1.** Деталь оклада иконы. Санкт-Петербург, 1899-1908 гг. Неизвестный мастер. Бриллианты, стразы, сапфир, речной жемчуг, перламутр, серебро, золочение, нити, шитье. Длина: 20 см.

Суммарное количество бриллиантов составило 216 штук, общей массой 7.58 кар. Столь значительный объем драгоценных камней встречается исключительно редко и указывает на заказной характер предмета.

Достоверная диагностика обрамленной «розами» вставки весьма крупного размера стала возможной лишь благодаря применению портативного рентгено-флюоресцентного анализатора фирмы Hitachi, модель X-MET8000 Expert GEO (рабочие параметры: родиевый анод, максимальное напряжение 50 кВ, ток 200 мкА) [2,3,5]. Было установлено, что основным элементом является Al, в качестве примесей входят Ti и Fe. Данный состав указывает на принадлежность к корунду, разновидность «сапфир», что также косвенно подтверждается наличием игольчатых включений, вероятно, рутила.



*Рисунок 2. Деталь нижней части оклада иконы. Крупная вставка – корунд (сапфир). Длина -18 мм.*

Данная вставка голубого цвета отличается низкой насыщенностью окраски. В соответствии с действующим СТО 45866412 – 05 – 2008 /Сапфиры природные обработанные. (ограненные вставки). Технические условия/ указанная вставка может не соответствовать /вследствие слабой насыщенности/ установленным для сапфиров параметрам цвета и должна называться «корунд».

Все остальные ограненные вставки зеленого, розовато-лилового цвета, а также бесцветные являются стразами (стеклами), что также было подтверждено результатами рентгено-флюоресцентного анализа. Основными компонентами в них являются Si и Pb, а в меньших количествах K, Ca, Cu, Fe, Zn и др.

Помимо закрепленных в касты вставок, элементы оклада декорированы шитьем речным жемчугом и перламутром.

## **Выводы**

Драгоценный оклад иконы - это значительное культурное явление. Изготовление заказных риз, украшенных драгоценными камнями, поручалось лучшим мастерам и оценивалось в крупные суммы. Широкое разнообразие используемых ювелирных материалов, габариты и конструктивные особенности окладов

обуславливают незаменимость диагностических приборов для их материаловедческого исследования [1,6].

### Библиография

1. Аналитический контроль благородных металлов. Коллективная монография. - Москва: Техносфера, 2019.
2. Берлова Н. В. Технические средства и методы таможенной экспертизы. Владивосток: Владивостокский фил. Российской таможенной акад., 2013.
3. Борходоев В. Я. Методическое и информационное обеспечение рентгенофлуоресцентного анализа горных пород: диссертация ... доктора химических наук : 02.00.02. - Магадан, 1999.
4. Павлова И.А. «Серебряная кладовая» государственного музея истории религии СПб., 2014.
5. Суворова Д. С. Выбор оптимальных условий и разработка методик рентгенофлуоресцентного определения малых содержаний редких элементов в горных породах: диссертация ... кандидата химических наук: 02.00.02 - Иркутск, 2017.
6. *Damanska-Slowik M. et al.* Agates from Sidi Rahal, in the Atlas mountains of Morocco: Gemological characteristics and proposed origin// *Gems & Gemology*, Fall 2013, Vol. 49, No. 3, pp. 148-159.

*Применение различных типов красителей для улучшения цветовых характеристик чароитита. Рогачевская А.В. \* (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, rogachevskaya.alex@yandex.ru), Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 4966945@mail.ru)*

## **Аннотация**

Уникальное месторождение чароитита «Сиреневый камень» известно и разрабатывается уже более 60 лет, в течение которых количество сортового камня и общая сортность сырья на месторождении постоянно снижается, что в перспективе ведет к упадку прибыли горнодобычного предприятия. Большое количество камне-самоцветного сырья не ценится потребителями из-за непривлекательной бледно-серой окраски, поэтому не извлекается и размещается в отвалах. Тем не менее, такое сырье потенциально пригодно для ювелирной промышленности и может быть приведено в состояние качественного ювелирно-поделочного камня «чароита» методом облагораживания – улучшения цветовых характеристик методами химического крашения. Известные в настоящее время способы изменения цвета чароитита не дают воспроизводимого качественного результата, поэтому авторами публикации были исследованы альтернативные способы крашения камня. В ходе работы был выбран краситель, который показал наилучший результат: применение органического прямого синего СВ-КУ красителя подходит для получения равномерной эталонной фиолетовой окраски чароитита с любыми текстурными особенностями. Окраска является водостойкой, светостойкой и в зависимости от целей и условий облагораживания подходит для последующего применения полимерных композиций при необходимости. Таким образом применение разработанной технологии облагораживания чароитита в промышленности позволяет повысить эффективность работы горно-добычного предприятия, вовлекая в экономическую деятельность неиспользуемое ранее сырье.

## **Ключевые слова**

Чароитит, крашение, цвет, трещиноватость

## **Теория**

В настоящее время единственным известным местом скопления и добычи чароитита – довольно дефицитного камне-самоцветного сырья для ювелирно-поделочного камня «чароита» – является месторождение «Сиреневый камень», разработка которого ведется с начала 60-х годов 20 века. За время эксплуатации месторождения количество качественного сырья постоянно снижалось, и сейчас выход сортового чароита-сырца составляет порядка 30% и более чем в 90% случаев представлен разностями II поделочного сорта [1], описанного в ОСТе 41-07-90 [4], где сортность чароитита практически не зависит от его цвета, а связана с количеством минерала-чароита в камне, который является главной причиной псевдохроматической окраски – цветообразующим минералом. Вне зависимости от количества минеральной чароитовой фазы в чароитите и от цвета камня, цветовые характеристики бледных непривлекательных разностей могут быть улучшены, что увеличит востребованность камня в промышленности и на рынке.

Методы модифицирования цвета чароитита, описанные в литературе на сегодняшний день, не всегда позволяют получить качественный результат, так, например, технология крашения активным красителем [2] не универсальна для разных типов чароитита: эффект такого воздействия неустойчивый и требует закрепления путем нанесения лака, а получаемый цвет грязный и неестественный; дальнейшее применение полимерных композиций для упрочнения камня приводит к смещению полученных цветовых характеристик от эталонного фиолетового в сторону синего или коричневого оттенка. Другие описанные технологии не дают положительного эффекта вовсе, как, например, обесцвечивание чароитита нагревом, приводящее только к удешевлению камня [3].

Тем не менее, наиболее простым и перспективным способом улучшения цветовых характеристик чароитита остается его крашение с применением органических красителей, таким образом объясняется необходимость проведения экспериментальных и исследовательских работ, результаты которых позволяют разработать новые технологические решения по облагораживанию чароитита.

Авторами публикации было проведено несколько серий экспериментов по крашению чароитита в различных условиях, для чего были выбраны образцы бледно-окрашенного серого чароитита, характеризующиеся сравнительно малым удельным весом и высокими показателями трещиноватости и пористости, такие образцы являются наилучшим материалом для облагораживания различными методами пропитки – заполнения открытого порового пространства красящими, упрочняющими и другими растворами.

Результаты исследования трещиноватости, пористости и проницаемости исходного чароитита позволяют судить о способности чароитита к крашению: он обладает эффективной пористостью, сложенной в основном трещинами, которая составляет 1-3% общего объема материала и может быть пропитана раствором красителя. Смачиваемость поверхности чароитита для водных растворов красителей отличная, а пропитанные водой образцы чароитита размером до 1 см<sup>2</sup> полностью высыхают в течение 20 минут при температуре 50°C, что говорит о хорошей проницаемости трещин. Таким образом цвет чароитита может быть эффективно улучшен за счет его обработки красящими растворами.

Чароитит, выбранный для экспериментов, характеризуется бледным серым цветом, с включениями белого, черного и светло-желтого цвета, что не соответствует эталонному насыщенно-фиолетовому, а следовательно, требует крашения.

Выбор подходящего красителя для бледно-окрашенного чароитита любой структуры и текстуры заключался в экспериментальном крашении образцов водными растворами органических красителей разных типов – использовались прямой, активный, катионный, универсальный и другие красители – и разных цветов – фиолетового, синего, голубого, красного и их смесей. Крашение осуществлялось в различных условиях для определения нужной концентрации красителя и влияния температуры раствора на процесс крашения. Было выявлено, что прямой синий СВ-КУ является наиболее подходящим красителем, позволяющим достичь равномерной фиолетовой окраски разной насыщенности (рис. 1), в зависимости от концентрации красителя в растворе, которая в любом случае не превышает 0,7г/л. Окрашивание рекомендуется проводить без дополнительного модифицирования раствора при температуре 20°C в течение одного дня или при 60-80°C в течение часа. Последующая

выдержка окрашенного камня на воздухе позволяет красителю закрепиться на поверхности чароитита и стать практически не вымываемым, что особенно хорошо проявляется для алюмосиликатов в составе чароититов и плохо работает для включений кварца. Таким образом при должной технологии крашения прямой синий СВ-КУ краситель становится водостойким.



**Рисунок 1.** *Равномерное окрашивание чароитита прямым красителем. Исходный чароитит (слева), два образца чароитита, выдержанные в водном растворе прямого синего СВ-КУ красителя: средней насыщенности (по центру) и чрезмерной насыщенности раствора (справа).*

Предлагаемый в литературе активный краситель в зависимости от структуры чароитита не всегда позволяют получить качественную равномерную окраску, в то время как крашение прямым синим СВ-КУ – универсально для чароитита с различной структурой (рис. 2): подходит как для плотного мелкозернистого, так и для крупно-лейстового трещиноватого чароитита.







**Рисунок 2.** *Равномерное окрашивание чароитита прямым синим СВ-КУ красителем. Исходный чароитит (слева) и чароитит, выдержанный в растворе красителя (справа).*

В результате пропитки красящим раствором краситель не запечатывает трещины чароитита полностью, он закрепляется, образуя устойчивые химические связи на его поверхности, чего достаточно для получения качественной окраски, а растворитель испаряется, таким образом трещины остаются эффективным поровым пространством для заполнения полимерными композициями. Цвет прямого синего красителя не меняется при взаимодействии с полимерами, что позволяет в последствии его импрегнировать для улучшения прочностных характеристик без ухудшения цвета. Цвет



эталонного, исходного и в последствии модифицированного крашением и импрегнированием чароитита для наибольшей объективности исследований определялся путем приборного анализа с помощью калориметра LS172B, определенные цвета (рис. 3) наглядно показывают, что крашение прямым синим СВ-КУ красителем как самостоятельно, так и с применением импрегнирования, позволяет получить чароитит фиолетового цвета, который не только соответствует эталону, но и превосходит его.

Описание камня	Эталон чароита по цвету	Исходный образец по цвету	Окрашенный прямым синим СВ-КУ красителем на водной основе	Окрашенный прямым синим СВ-КУ красителем на водной основе и импрегнированный эпоксидной смолой
Демонстрация цвета				

**Рисунок 3.** Демонстрация измеренных с помощью калориметра LS172B цветовых характеристик эталонного, исходного, окрашенного и импрегнированного чароитита.

## Выводы

Более 60% чароитита на единственном в мире месторождении «Сиреневый камень» характеризуется бледно-серой окраской, что не соответствует эталонному насыщенно-фиолетовому, не удовлетворяет требованиям промышленности и требует улучшения цветовых характеристик.

Чароитит обладает эффективной пористостью, сложенной в основном трещинами, которая составляет 1-3% общего объема и может быть пропитана раствором красителя.

Среди широкого ассортимента красителей прямой синий СВ-КУ является наиболее подходящим: он позволяет получить стойкую равномерную фиолетовую окраску чароитита не зависимо от структурных особенностей камня.

Чароитит, подвергнутый крашению, в последствии может быть импрегнирован полимерами без изменения оттенка окраски, с улучшением насыщенности и прочностных характеристик, за счет чего модифицированный камень превосходит эталонный.

## Библиография

1. Александрова А. Ю., Иванова Л. А. Облагораживание поделочного чароита. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН № 3 (52) 2015. – 86-94 с.
2. Ивичева С. Н. Минералогические предпосылки и методы облагораживания чароита. [Текст]: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.20. М., 1998. – 153 с.
3. Марчук М. В., Медведев В. Я., Иванова Л. А., Соколова Т. С., Данилов Б. С., Гладкочуб Д. П. Charoite. Experimental studies. Geodynamics & Tectonophysics 7 (1), 2016. 105-118 с.

4. ОСТ 41-07-90. Основные требования к качеству камнесамоцветного сырья. Камни, цветные природные в сырье. Издательство стандартов. М., 1990.

**Значение центров NV<sup>-</sup> в структуре алмазов для геммологии и электроники.  
Титков С.В. (ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН, Российский государственный геологоразведочный  
университет им. С. Орджоникидзе, [titkov@igem.ru](mailto:titkov@igem.ru))**

**Аннотация**

Центры NV<sup>-</sup> имеют важное значение для диагностики обесцвеченных коричневых и искусственно окрашенных в розовый цвет алмазов. Эти центры также используются для создания сенсоров различных полей и для разработки квантовых компьютеров нового поколения. Для использования в квантовой электронике их получают путём радиационного облучения и последующего отжига кристаллов. Изучение центров NV<sup>-</sup> в природных алмазах показало, что в них эти центры образуются в результате посткристаллизационной пластической деформации.

**Ключевые слова**

Алмазы, центры NV<sup>-</sup>, геммологическая диагностика, квантовая электроника, спектроскопические методы

**Источники финансирования**

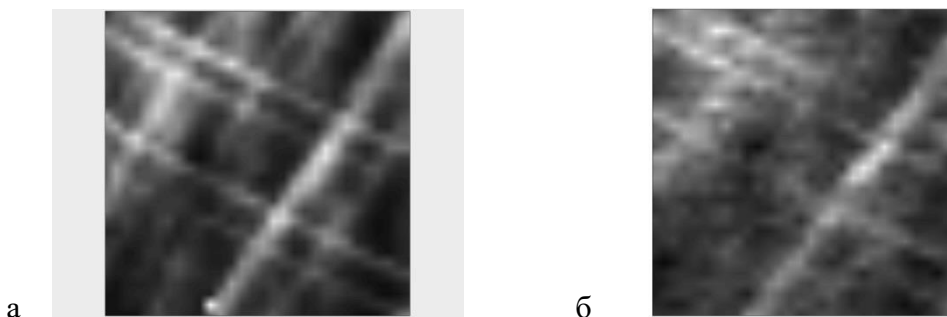
Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН (проект № 0136-2019-0011)

Центр NV<sup>-</sup> образован в структуре алмаза атомом азота, замещающим углерод, и вакансией, расположенной в ближайшей структурной позиции, и имеет отрицательный заряд. Этот центр является одним из самых изученных дефектов в структуре алмаза. Он был исследован с использованием самых современных спектроскопических методов - оптической спектроскопии, фотолюминесценции, спектроскопии электронного парамагнитного резонанса и спектроскопии оптически детектируемого магнитного резонанса (Zaitsev, 2001, Varanov et al.). При этом была детально исследована энергетическая и спиновая структура этих центров, рассчитана схема их многоэлектронной структуры.

В геммологии центры NV<sup>-</sup> имеют важное практическое значение для идентификации природного происхождения окраски алмазов. Как известно, в настоящее время надёжная идентификация происхождения алмазов стала невозможной без использования спектроскопических методов в связи с большими успехами, достигнутыми в области их синтеза и облагораживания. Для выявления искусственно обесцвеченных коричневых алмазов в результате высоко температурного отжига записываются спектры фотолюминесценции. Если алмаз был обработан, то интенсивность линии центров NV<sup>-</sup> (637 нм) должна быть выше интенсивности линии центров NV<sup>0</sup> (575 нм) (Dobrinets et al., 2013). В спектрах поглощения и люминесценции розовых алмазов, окраска которых была получена в результате облучения и последующего отжига, проявляются центры NV<sup>-</sup> (Eaton-Magana et al., 2018). В спектрах поглощения природных розовых алмазов наблюдаются широкая полоса 550 в сочетании с полосой 390 нм и центром N3. Полоса 550 нм по всей вероятности связана с парамагнитным азотным центром M2 [N-C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>-C<sub>2</sub>-N<sup>+</sup>] (Titkov et al., 2008).

Кроме того, центры NV<sup>-</sup> используются в современной квантовой электронике (Varanov et al., 2017). Благодаря возможности управления их спиновыми состояниями эти центры применяются для создания квантовых сенсоров магнитного, электрического и температурных полей, а также процессоров для квантовых компьютеров – компьютеров нового поколения. Для квантовой электроники центры

$NV^-$  в кристаллах алмаза получают путём искусственного радиационного облучения для генерации вакансий и последующего отжига при температурах более  $600-800^\circ C$ , когда происходит присоединение вакансий к С-центрам (одиночные атомы азота, замещающие углерод в структуре алмаза).



**Рисунок 1.** Рисунок 1. Карты распределения интенсивности сигналов ФЛ (а) и ОДМР (б) центров  $NV^-$  в периферической зоне пластины, изготовленной из природного кубического алмаза. Размер изображений -  $50 \times 50$  мкм.

Центры  $NV^-$  были выявлены в спектрах фотолюминесценции природных кубических алмазов с зелено-жёлтой и жёлто-оранжевой окраской (разновидность II по классификации Ю.Л.Орлова) из россыпей реки Анабар (север Сибирской платформы). В этих алмазах центры  $NV^-$  не оказывают влияния на окраску из-за невысокой концентрации. С использованием сканирования сигналов фотолюминесценции и оптически детектируемого магнитного резонанса по поверхности пластин, изготовленных из анабарских алмазов, было установлено, что центры  $NV^-$  в них локализованы в пределах плоскостей скольжения  $\{111\}$  (Рис. 1) (Титков и др., 2021). Это свидетельствует об образовании центров  $NV^-$  в природных алмазах в процессе посткристаллизационной пластической деформации, а не в результате облучения и отжига, как при их искусственной генерации для использования в квантовой электронике.

### Библиография

1. Титков С.В., Яковлева В.В., Бреев И.Д., Анисимов А.Н., Баранов П.Г., Дорофеева А.И., Бортников Н.С. Распределение азотно-вакансионных центров  $NV^-$  в кубических кристаллах алмаза из россыпей Анабара по данным ОДМР- и ФЛ-томографии // Доклады РАН. 2021. Т. 496. № 1. С. 45-48.
2. Baranov P.G., von Bargeleben H.J., Jelezko F., Wrachtrup J., Magnetic Resonance of Semiconductors and Their Nanostructures, Springer-Verlag, Wien, 2017. 535 p.
3. Dobrinets I.A., Vins V.G., Zaitsev A.M. HPHT-Treated Diamonds. Springer: Berlin, 2013. 351 p.
4. Eaton-Magana S., Ardon T., Smit K.V., Breeding C.M., Shigley J.E. Natural-color pink, purple, red, and brown diamonds: band of many colors // Gems and Gemology. 2018. V. 54. No 4. P. 352—377.
5. Titkov S.V., Shigley J.E., Breeding C.M., Mineeva R.M., Zudin N.G., Sergeev A.M. Natural-color purple diamonds from Siberia // Gems and Gemology. 2008. V. 44. N 1. P. 56-64.
6. Zaitsev A.M., Optical Properties of Diamond: A Data Handbook, Berlin: Springer Verlag, 2001. 502 p.

*К вопросу о геммологических особенностях минералов в авторском ювелирном дизайне. Туев А.А.\* (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра ТХОМ, Lex.tuev@gmail.com)*

## Аннотация

Статья посвящена обзору ювелирных украшений, при проектировании которых отправной точкой стали геммологические особенности минералов. На примере четырех авторских ювелирных украшений было показано, что авторский дизайн во многом определяется уникальностью применяемого камня.

## Ключевые слова

Авторский дизайн, ювелирные украшения, природные минералы, геммология, драгоценные камни

## Теория

Во все времена человек восхищался красотой и уникальностью природных минералов, а ювелир в своей работе всегда пытался подчеркнуть эту красоту. В свою очередь драгоценные камни можно разделить на две категории: эксклюзивные довольно крупные минералы, зачастую фантазийной огранки и формы, и драгоценные камни традиционной формы и огранки. Как правило, имея дело с эксклюзивными минералами мастер старается оттолкнуться от формы, огранки и цвета минерала, подчеркнуть и дополнить красоту неповторимого камня и разрабатывает дизайн ювелирного украшения, взяв за основу уникальность природного минерала.

Кроме того, по мнению автора [1] к понятию «драгоценный камень» теперь относят минералы не только с точки зрения уникальных для драгоценных камней физических свойств, но и по таким критериям как редкость, уникальные включения, и т.п. В связи с этим, драгоценным камнем условно может быть любой минерал, редко встречаемый в природе, имеющий особенные включения, оттенки, цвет, плеохроизм и т.п. [1].

В настоящей работе, на примерах авторских ювелирных украшений показано как минерал, его форма, цвет, оптические свойства, наличие или, наоборот, отсутствие включений влияет на дизайн ювелирных украшений. Важность изучения такой взаимосвязи с целью совершенствования прикладных аспектов процесса проектирования ювелирных украшений отмечают авторы работы [2].

Редкость, являясь одним из ключевых геммологических параметров, напрямую влияет на дизайн ювелирных изделий. Например, крайне редкая синяя разновидность флюорита синего цвета «Синий Джон» (BlueJohn), также известный как «дербиширский шпат» (рис.1 а) встречающийся только в Дербишире, Великобритания [3], стал источником вдохновения для создания кольца (рис. 1 б).



а

б

**Рисунок 1.** Флюорит «Blue John»: а – друза; б – в качестве вставки кольца. (Автор кольца – Туев А.А., 2019 г.)

Кольцо выполнено из золотого сплава 585 пробы. С целью подчеркнуть уникальность минерала было предложено не оправлять вставку в традиционный крапановый каст, а сформировать каст, используя технику гальванопластики, что позволило сохранить первозданный вид кристалла. Такой подход позволил автору работы акцентировать внимание на камне, показать природную глубину цвета и естественную форму кристалла, не повредив его внешний вид.

Цвет, как одно из важнейших оптических свойств драгоценных камней наряду со светопреломлением, люминесценцией, «переливами», определяет красоту минерала [4]. Цвет играет определяющую роль в дизайне ювелирных изделий и служит важным диагностическим признаком, позволяющим различать драгоценные камни. Как правило, редкий цвет минерала, а точнее насыщенность цвета, его тон и оттенок «требуют» от ювелира индивидуального дизайна ювелирного украшения соответствующей уникальности драгоценного камня.

Одним из отличительных оптических свойств цвета является сильный плеохроизм – способность некоторых минералов, обнаруживать различную окраску в проходящем через них свете при рассматривании по различным направлениям [5]. Ярким представителем, демонстрирующим сильный плеохроизм, является турмалин Дравит-Индиголит, месторождением которого является «Индиголитовая» копь в окрестностях пос. Шабровский. Образцы турмалина, обнаруженные в конце 2021 г., поражают своим сильным плеохроизмом: окраска меняется с коньячно-серого цвета на сине-голубой. Стоит отметить, что для турмалинов этого месторождения характерен весьма необычный габитус – внешний вид кристаллов, необычность которого можно обыграть при создании некоторых украшений. При разработке дизайна ювелирных украшений со вставками из такого минерала необходимо учитывать простоту природной формы камня, его чистый природный цвет делая акцент на оптических свойствах.

Нельзя оставить в стороне важную геммологическую особенность огранки минералов. Зачастую именно огранка, особенно фантазийные виды огранки, будут определять дизайн ювелирного украшения. Огранка с «отрицательными» углами граней практически не встречается в промышленном дизайне ювелирных украшений. Такие вставки применяют в авторском ювелирном искусстве. На рис. 3 представлена

брошь со вставками из уральских аметистов (огранка с «отрицательными» углами граней) и натуральной морской жемчужиной Акойя.



а

б

**Рисунок 2.** Брошь с морским жемчугом и уральскими аметистами: а – лицевая сторона броши, б– обратная сторона броши (Автор броши – Туев А.А., 2017г.)

Мастер-модель броши выполнена в технике ручной резьбы по модельному воску. Методом прямого литья по выплавляемым моделям были получены литые заготовки из золотого сплава 585 пробы и серебряного сплава 925 пробы. Литые элементы соединены пайкой, на поверхности декоративных элементов методом гравировки нанесен узор.

В ювелирном деле немалую роль играет закрепка камней. От закрепки зависит внешний вид изделия, его композиционная целостность, выразительность камня и гармоничность всех элементов изделия.[6] Несмотря на большое разнообразие видов закрепки ювелирных камней довольно сложно подобрать закрепку и зачастую ее приходится перерабатывать и совершенствовать при использовании природных форм минералов [7].

### Выводы

Таким образом, на примере авторских ювелирных украшений было показано, что дизайн ювелирных украшений во многом определяется геммологическими особенностями драгоценных камней.

В большинстве случаев это относится к уникальным, редко встречающимся в природе минералам. Да, авторы настоящей статьи признают, что дизайн ювелирного украшения далеко не всегда создается вокруг и для минерала. Как правило, в промышленном ювелирном дизайне художник старается выстроить дизайн украшений, используя арсенал традиционных ограночных камней.

Но авторский подход к дизайну ювелирных украшений, который позволяет автору создавать изделие исходя из уникальной природы минерала, намного интереснее, позволяет раскрыть творческий потенциал автора и создать поистине неповторимое произведение ювелирного искусства.

### Библиография

1. Всероссийский выставочный журнал-каталог «Экспо-Ювелир» (Режим доступа URL): <https://expojeweller.ru/articles/prirodnyie-kamni-v-chyom-ih-tsennost/>
2. Вуайо П. Бриллианты и драгоценные камни. – М.: АСТ, 2019. – 128 с.
3. И.А.Груздева, Е.В.Денисова Проектирование и изготовление ювелирных изделий: учебное пособие// УрФУ/ 2021.-269с.
4. Сидельников С.Б. Производство ювелирных изделий из драгоценных металлов и их сплавов: учебное пособие / С.Б. Сидельников, И.Л. Лазоревич, Н.Н. Довженко [и др.] // М.: НИЦ ИНФРА-М, 2020. – 375 с.
5. A Jewellery Designer's Guide to Cut Styles for Gemstones (Режим доступа URL): <https://www.bespokejewellerytraining.co.uk/single-post/a-jewellery-designers-guide-to-cut-styles-gemstones>

6. International Gem Society (Режим доступа URL): <https://www.gem-society.org/article/does-refractive-index-affect-gemstone-brightness/>
7. O'Donoghue M. Gems, 6th edition. – Amsterdam: Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2014. – 873 p.



**Технология изготовления инталии с элементами геральдики. Черевастова  
А.Д.\* (МГРИ, cherevastova@mail.ru)**

### **Аннотация**

В работе обоснована актуальность темы, поставлены цель и задачи работы, затрагивается краткая история возникновения и развития глиптики в мире и России, разновидности изделий. Рассматривается краткая история развития геральдики. Рассматривается понятие герба и его составляющие. А также разбирается эскиз инталии. В данной работе описываются свойства выбранного для работы синтетического кварца. Описана технология изготовления инталии с элементами геральдики. От выбора материала, до финишной полировки изделия. Также работа содержит расчеты затрат на изготовление изделия. Рассмотрено понятие ценовой вилки на данное изделие. Заключение содержит основные выводы, сделанные после выполнения цели и задач работы.

### **Ключевые слова**

Инталия, глиптика, резьба, герб, кварц

### **Теория**

#### **Введение**

Актуальность данной работы заключается в большом спросе на камнерезные изделия мастеров глиптики как на самостоятельные композиции, а также в качестве ювелирных вставок в различные изделия. Целью данной работы является создание симбиоза науки геральдики и искусства глиптики, который способен показать рентабельность и художественную ценность обоих направлений исследования, путем изготовления инталии.

Для достижения указанной цели необходимо решение следующих задач:

1. Изучить историю глиптики.
2. Изучить историю геральдики, правила построения гербов.
3. Спроектировать дизайн камнерезного изделия.
4. Провести научно-исследовательские работы в области свойств материалов, подходящих для искусства глиптики.
5. Применить технологию изготовления изделия ручным способом в технике инталия.

#### **История глиптики**

Глиптика – это резьба по драгоценным камням. Название восходит к древнегреческому термину γλύφω — вырезаю, выдалбливаю. Не считая резьбы по рогу и кости, это древнейший способ художественной обработки драгоценных и

полудрагоценных камней и минералов. Все геммы античных времен имели три значения: их носили как украшения, с ними были связаны различные суеверия, и они использовались в качестве печатей. Упадок культуры и развитие суеверий привели к тому, что произведения глиптики, ценились, прежде всего, как амулеты. Вершина камнерезного искусства – античная глиптика. Пережив высокий расцвет в эпоху Возрождения, и позже, во второй половине XVIII — начале XIX века, искусство резьбы на миниатюрных камнях стало постепенно угасать. Однако живая связь с классической традицией продолжается в творчестве тех немногих современных мастеров глиптики, кто, владея виртуозной техникой резьбы, умеет выявить природную красоту минералов, кого восхищает мастерство резчиков далекого прошлого. [4]

### **История геральдики**

Геральдика – наука о гербах. Гербы являются продуктом христианской эпохи и вместе с тем европейской средневековой культуры, хотя в основание их развития и могли войти, как элементы, некоторые пережитки быта и верований народов Древнего мира, а впоследствии, как мы увидим, ими восприняты были и новые образы, занесенные в Западную Европу преимущественно с Востока. Герб как явление возник в эпоху рыцарства, о чем свидетельствует его основная часть – щит. Герб – особая фигура или символическое изображение, представленные на основании известных, точно определенных правил и служащие постоянными отличительными знаками отдельному лицу, роду, сообществу или учреждению, а также городу, области или целому государству. [1] Основной частью герба является щит. Формы щита в разное время и у разных народов представляют большое разнообразие. Цвет щита (финифть) представлен либо естественной окраской материала, из которого он сделан, либо был придан ему через окраску, позолочение, обивку. Крайне редко щит пустует, в нем помещаются гербовые фигуры. Гербовой фигурой может быть все, что возможно представить в виде изображения или цвета. Изделие представляет собой зеркальную инталию в виде круглой монеты с изображением герба. Идея вырезать герб появилась из-за субъективного интереса к геральдике и малого количества подобных изделий. За основу была взята эмблема Гохрана России и стилизована по всем правилам построения герба.

### **Свойства кварца**

Кварц (англ. Quartz) – один из самых распространенных минералов в Земной коре. Химическая формула:  $\text{SiO}_2$ , природный диоксид кремния. Название происходит от немецкого «*Querklufter*» – руда секущих жил. Обладает тригональной сингонией. Обычно кристаллы имеют вид шестигранной призмы, с одного конца увенчанной шести- или трехгранным пирамидальным окончанием. Часто по направлению к окончанию кристалл постепенно сужается. Блеск стеклянный, в сплошных массах бывает жирным. Излом неровный или раковистый. Спайность несовершенная по основному ромбоэдру и пинакoidу, иногда наблюдается отдельность. Твердость 7. Плотность 2,6 – 2,65 г/см<sup>3</sup>. В качестве сырья было принято использовать синтетический кварц – прازیолит. Как недорогое сырьё для прототипа инталии, имеющее достаточный размер. [2]

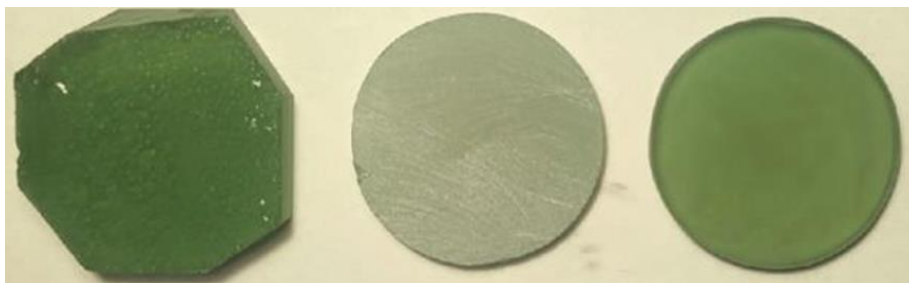
### **Технологический процесс создания инталии**

Так как проект представляет собой единичное, эксклюзивное изделие, то вложения в дорогостоящее оборудование необходимое для данного метода, не

рентабельны. В связи с этим резьба выполнялась вручную с использованием бормашины. Заготовки перед проведением непосредственно резьбы были доведены до вида гладких ровных монет с одной заполированной стороной для просмотра готового изделия и зашлифованной рабочей стороной. (Рис. 1) Все этапы проводятся при смачивании рабочего пространства водой. Сначала рисунок переносится на камень. Далее начинается вырезка контура всех крупных деталей. Этапы имеют строгую последовательность, которую необходимо соблюдать для получения результата. Однако каждый из этапов имеет свои особенности, к которым необходимо возвращаться через несколько пунктов. [3] Процесс резьбы представляет собой наслоение рельефа и внимание уделяется каждому из уровней на протяжении всей работы. После всех проведенных работ остается шлифовка и полировка фона рабочей стороны с помощью свободного абразива, чтобы матовая резьба выделялась и была лучше видна через лицевую сторону. После достижения необходимого результата изделие еще раз промывается вместе с моющим средством и тщательно высушивается. (Рис. 2) [5]

### **Расчет стоимости изделия**

После проведенных расчетов в которых учитываются все затраты необходимые для производства изделия: стоимость сырья в данном случае кварца, затраты на трудовые ресурсы, вспомогательные материалы и ресурсы, себестоимость составляет: 367955,99 руб. [6] Стандартный процент прибыли приблизительно 60%, исходя из этого, примерная начальная цена изделия составляет: 58873,58 руб. Однако, исходя из факторов уникальности, сложности и коллекционной значимости изделия и мастерства резчика, цена такого изделия может увеличиться вдвое (110387,97 руб.).



*Рисунок 1. Заготовки «монеты». (фото автора)*



*Рисунок 2. Финальный вид изделия. (фото автора)*

## **Выводы**

В теоретической части настоящей работы были всесторонне рассмотрены вопросы истории геральдики и глиптики, правила построения гербов. Все задачи, поставленные в работе, были выполнены, однако изготовление инталий затрагивает многие сферы и охватить полный список аспектов данного процесса в одной работе невозможно.

## **Библиография**

1. Арсеньев Ю.В. Геральдика, М.: ТЕРРА – Книжный клуб, 2001. С. 121-356.
2. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни, М.: «Недра», 1987.
3. Курсы «Техника резьбы инталии по прозрачным камням». Мастер В.В. Попович, школа Jewellery School г. Санкт-Петербург.
4. Неверов. О.Я. Геммы античного мира. М. 1983.
5. Синкенкес Д. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней. // М.: Мир, 1989.
6. Miller Anna M., Sinkankas J. Standart catalog of gem values. - 2nd изд. - USA: Geosience Press, 1994. С. 100-103, 186-189.

**История происхождения традиционных китайских браслетов из нефрита и жадеита. Чжу Шуань\* (МПУ), [835619649@qq.com](mailto:835619649@qq.com)**

**Аннотация**

Круглый нефритовый браслет в Китае символизирует благополучие и удачу. Он лучше всего отражает представления китайского народа о гармонии и совершенстве. С древних времен женщины Поднебесной носили браслеты для украшения, в то время как мужчинам браслеты были важны для признания их социального статуса. В наше время нефритовые браслеты являются прежде всего символом красоты, удачи и богатства, особенно в сознании китайских женщин.

Именно поэтому среди изделий из нефрита наиболее популярными у китайцев являются браслеты, а нефритовое сырьё для их изготовления – самое дорогое и качественное, потому что для их изготовления требуется, чтобы исходный материал не имел явных и скрытых дефектов. Внутренний диаметр изделия составляет, как правило, около 40-60 мм.

Эта статья посвящена истории происхождения традиционных китайских браслетов из нефрита и жадеита, в данной работе исследуются характеристики и формы этих ювелирных изделий.

**Ключевые слова**

Браслет, нефрит, жадеит, Китай, древний, современный

**Теория**

Нефрит и жадеит существуют различные цвета, твердость составляет: 6 – 6.5 и 6.5-7

Происхождение китайских нефритовых браслетов

Первая теория заключается в том, что браслеты произошли от нефритовых дисков «Ю Би» - это разновидность плоского изделия из камня, круглой формой с отверстием посередине (рис. 1). Культуры Лянчжу (3200-2200 до н.э.), сейчас находится во Дворце-музее



**Рис.1.** «Ю Би» - диаметр 22,2 см; 4,6 см – диаметр отверстия, относится к периоду[1]

Второе предположение сводится к тому, что браслеты произошли от нефритовых изделий времен Культуры Лянчжу в конце периода неолита (рис. 2-3). В 1986 году была вскрыта гробница № 12 в Антишане, уезд Юхан, провинция Чжэцзян

Это древнее, по всей видимости, ритуальное, творение, известное как “Король Конг” (琮cong), имеет высоту 8,8 см и ширину 17,1-17,6 см. “Король Конг” оформлен сложными украшениями и весит 6,5 кг

Судя по артефактам, обнаруженным в тот же период, этот “Король Конг” относится к середине эпохи Культуры Лянчжу, т.е. ко времени примерно 5000 лет назад. Коллекция музея провинции Чжэцзян подтверждает то, что в этот период появились первые нефритовые браслеты с изображениями животных (рис. 4). Среди них нефритовые браслеты культуры Далэнкоу: круглой формы как снаружи, так и внутри (рис. 5).



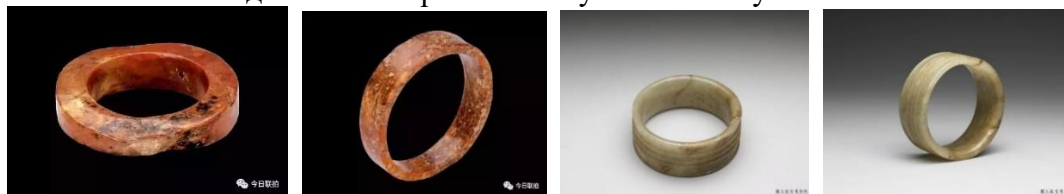
**Рис. 2-3.** “Король Конг”, эпоха неолита, высота 8,8 см, ширина 17,1-17,6 см, вес 6,5 кг [2]

**Рис. 4** Нефритовый браслет с рисунком морды животного, неолит

**Рис. 5.** Браслет из культурного нефрита Далэнкоу, круглый снаружи и внутри [3]

Нефритовый браслет красновато-коричневого цвета. Изделие из камня с черными и коричневыми пятнами. По краю внешнего кольца есть углубления. Браслет имеет неправильную форму, поперечное сечение - прямоугольное. Очевидно, что разная толщина корпуса устройства вызвана неравномерной резкой (рис. 6). Нефритовый браслет эпохи Культуры Лянчжу диаметром 6,3 см и толщиной 1,5 см сейчас находится в Историческом музее Ханчжоу.

Еще один нефритовый браслет красновато-коричневого цвета. Он тоже неправильной формы, но отполированный и гладкий, линии по кромке поверхности - чёткие (рис. 7). Нефритовый браслет Культуры Лянчжу диаметром 6,8 см и толщиной 1,6 см сейчас также находится в Историческом музее Ханчжоу.



**Рис. 6.** Нефритовый браслет Культуры Лянчжу, диаметром 6,3 см и толщиной 1,5 см,

**Рис. 7.** Нефритовый браслет Культуры Лянчжу, диаметром 6,8 см и толщиной 1,6 см,

**Рис. 8-9.** Браслеты конца периода неолита до династии Шан, диаметром 9,5 см

К временам правления китайской династии Шан относятся браслеты цилиндрической формы, украшенные тремя нитяными узорами (рис. 8-9), диаметр 9,5 см, коллекция Тайбэйского дворцового музея.

Во времена династий Шан и Чжоу и до периода Воюющих государств материалом браслетов был в основном нефрит.

Среди браслетов периода неолита есть прекрасные изделия, украшенные узорами в форме голов животных (рис. 10). В период между эпохой Воюющих Государств и до династии Западная Хань появились витые нефритовые браслеты (рис. 11, предоставлено Национальным дворцовым музеем в Тайбэе).



**Рис. 10.** Браслеты периода неолита

**Рис. 11.** Браслет «витой» из нефрита периода Воюющих Государств и до династии [4]

**Рис. 12.** Ширина 7 см, династия Хань

**Рис. 13.** Нефритовый браслет, династия Хань, диаметр 9,7 см

«Нефритовый дракон, кусающий свой хвост», браслет династии Хань, материал - коричневый нефрит. Брови и глаза дракона довольно тонко вырезаны. Ширина обода браслета - 7 см (рис. 12).

Нефритовый браслет династии Хань, цвет - коричневый. Диаметр 9,7 см, муаровый узор Ханью Гоу (рис. 13).

Во времена династии Сун нефритовые браслеты стали более элегантными и сложными в изготовлении, например, голубые и белые нефритовые браслеты с мягким

блеском (рис. 14), и полые резные нефритовые браслеты из коллекции Национального дворцового музея в Тайбэе (рис. 15).



**Рис. 14.** Династия Сун, голубой и белый нефрит, Тайбэйский дворцовый музей

**Рис. 15.** Нефритовый браслет, коллекция Национального дворцового музея, Тайбэй

**Рис. 16.** Нефритовый браслет «летучая мышь» (музей-дворец Династии Мин)

Обработка нефрита во времена династий Мин и Цин

С началом бурного развития Китая, толчок которому дало строительство Большого канала, начатого при династии Суй, стало развиваться и искусство резьбы по нефриту и жадеиту. В эпоху правления династий Мин и Цин родились такие шедевры, как нефритовый браслет «летучая мышь» (рис. 16) и витой «Шелковый браслет» из белого нефрита (рис. 17) Дворцового музея, Тайбэй.

Пика искусство резьбы по нефриту и жадеиту достигло в период правления императора Цяньлун (1727-1748). Сам император выбрал нефритовый браслет (рис. 18), как свидетельство любви к своей первой жене императрице Сяосяньчунь, умершей в возрасте 36 лет. Это поистине произведение искусства «браслет Ю Хуань из белого нефрита», состоящий из двух неразъёмных колец (рис. 19-20), покрыт строками трогательных стихов, написанных самим Цяньлуном.



**Рис. 17.** Браслет из скрученного шелка с нефритом Цинбай, коллекция

**Рис. 18.** Династия Цин, браслет из белого нефрита, резной

**Рис. 19-20.** Браслет Ю Хуань (Дворец-музей династии Цин)

Другое произведение искусства китайских мастеров резьбы по камню - пара жадеитовых браслетов с изображением дракона из коллекции Национального дворцового музея в Тайбэе. Браслеты изготовлены из лучшего в своем роде материала, в котором молочно-белый жадеит плавно переходит в прозрачный жадеитудный (рис. 21).



**Рис. 21.** Династия Цин, Нефритовый браслет, Дворец-музей, Тайбэй[5]

**Рис. 22.** Нефритовый браслет-обруч династии, диаметр 7,8 см

**Рис. 23.** Династия Цин, Нефритовый браслет, коллекция Запретного города в Тайбэе

В конце правления династии Цин в Китае начали придерживаться более простого, но при этом изысканного, выдержанного стиля (рис. 22). Время создания: Династия Цин (1644-1911 гг. н.э.) Примером тому служит и жадеитовый браслет-обруч из коллекции Национального дворца-музея. Диаметр браслета 7,8 см (рис. 23).

Со временем форма браслетов постепенно менялась. Самые ранние браслеты были очень простыми, в поперечном сечении - круглые. Этот вид браслета одновременно красив и сдержан. Но для их изготовления требуется больше высококачественного сырья. Другим минусом является то, что внутренняя сторона таких браслетов может болезненно давить на запястье (рис. 23).

Постепенно мастера пришли к мысли, что браслеты с плоской внутренней поверхностью требуют меньше исходного материала и более практичны в эксплуатации (рис. 27).

Так, появились браслеты овальной формы. Они позволили еще больше экономить на сырье и стали более удобны для потребителей, особенно женщин с узким запястьем. Такой дизайн предпочитают молодые люди.

В современном обществе, с появлением машин и оборудования, производительность значительно повысилась, поэтому на основе наследования традиций был проявлен творческий подход к обработке более изысканных ювелирных браслетов, чтобы удовлетворить стремление людей к красоте (рис. 24-26). [6]

Однако коллекционную ценность по-прежнему представляют классические круглые браслеты из высококачественного ювелирного нефрита. Традиции в этом вопросе являются бесспорным преимуществом художественных изделий.



*Рис. 24-26. Современный жадеит браслет*

## **Выводы**

Считается, что нефритовые браслеты испокон веков были лишь украшениями китайских модниц, хотя ныне многие ученые считают, что первоначально появление браслетов связано не только с любовью к красоте, но и с колдовскими ритуалами.

Существуют и вовсе неожиданные теории: некоторые историки считают, что, поскольку мужчины занимали абсолютное доминирующее положение в социальной и экономической жизни Китая, кольца, браслеты и другие нефритовые украшения имели метафорический смысл «связывать женщин и препятствовать их побегу».

Культура нефрита - важная часть китайской цивилизации, она на протяжении тысячелетий оказывает неизмеримое и глубокое влияние на общество Китая и отношения между индивидуумами внутри него. Можно сказать, что в каком-то смысле широкое использование нефритовых изделий в качестве украшений, для ритуальных целей и как признак социализации человека заменили даже религию.

Уважение и любовь к нефриту в Китае никогда не уменьшались и уж тем более не предавались забвению. В этом заключается его величие, и хочется верить, что будущие поколения сохранят трепетные чувства к этому волшебному камню.

## **Библиография**

1. 14.02.2023.<http://collection.sina.com.cn/fcys/2016-03-31/>
2. 14.02.2023.<https://m.gujianchina.cn/news/show-3634.html>
3. 14.02.2023. <http://www.dashiyudiao.com/>
4. 14.02.2023.<https://www.aboluowang.com/2022/0324/>
5. 14.02.2023.<https://www.toutiao.com/w/1733225883454464/>
6. 14.02.2023. <https://www.google.com/search?>



***Палеопарк «Путилово»: глина как высококачественный гончарный материал. Сравнение с текущей ситуацией в Китае. Чжу Шуань\* (МПГУ, [835619649@qq.com](mailto:835619649@qq.com))***

### **Аннотация**

В Палеопарке "Путилово" (Ленинградская область)<sup>1</sup> прошла выездная стажировка, в ходе которой были найдены не только палеонтологические окаменелости, но и обнаружены залежи высококачественной глины. После изучения и практической работы с образцами была подтверждена предварительная оценка качества гончарного материала. Изготовленные мною из него экспериментальные изделия работы показаны на рисунках 14-21. Как правильно использовать уникальный ресурс этой высококачественной глины? Это основное содержание данной статьи.

У путиловской глинистой руды, с точки зрения химического состава и физических свойств, есть много общего со знаменитой китайской глиной «цзыша» (紫砂), иначе именуемой «исинской» глиной - по названию местечка Исин в материковом Китае, - из которой китайские мастера изготавливают редкой красоты традиционные темно-красные керамические изделия. Можно ли перенести опыт гончаров из Поднебесной на российскую землю? Попробуем ответить и на этот вопрос.

### **Ключевые слова**

Палеопарк «Путилово», высококачественная гончарная глина, использование минеральных ресурсов, китайская глина «цзыша», работы китайских мастеров

### **Теория**

Палеопарк расположен в 50 км от Санкт-Петербурга, на территории старинного карьера, где добывался известняк еще для Петропавловской крепости, Аничкова дворца и других памятников архитектуры. На смотровой площадке можно наблюдать, как и сегодня добывается знаменитая путиловская плита. Море, покрывавшее эти места в ордовике, давным-давно исчезло. Но его обитатели в виде окаменелостей сохранились до наших дней. Трилобиты Ленинградской области – одни из лучших в мире по сохранности и красоте. Сотни видов скрываются в толще путиловских известняков[1]. На практических занятиях в Палеопарке «Путилово», рис. 1-2.

Экзамен в ходе натурной стажировки: найдены не только палеонтологические окаменелости (рис. 3-8), были также обнаружены залежи гончарной глины (рис. 9-12). В процессе отбора проб, анализа, обработки, производства и т.д. было обнаружено, что в этом районе имеются высококачественные ресурсы глинистой руды.



**Рис. 1, 2:** 29.11.2022 г. в Палеопарке «Путилово»



**Рис. 3.** Окаменелости ископаемого трилобита, 17×6×5 (см)

**Рис. 4.** Окаменелости ископаемого трилобита хорошо сохранились

Окаменелости ископаемых:

**Рис. 5-6.** 1,8×1,0×1,2 (см), 9×6×3 (см)

**Рис. 7.** 2×2×1,5; 3×2,8×1,7; 2,8×2,8×2, 3,8×3,5×1,4 (см)



**Рис. 8-12.** (7×6×3 см, 7×4×5 см, 5×4×3,8 см, 10×3,5×4 см, 7×4×5,5 см)

### Химический состав глины

Глина является важным минеральным сырьем. Она состоит из различных гидратированных силикатов и определенного количества оксидов глинозема, оксидов щелочных металлов и оксидов щелочноземельных металлов, содержит кварц, полевой шпат, слюду и сульфаты, сульфиды, карбонаты и другие примеси.

Некоторые из **минералов, входящих в состав глины** из месторождений в Палеопарке «Путилово»:

Каолинит,  $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_2$  или  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , глинистый минерал из группы водных силикатов алюминия. Кстати, интересно, что название этого минерала происходит от китайского словосочетания «гао лин» - «высокая гора» (так называлось в Китае одно из месторождений каолина). Химический состав: окись алюминия ( $Al_2O_3$ ) 39,5%, двуокись кремния ( $SiO_2$ ) 46,5%, вода ( $H_2O$ ) 14,0%.

**Каменная смола**  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

**Монтмориллонит**  $(Al, Mg)_2[(OH)_2Si_4O_{10}](Na, Ca)_x \cdot nH_2O$

**Вермикулит** :  $(Mg, Ca)_{0.31}(H_2O)_n Ti_{0.18} Al_{0.03} Fe(III)_{1.09} Mg_{1.25} [Si_{2.08} Al_{1.20} O_{10}(OH)_2]$  或者  $(Mg, Fe, Al)_3(Al, Si)_4 O_{10}(OH)_2 4H_2O$

**Иллит** :  $(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4 O_{10}[(OH)_2, H_2O]$

**Боксуп**  $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2.5H_2O$

### Основные физические свойства глины

Пластичность глины, смешанной с соответствующим количеством воды для образования гончарной массы, характеризуется способностью противодействовать деформации, возникающей под воздействием внешней силы. Именно способность гончарной массы сохранять первоначальную форму неизменной является важным свойством глины и называется пластичностью.

На иллюстрациях 13-15 представлены авторские работы из глины: декоративные листья и корзинки



*Рис. 16. Корзина*

*Рис. 17. Глиняные «бусы» диаметром 7,5-13 мм*

Такой специфический параметр как адгезия глины относится к её способности комбинироваться с другим сырьём, имеющим иные характеристики пластичности (иллюстрации 16-17). Способность глины к адгезии (склеиванию) оказывает важное влияние на результативность процессов сушки, обрезки и покрытия глазурью заготовок изделий (иллюстрации 20-21).

Перед процессом термической обработки глина представляет собой смесь минералов, температура плавления которых различна. На этапе обжига некоторые фракции глины, достигнув определенной температуры (800~900°C), постепенно размягчаются, переходя в жидкое состояние, и заполняют пространство между твердыми частицами, вызывая резкое уменьшение объема изделий, уменьшение пористости, увеличение плотности. На фото 18-19 отчётливо заметно, что листья и корзинки после высокотемпературной обработки имеют также явные признаки изменения цвета, что важно как для потребительских свойств, так и для декоративных характеристик изделий.



*Рис. 13-21 Работы автора*

В результате гончарной обработки были получены стабильные по характеристикам и прочные керамические изделия, которые подтвердили высокое качество глины из месторождений Палеопарка «Путилово».

Путиловское минеральное сырьё оказалось сходным с исинской глиной «цзыша» материалом. Основными химическими компонентами глины из Исина также являются **кварц, гематит, анатаза, иллит, каолинит, хлорит**[2]. Этот вывод позволил придумать над тем, можно ли из гончарной смеси из Ленинградской области создавать такие же произведения прикладного искусства, какие делают китайские мастера?

На этот вопрос можно ответить положительно.

Иллюстрации 22-24 демонстрируют уникальные свойства исинской глины «цзыша», воплощенные в изумительных терракотовых изделиях:

Рис. 22. Автор - Чжао Цюпин, заварной чайник "Каменный ковш", ёмкость 470 мл. Автор этого чайника стремится придать его форме плавные линии, внимательно соблюдает классические пропорции изделия. Этот чайник – воплощение твердости и мягкости мудрости и округлости, поистине коллекционное сокровище[3].

Рис. 23. Автор - народный художник Чжоу Шуньфан, заварной чайник "Tree Cherry Pot" ёмкостью 280 мл. Поверхность чайника имитирует кору дерева, что характерно для гончарных изделий династии Мин для весны[3].

Рис. 24. Автор - Чэнь Минъюань, заварной чайник в стиле «танлинь». Это утилитарное, в общем-то, изделие является произведением не только гончарного искусства, но и литературы: вырезанные на его стенках иероглифы имеют глубокий смысл, а каллиграфия характерна для стилей династий Цзинь и Тан[4].



*Рис. 22. Автор - Чжао Цюпин, заварной чайник "Каменный ковчег", ёмкость 470 мл*

*Рис. 23. Автор - народный художник Чжоу Шуньфан, заварной чайник "Tree Cherry Pot" ёмкостью 280 мл*

*Рис. 24. Автор - Чэнь Минъюань, заварной чайник в стиле «танлинь»*

## Выводы

Надеюсь, что все будут придавать большое значение исследованиям и практике, хорошо использовать высококачественные глинистые минеральные ресурсы российской базы Палеопарк «Путилово», учиться на методах художественной обработки китайских мастеров из глины «цзыша», создавать все более и более богатые произведения искусства.

## Благодарности

Особая благодарность - заведующему кафедрой минералов и драгоценных камней МГРИ Д.А.Петроченкову, который взял на себя труд лично провести выездную стажировку студентов на базе Палеопарка «Путилово».

## Библиография и комментарии

1. 15.02.2023.<https://www.sputnik8.com/ru/st-petersburg>
2. 中国陶瓷| CHINA CERAMICS, 2016 (52) выпуск 6
3. 12.01.2023.<https://paimai.jd.com/album/15604>
4. 12.01.2023.<http://collection.sina.com.cn/yjjj/2019-05-02/doc-ihvhiewr9435372.shtml>

*Изучение геммологических свойств и внутренних особенностей танзанита. Якубович Р.В.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [regina180799@gmail.com](mailto:regina180799@gmail.com)), Романова Е.И. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, [romanovaei@mgri.ru](mailto:romanovaei@mgri.ru))*

## Аннотация

Доклад посвящён изучению разновидности цоизита – танзаниту. Единственным месторождением танзанита является Мерелани-Хиллс (Восточная Африка). Месторождение было открыто в 1967 году, а уже в 1968 году танзанит получил признание на геммологическом рынке благодаря ювелирной компании «Tiffany&Co». Редкость, красота и широкий спрос на этот камень определили высокую цену на танзанит, примерно 300-800\$ за карат огранённого камня.

Научных исследований по танзаниту совсем немного, в литературе приведены только основные минералогические свойства цоизита, вопрос о формировании танзанита и сопутствующих ему ванадийсодержащих минералов остаётся открытым и требует дополнительных исследований. В данной работе были исследованы образцы облагороженных танзанитов и необлагороженных цоизитов из месторождения Мерелани-Хиллс.

## Ключевые слова

Танзанит, цоизит, Мерелани-Хиллс, плеохроизм

## Теория

Танзанит – редкая ювелирная разновидность цоизита синего цвета. Химический состав:  $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$ . Танзанит является мягким и хрупким минералом - твёрдость 6,5 – 7 по шкале Мооса. Танзанит обладает высокой прозрачностью и стеклянным блеском, показатели преломления:  $n_g=1.697-1.725$ ,  $n_m=1.688-1.700$ ,  $n_p=1.685-1.705$ , анизотропный, двуосный минерал, двупреломление 0,009, плотность  $3,35 \text{ г/см}^3$ . Сине-голубая окраска вызвана примесью ионов ванадия  $\text{V}^{4+}$  и  $\text{V}^{3+}$ , находящихся в октаэдрической координации. Коричнево-фиолетовые цвета связаны с ионами  $\text{V}^{3+}$  и  $\text{Ti}^{3+}$ , а также незначительным количеством ионов  $\text{Fe}^{3+}$ . Различные оттенки зелёного цвета обусловлены примесью  $\text{Cr}^{3+}$  и незначительным количеством ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Одной из главных особенностей этого минерала является сильный плеохроизм (оптическое свойство, обуславливающее смену различных окрасок у одного камня в зависимости от его ориентировки при просмотре). При просмотре с разных сторон в танзаните можно увидеть синюю, фиолетовую (до красной), зелёную (или коричневую) окраску [4]. У некоторых кристаллов проявляется александритовый эффект: при дневном освещении они камни имеют синий цвет, а при искусственном – фиолетовый. В редких случаях танзанит может содержать графитовые или ильменитовые включения, вызывающие эффект кошачьего глаза.

Окраска большинства (около 95%) добываемых танзанитов имеет непривлекательные желто-коричневые оттенки. Специальный процесс нагревания (отжига) до  $400-650^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению нежелательных оттенков в окраске

камня и появлению в камне красивых оттенков синего и фиолетового. Такая смена цвета происходит при отжиге камня в течение одного часа при температуре 375°C или всего за пару минут при отжиге при температуре 600°C. Дальнейшее нагревание приводит к обесцвечиванию кристаллов [1]. Из нетрадиционных методов облагораживания выделяют нанесение плёночных покрытий [2] и промасливание [3].

В качестве имитаций танзанита используются: синтетический форстерит, имеющий схожую окраску, синтетические камни, отличающиеся по оптическим характеристикам, но близкие по окраске (например – шпинель, ИАГ, фианит), цветные стёкла, в последнее время также стали использовать и ситаллы, соответствующих цветов.

Несколько образцов были исследованы на рамановском спектрометре М532. Для КР-спектроскопии были выбраны 5 минералов: 2 цоизита необлагороженных и 3 танзанита облагороженных. При изучении спектров необлагороженных цоизитов (рис.1) были выявлены характерные пики: 120,2  $\text{см}^{-1}$ ; 149,6  $\text{см}^{-1}$ ; 191,2  $\text{см}^{-1}$ ; 260,2  $\text{см}^{-1}$ ; 286,9  $\text{см}^{-1}$ ; 312,0  $\text{см}^{-1}$ ; 344,9  $\text{см}^{-1}$ ; 396,4  $\text{см}^{-1}$ . При сравнении КР-спектров было выявлено, что во всех облагороженных танзанитах (рис. 2) появляется пик 214,9  $\text{см}^{-1}$ , которого не было в цоизитах. Остальные пики идентичны.

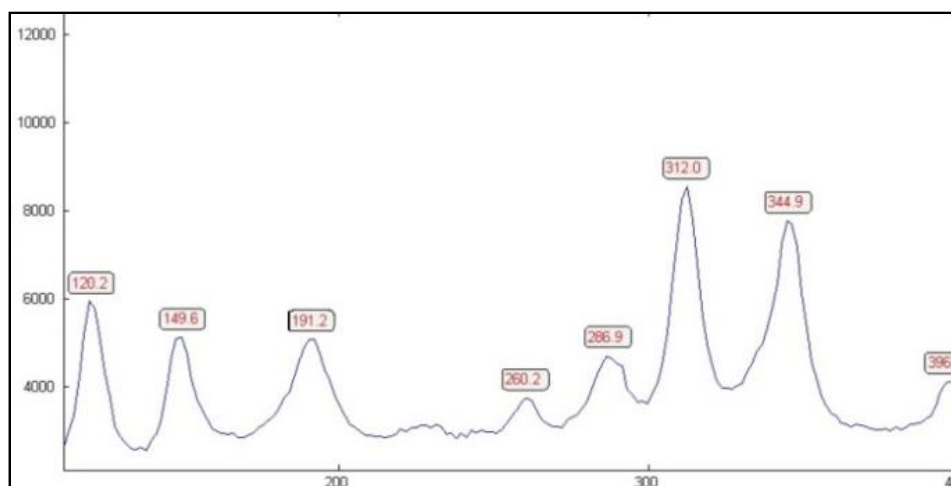
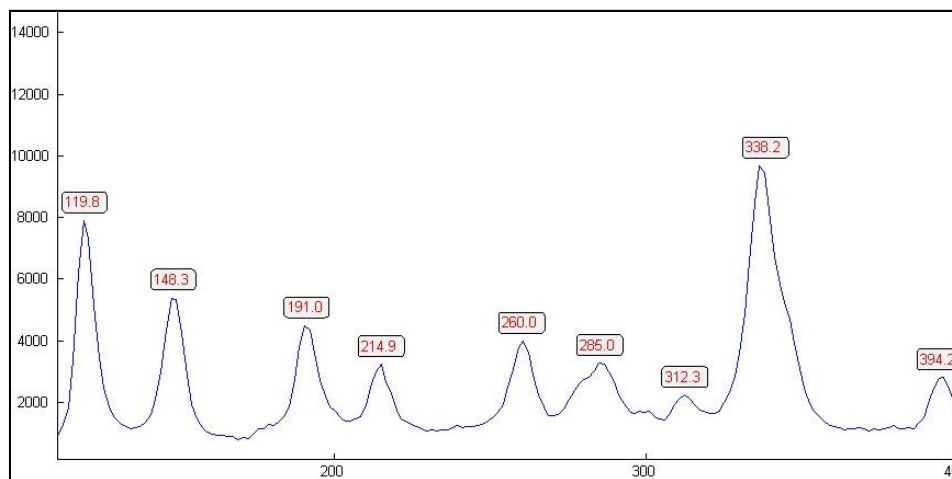
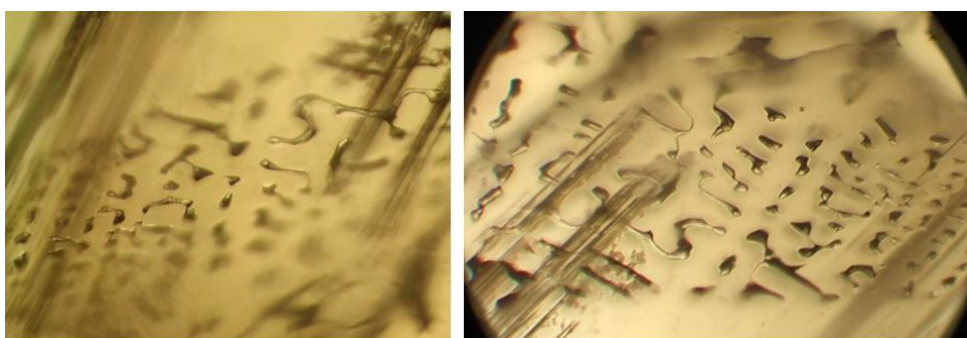


Рисунок 10. Спектр комбинационного рассеяния необлагороженного цоизита

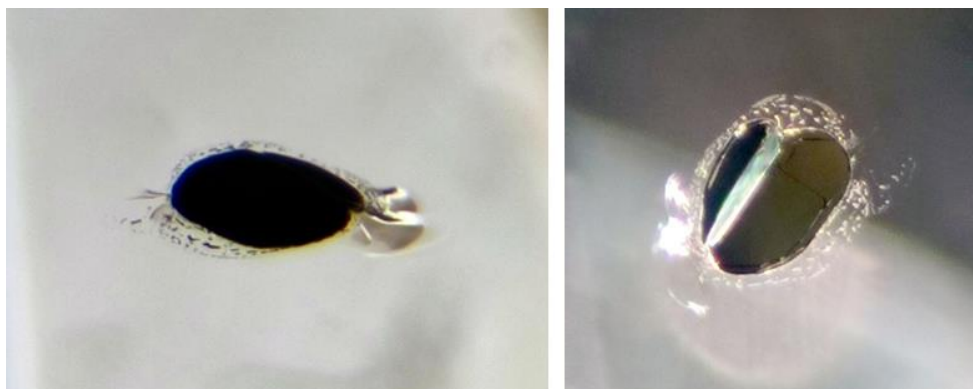


*Рисунок 11. Спектр комбинационного рассеяния обогащенного танзанита*

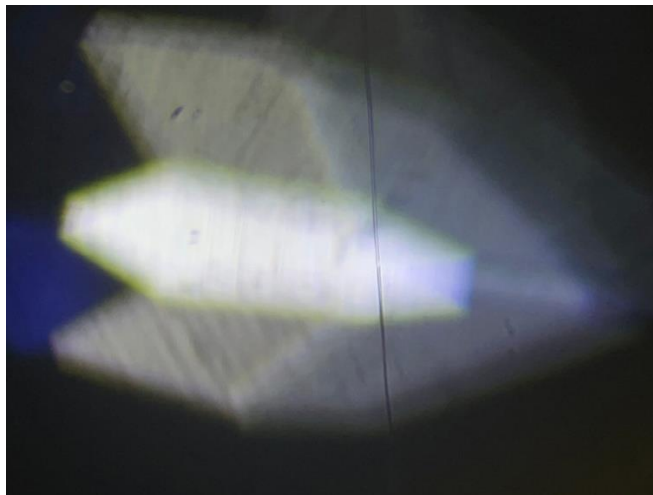
Большая часть танзанитов, продаваемых на ювелирном рынке не имеют видимых включений. В исследованных образцах желтовато-зелёного цоизита из месторождения Мерелани-Хиллс были обнаружены многочисленные газопо-жидкие включения (рис. 3). В необлагороженном синевато-жёлтом танзаните было найдено пластинчатое непрозрачное включение рудного минерала, которое не удалось определить методом КР-спектроскопии (рис. 4). В обогащенном танзаните был найден трубчатый канал, наполовину заполненный либо жидкостью, либо эпигенетическим минеральным веществом (рис. 5) и видны вуали газопо-жидких включений (рис. 6).



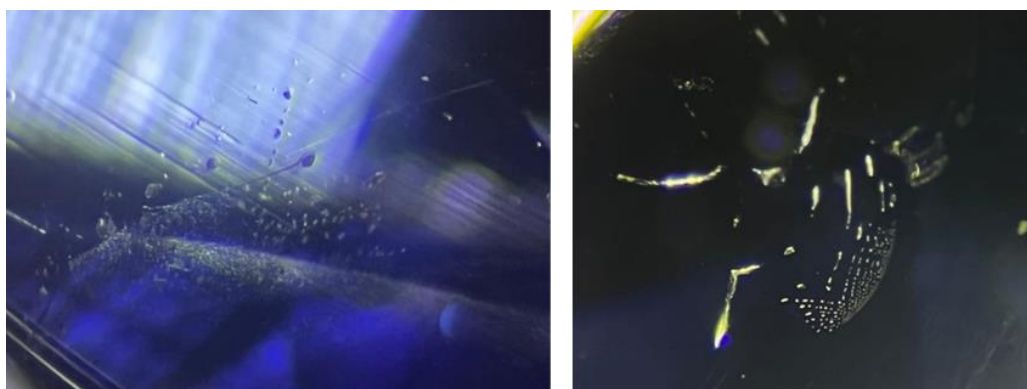
*Рисунок 12. Газопо-жидкие включения в цоизите*



*Рисунок 13. Минеральное включение в необлагороженном цоизите*



*Рисунок 14. Канал в танзаните, частично заполненный включениями*



*Рисунок 15. Вуали газово-жидких включений в танзаните*

## Выводы

Танзанит не так давно стал известен ювелирному миру, благодаря своим цветовым характеристикам, высокой чистоте и редкости он стал популярен по всему миру. Цена хорошего необлагороженного танзанита может даже превышать стоимость некоторых сапфиров, но из-за того, что почти все танзаниты подвергаются термообработке цены на облагороженный и необлагороженный танзанит не сильно различаются. При исследовании спектров был обнаружен пик  $214,9 \text{ см}^{-1}$  у облагороженных танзанитов, который может быть свидетельством термообработки, но необходимы дополнительные исследования большего количества образцов. Для всех образцов характерен сильный плеохроизм, микроскопические исследования показали, что во многих минералах есть газово-жидкие и минеральные включения. Геммологические свойства и внутренние особенности, описанные в докладе, помогут диагностировать танзанит от его имитаций.

## Библиография

1. GEMCENTER // Этот удивительный танзанит. URL: <https://www.gem-center.ru/tanzanite-article.htm>
2. GIA // Titanium-coated tanzanite. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/spring-2014-labnotes-titanium-coated-tanzanite>
3. GIA // Oiled tanzanite. URL: <https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2020-gemnews-oiled-tanzanite>



4. MGC // Танзанит. URL: <https://mgc-labs.ru/encyclopedia/tanzanit/>

**Секция №7. Геология, поиски, разведка и подсчет запасов месторождений  
углеводородов**

**Сейсмофациальный анализ комплекса верхнего олигоцена и нижнего миоцена блока  
X Кылулонгского бассейна, Вьетнам. Буй Т.Н.\* (Ханойский университет горного  
дела и геологии, [buithingan@hug.edu.vn](mailto:buithingan@hug.edu.vn)),**

**Аннотация**

В данной работе исследуются сейсмические фации комплекса верхнего олигоцена и нижнего миоцена блока X Кылулонгского бассейна на основе сейсмических данных 3D. Сейсмические данные были интерпретированы с использованием программного комплекса Petrel компании Schlumberger. Различные типы сейсмических фаций выделяются по сейсмическим профилям Inline и Crossline на 2D сейсмическом разрезе изучаемой территории. В пределах изучаемого участка можно выделить 5 сейсмических фаций.

**Ключевые слова**

Сейсмические фации, Кылулонгский бассейн, Вьетнам, Petrel.

**Теория**

Сейсмическая фация представляет собой трехмерную сейсмическую единицу, состоящую из набора отражающих элементов с аналогичными характеристиками, отличными от характеристик соседних сейсмических фаций [2].

В настоящее время сейсмический фациальный анализ имеет широкое применение для определения структурных особенностей и характеристик осадконакопления путем количественной оценки сейсмических сигналов по данным 3D сейсморазведки [1].

В рамках этого исследования авторы используют 5 критериев характеристик поля сейсмических волн: амплитуда, непрерывность, частота, внутренняя форма, внешняя форма в качестве основы для разделения фаций.

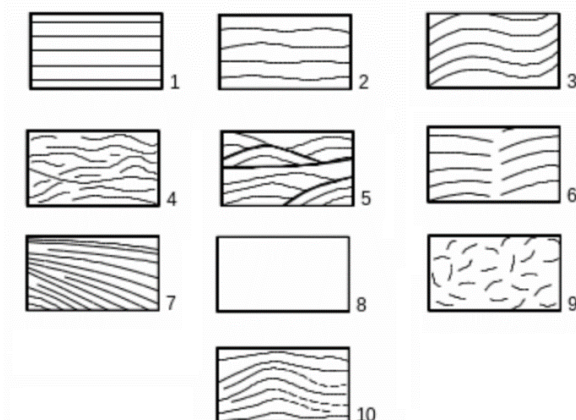
Самым выразительным признаком сейсмических фаций является конфигурация отражений (внутренняя форма) (Рис. 1). Большое значение имеют косослоистые сейсмофации. Они отражают процесс бокового (латерального) наращивания осадочных толщ и обычно характерны для относительно глубоководных бассейнов и бывают сигмовидная, тангенциальная, сложная сигмовидно-косослоистая и черепитчатая сейсмофация.

Непрерывность отражающих границ позволяет судить о протяженности площадей осадконакопления.

Амплитуда говорит о контрастности фаций по вертикали.

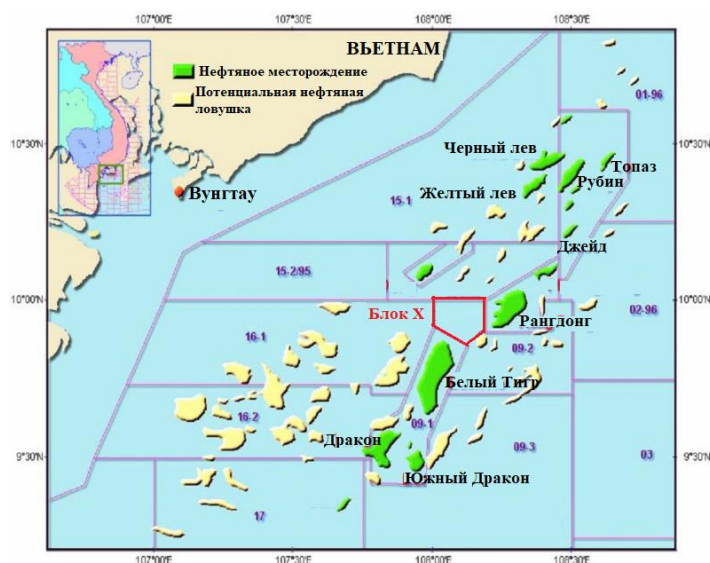
Частота указывается на литологические изменения в вертикальном направлении [4].

Внешняя форма сейсмических отражений подразделяется на следующие типы и связана с осадочной средой: покровы (sheets), клинья (wedges) и насыпи (banks), линзы (lens), холмы (mounds), конусы выноса (fans), типы заполнения (fill).



**Рисунок 1.** Некоторые внутренние формы сейсмических отражений. 1 – параллельные; 2 – субпараллельные; 3 – волнистые; 4 – бугристо-волнистый; 5 – линзовидный; 6 – с разрывом; 7 – расходящиеся; 8 – отсутствие отражений; 9 – хаотичный; 10 – холмистый [2].

Объект изучения блок X в представленной работе расположен в блоке 15-1 Кылуонгского бассейна. В этом исследовании используются трехмерные сейсмические данные, охватывающие площадь около 250 км<sup>2</sup>, расположенную в Кылуонгском бассейне, Вьетнам (рис. 2).



**Рисунок 2.** Обзорная карта района исследования

По результатам исследований соседних скважин на площади верхний олигоцен и нижний миоцен являются двумя основными объектами разведки в районе блока X [3].

Границы сейсмических комплексов были идентифицированы по наблюдениям сейсмических фаций из 2-D сейсмического разреза (Рис. 3 и Рис. 4).

Верхний олигоцен (сейсмический комплекс C) (между top C – top D): На сейсмическом профиле характерно параллельное отражение, высокая амплитуда,

высокая и средняя частота, высокая непрерывность. Приведенные выше характеристики показывают, что отложения отлагаются в высокоэнергетической среде за счет чередования слоев глин и песчаников.

Нижний миоцен: (сейсмический комплекс В1.1) (между top В1.1 – top С): На сейсмическом профиле характеризуется параллельной формой сейсмических отражений, иногда хаотичной или сложной сигмовидно-косослоистой формой сейсмических отражений, низкой частотой, средней непрерывностью. Приведенные выше характеристики типичны для осадочной среды со средней и высокой энергией в речной и озерной среде.

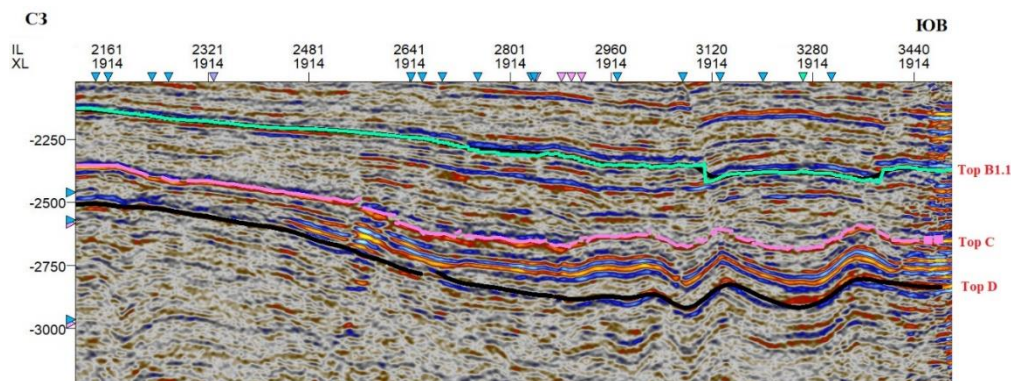


Рисунок 3. Сейсмический разрез по профилю Xline 1914

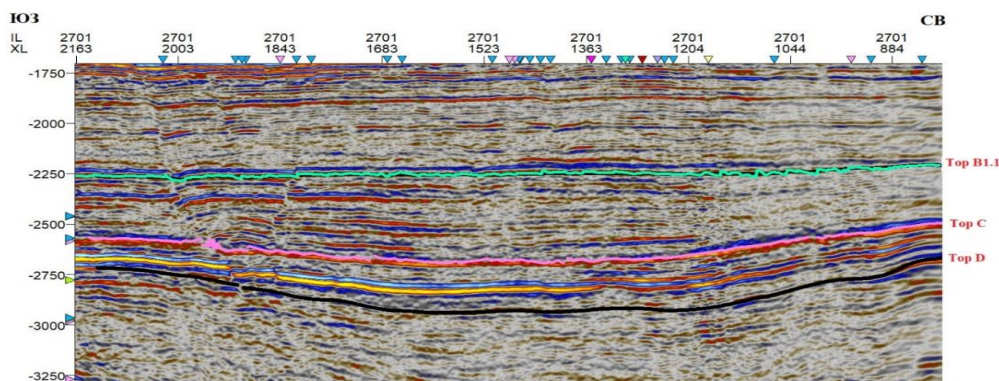


Рисунок 4. Сейсмический разрез по профилю Inline 2701

На Таблице 1 показаны 5 сейсмические фации в районе исследования.

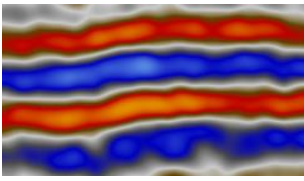
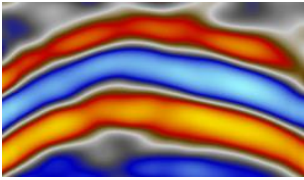
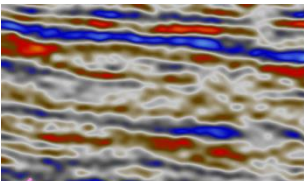
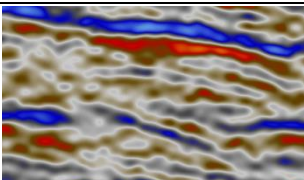
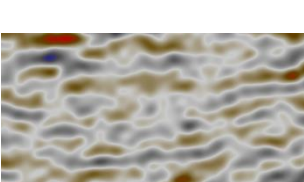
## Выводы

По результатам сейсмофациального анализа по сейсмическим профилям в районе исследований выделены три границы сейсмических комплексов и пять сейсмофаций. Отложения верхнего олигоцена и нижнего миоцена блока X Кылулонгского бассейна связаны со речной и озерной среде.

## Благодарности

Авторы приносят благодарность Ханойскому университету горного дела и геологии за поддержку данного исследования (под номером T22-13).

Таблице 1. 5 типа сейсмических фаций в районе исследования

Сейсмические фаций		Критерии характеристик поля сейсмических волн (1-амплитуда, 2-непрерывность, 3-частота, 4-внутренняя форма, 5-внешняя форма)
СФ 1		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая</li> <li>2. Высокая</li> <li>3. Высокая</li> <li>4. Параллельная</li> <li>5. Покровы</li> </ol>
СФ 2		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая</li> <li>2. Высокая</li> <li>3. Высокая</li> <li>4. Волнистая</li> <li>5. Холмы</li> </ol>
СФ 3		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Средняя</li> <li>2. Средняя – низкая</li> <li>3. Средняя</li> <li>4. Параллельная - хаотичная</li> <li>5. Покровы</li> </ol>
СФ 4		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Средняя</li> <li>2. Низкая</li> <li>3. Средняя</li> <li>4. Сложная сигмовидно-косослоистая</li> <li>5. Клинья</li> </ol>
СФ 5		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Средняя</li> <li>2. Низкая</li> <li>3. Средняя</li> <li>4. Хаотичная</li> <li>5. Линзы/Холмы</li> </ol>

## Библиография

1. Liner, C. L., & McGilvery, T. A. (2019). Seismic Interpretation in Petroleum Exploration. In The Art and Science of Seismic Interpretation (pp. 57-96). Springer, Cham.
2. Mitchum, R.M., Vail, P.R and Sangree, J. B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. Memoir 26, USA. American Association of Petroleum Geologist (AAPG).
3. Nguyen Hiep et al., 2019. The Petroleum Geology and Resources of Vietnam. – Science and Technics Publishing House. – 750 p.
4. Xu, G., & Haq, B. U. (2022). Seismic facies analysis: Past, present and future. Earth-Science Reviews, 224, 103876.

**Источники углеводородов триасовых отложений Восточного Предкавказья.**  
**Волкова П.А. \* Суюнбаев Т.Н (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, [polli12volkova639@gmail.com](mailto:polli12volkova639@gmail.com), [tema.bolat.91@mail.ru](mailto:tema.bolat.91@mail.ru) )**

**Аннотация**

В триасовых отложениях Восточного Предкавказья, относимых к переходному комплексу прогнозируется существенный потенциал для поисков углеводородов. Многочисленные признаки нефтегазоносности подтверждают его хорошие перспективы и указывают на существование генерационно-аккумуляционной углеводородной системы ( ГАУС) в этой части разреза.

Целью исследования является выделение потенциальных нефтегазоматеринских пород в триасовых отложениях в рамках изучения углеводородных систем и оценки перспектив нефтегазоносности. В задачи работы входило изучение палеогеографических условий формирования и геохимических характеристик триасовых пород.

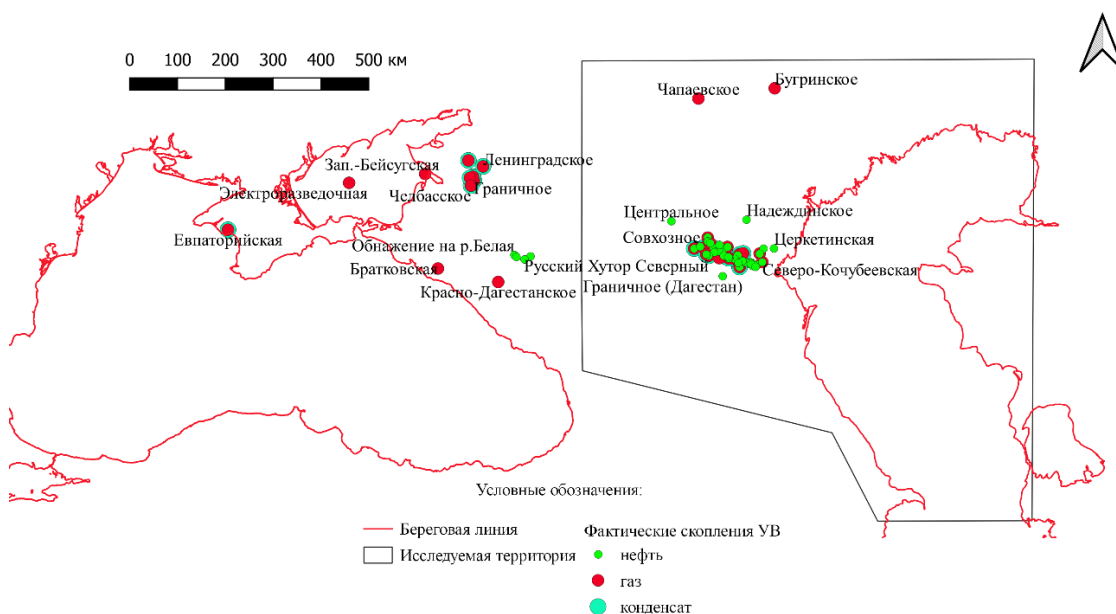
**Ключевые слова**

Триас, НГМТ, резервуары, углеводороды, Восточное Предкавказье.

**Теория**

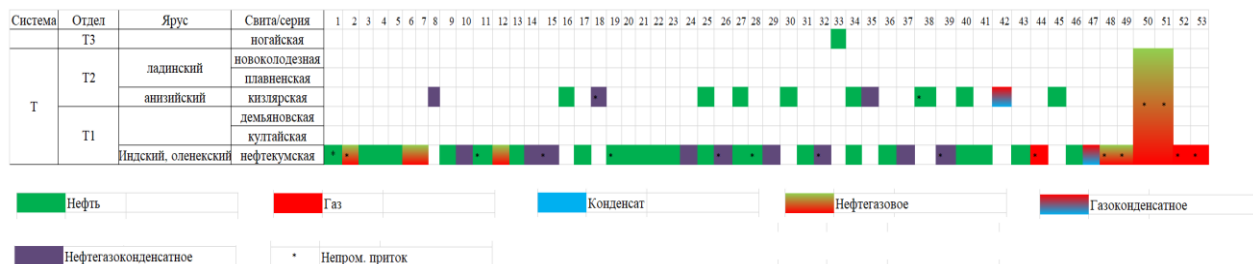
На территории Восточного Предкавказья продуктивными являются отложения переходного комплекса и плитного чехла. Для установления признаков нефтегазоносности триасовых отложений была сформирована база данных признаков нефтегазоносности, с целью изучения закономерностей их размещения и выделения вероятных ГАУС.

Промышленные скопления углеводородов установлены на 53 площадях (Величаевское, РХС, Надеждинское и т.д.). В основном они сосредоточены в центральной части Восточного Предкавказья, - в пределах зоны Манычских прогибов и Прикумской зоны поднятий (рис.1).



**Рисунок 1. Нефтегазоносность Восточного Предкавказья**

Основной ресурсный потенциал Восточного Предкавказья связан с нефтекумской свитой нижнего триаса, где коллекторы представлены карбонатными породами (рифовые и водорослевые известняки, пелитоморфные известняки, доломиты). На месторождениях Кулинское, Майли-Харанское, Сайгачное, Солончаковое, Сухокумское, Восточное Тианетское, Южно-Буйнакское, Величаевское, Песчаная, Северо-Кочубеевское и Совхозное, коллекторами являются терригенные отложения среднего триаса. Единственная залежь в верхнем триасе установлена на Совхозном месторождении в карбонатных отложениях. (рис. 2)

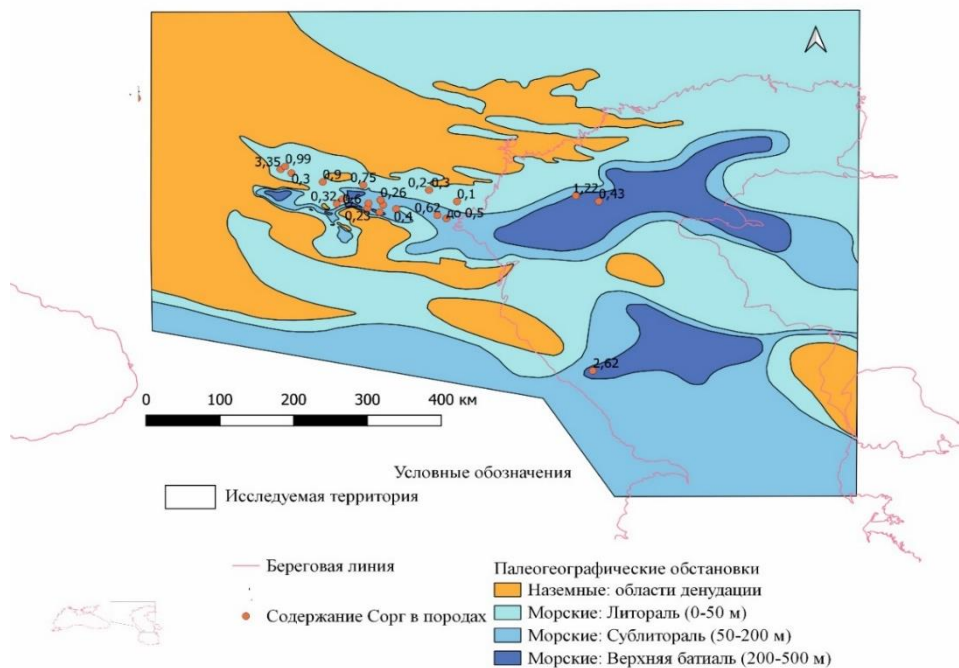


**Рисунок 2.** Распределение углеводородов различного типа в интервале триасовых образований Восточного Предкавказья. Цифрами обозначены площади разведочного бурения и месторождения: 1 - Церкетинская площадь, 2 - Колодезная площадь, 3 - Поварковское, 4 - Пушкарское, 5 - Байджановское, 6 - Величаевско-Колодезное, 7 - Восточно-Безводненское, 8 - Восточно-Сухокумское, 9 - Восточно-Юбилейное, 10- Восход, 11- Граничное (Дагестан), 12 - Зимне-Ставкинско-Правобережное, 13 - Казбековское, 14 - Каневско-Лебяжье, 15 - Кочетовское, 16 - Кулинское, 17 - Кумухское, 18 - Майли-Харанское, 19 - Надеждинское, 20 - Наказухское, 21 - Озерное, 22 - Октябрьское, 23 - Путиловское, 24 - Равнинное, 25 - Раздольное, 26 - Расшеватское, 27 - Рифовое, 28 - Рифовое Восточное, 29 - Русский Хутор (поле Русский Хутор Сев.), 30 - Сайгачное, 31 - Северо-Юбилейное, 32 - Северо-Шаджинское, 33 - Совхозное, 34 - Солончаковое, 35 - Сухокумское, 36 - Таловское, 37 - Тианетское, 38 - Тианетское Восточное, 39 - Урожайиненское, 40 - Центральное, 41 - Южно-Кумухское, 42 - Южно-Буйнакское, 43 - Южно-Таловское, 44 - Молодежное, 45 - Величаевское, 46 - РХС, 47 - Гаруновское, 48- Эбелекское, 49- Ново-Колодезная, 50- Песчаная, 51 - Северо-Кочубеевское, 52 - Бугринское, 53 – Чапаевское

Нефтегазоматеринские свойства триасовых отложений анализировались на основании опубликованных результатов геохимических исследований.

Нефтекумская свита сложена известняками различной плотности, органогенно-обломочными, пелитоморфными, мраморизованными и доломитизированными, с прослоями в нижней части мергелей, реже алевролитов и аргиллитов. Накопление их происходило в морском бассейне, в условиях полусухого жаркого климата, не совсем благоприятном для накопления и преобразования ОВ [1]. Содержание ОВ в карбонатных породах не высокое (С орг. — 0,23 %), относительно повышенные содержания органического углерода отмечаются в аргиллитах (Сорг- 0,62%, и в мергелях (Сорг-0,69%) [2]. Отложения нижнего триаса, относимые к оленекскому ярусу, представлены глинистыми, органогенно-обломочными и пелитоморфными известняками, мергелями и аргиллитами с незначительными прослоями песчано-алевролитовых пород, формирование которых происходило в морских прибрежно-мелководных, а также частично континентальных и лагунных условиях [4]. Отложения отличаются наиболее высоким содержанием С орг. (до 3%) и ХБ (в среднем 0,055%)

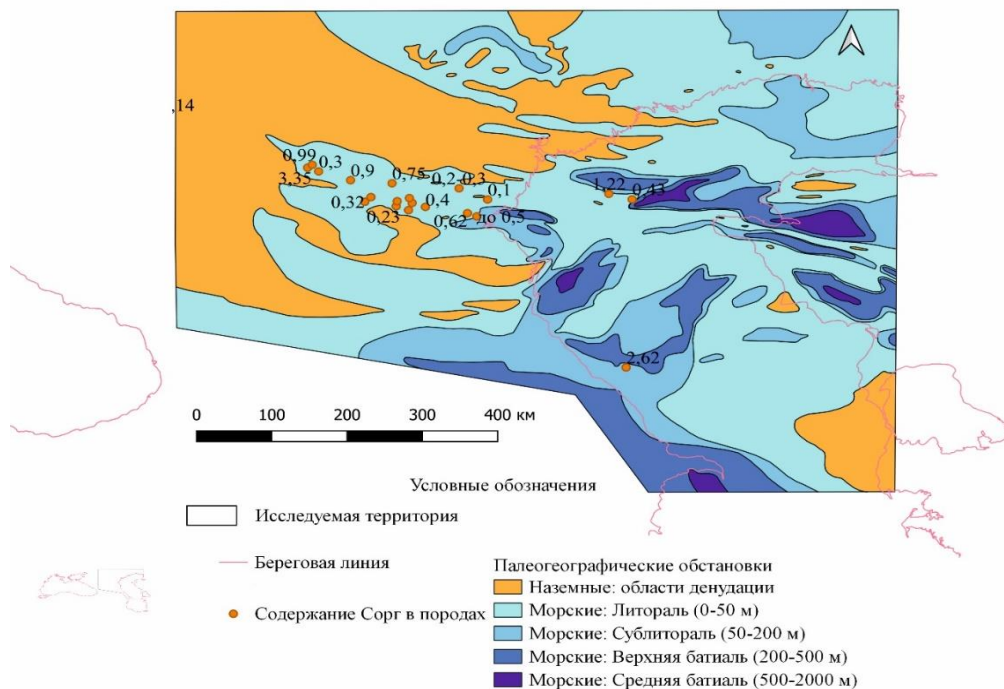
[2]. Анализ построенных в рамках настоящего исследования палеогеографических карт показал, что в раннем триасе была отмечена тенденция увеличения содержания Сорг, с глубиной палеобассейна (Рис.3) [3]. Среднее содержание Сорг закономерно увеличивается до 0,99 % в северо-западном и до 0,62 % в юго-восточном направлениях — в сторону увеличения глубины бассейна осадконакопления. Отложения представлены преимущественно карбонатными породами (известняками и доломитами).



**Рисунок 3.** Палеогеографические условия на период раннего триаса

Отложения среднего триаса представлены однородной толщей темно-серых глинистых и известняково-глинистых пород, формировавшихся в мелководно-морских условиях влажного климата, в которых происходила садка преимущественно тонкооблачного материала с примесью растительных остатков [1]. Отложения характеризуются повышенным содержанием Сорг- 0,53%, содержание ХБ – 0,0076 [2]. Эффузивно-осадочные образования верхнего триаса (ногайская свита) представлены туфами и туфогенными пестроцветными алевролитами и аргиллитами. Формировались они в условиях окисно-сидеритовых и сульфидно-окисно-сидеритовых фаций, о чем свидетельствует увеличение в балансе железа его окисных форм и незначительное преобладание закисного железа над окисным (1,29— 0,33% и 0,28—0,11% для песчаных пород, 3,06—2,06% и 1,71—0,72 для пелитовых разностей) [1]. Среднее содержание Сорг составляет 0,43%, ХБ- 0,0035%. Битумоид маслянисто-смолистый и маслянистый [2]. Также, как и в нижнетриасовых отложениях содержание органического углерода увеличивается с глубиной бассейна (рис.4). Максимальные количества Сорг. в глубоководных фациях в пределах современной акватории Каспийского моря.





**Рисунок 4.** Палеогеографические условия на период среднего-позднего триаса

## Выводы

На основании проведенного комплексного анализа признаков нефтегазоносности, геохимических характеристик и результатов проведенных палеогеографических реконструкций показано, что потенциальными нефтегазоматеринскими породами вероятных триасовых ГАУС могут являться отложения куманской (пермо-триас) свиты, култайской и демьяновской свит оленекского яруса нижнего триаса, а также отложения кизлярской свиты анизийского яруса среднего триаса. Вклад каждой потенциальной НГМТ в углеводородный потенциал триасовой части переходного комплекса будет оценен в результате численного моделирования ГАУС на следующем этапе исследований.

## Библиография

1. Геология и нефтегазоносность доюрских образований Восточного Предкавказья: Учебное пособие. / [Ф. Г. Шарафутдинов и др.] ; Под ред. Д.А. Мирзоевой. Махачкала.: 1978 г. – 124 с.: ил., табл.
2. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. – Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. - М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2004. - 342 с.: ил.
3. Серов А.В. – Геолого-геохимические условия нефтегазоносности пермо-триасового комплекса Восточного Предкавказья: дисс. на соискание ученой степени кандидата геолого- минералогических наук: 25.00.12: Ставрополь, 2000.- 70 л.
4. Скрипнюк О.В. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности мезозойских отложений зоны Манычских прогибов и южного склона кряжа Карпинского : дисс. на соискание ученой степени кандидата геолого- минералогических наук: 25.00.12: Краснодар, 2010.- 190 л.

***Условия формирования и распространения «сланцевых» скоплений углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе по результатам численного бассейнового моделирования. Вяткина Е.В. \* (МГРИ, liza.vyatkina.2000@mail.ru), Сагдеев Р.Р. (МГРИ, r-sagdeev@mail.ru), Шатыров А.К. (МГРИ, anar.shatytrov@mail.ru)***

### **Аннотация**

В последнее время нефтегазоматеринские породы все чаще рассматриваются в качестве объекта непосредственной добычи из них углеводородов. Эти объекты называют нетрадиционными или сланцевыми скоплениями углеводородов.

Все такие скопления имеют некоторые общие черты. С одной стороны, это высококачественные достаточно зрелые материнские породы, содержащие углеводороды, которые можно добыть, с другой, — это достаточно хрупкие отложения, позволяющие провести гидроразрыв пласта и получить хорошие притоки в скважинах. Генерация углеводородов создает более высокое поровое давление и микротрещины, которые в дальнейшем позволяют нефти и газу двигаться в породе с крайне низкой (нано дарси) проницаемостью.

### **Ключевые слова**

Кумская свита, Черноморско-Каспийский регион, сланцевые скопления УВ, моделирование.

### **Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № АААА-А20-120092590017-4.

### **Теория**

Условия формирования и распространения «сланцевых» скоплений углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе изучались на примере кумской свиты, которая, как показали результаты выполненного комплексного бассейнового анализа, и моделирования самостоятельной традиционной ГАУС в отложениях эоцена, может рассматриваться в качестве перспективного объекта для поиска сланцевых скоплений углеводородов на территории Восточного Предкавказья.

Для изучения и оценки углеводородного потенциала сланцевых кумских отложений выполнено численное моделирование по специальной методике, рекомендованной Шлюмбереже [3], [4]. В качестве основы для построения карт по каждому критерию оценки использовались соответствующие рассчитанные в модели покрытия.

После моделирования и анализа полученной информации, были выбраны критерии скрининга сланцевой толщи и значения для выделения «Sweet Spots» по каждому критерию. Комплекс критериев включает: индекс TR, АВПД, глубину залегания, вторичную пористость, пластовую температуру, удельные плотности (в млн. т УТ) свободных и сорбированных углеводородов в пластовых условиях, в том числе с разделением по типу флюида [1], [2].

Далее по каждому критерию были построены карты и выделены зоны, которые являются более благоприятными для поиска сланцевых скоплений

На следующем этапе карты по каждому критерию были преобразованы в grids с выделением перспективных и не перспективных областей. Оценочные параметры по каждому критерию приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценочные параметры

Критерий	Предпочтительное значение критерия	Значения грида (перспективность)		
		Перспективные области	Мало-перспективные области	Не перспективные области
Индекс TR	> 20%	1 (> 20%)		0,5 (< 20%)
Пластовая температура	>110°C	1 (>110°C)		1 (< 110°C)
Глубина залегания	0-2000 м	1 (0-2000 м)	0,7 (2000-4000 м)	0,5 (<4000м)
Вторичная пористость	> 2%	1 (> 2%)		0,5 (<2%)
АВПД	7-10МПа	1 (7-10МПа)	0,7 (3-5 МПа)	0,5 (<3 МПа)
Объем свободных УВ	>0,8 млн т УТ	1 (>0,2 млн т УТ)		0,5 (<0,2 млн т УТ)
Объем адсорбированных УВ	>0,8 млн т УТ	1 (>0,8 млн т УТ)		0,5 (<0,8 млн т УТ)

Для выделения «Sweet Spots» перемножались grids по критериям индекс TR, АВПД, глубина залегания, вторичная пористость, пластовая температура, с удельными плотностями (в млн. т УТ) свободных, а также с удельными плотностями сорбированных углеводородов в пластовых условиях.

Пороговыми значениями для выделения «Sweet Spots», по свободным УВ принято значение 0,35, по адсорбированным – 0,25 (Рисунки 1 и 2).

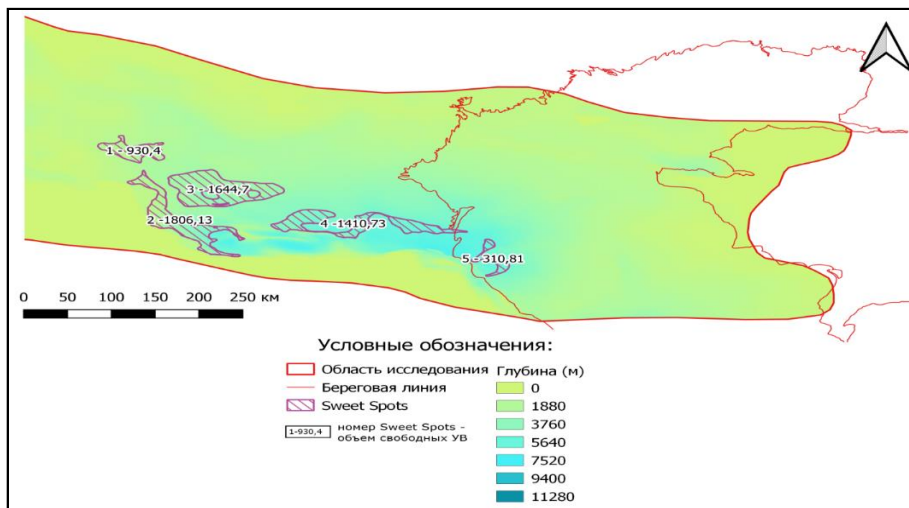


Рисунок 1 - «Sweet Spots» по свободным УВ

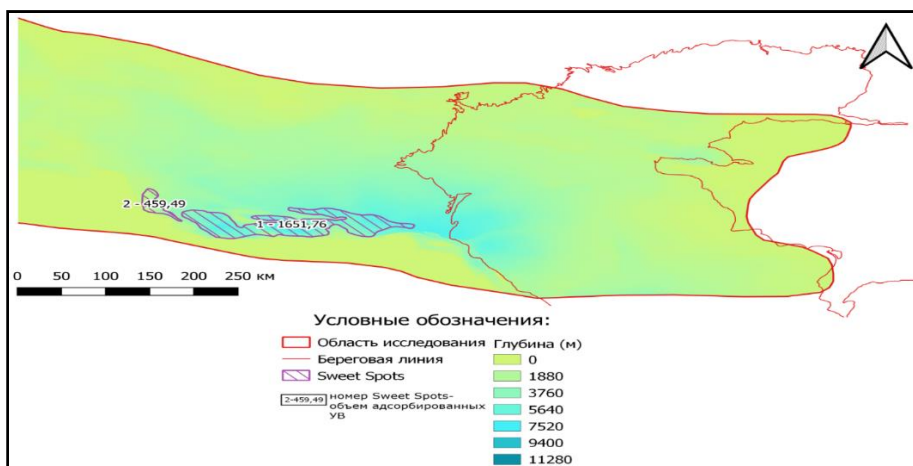


Рисунок 2 - «Sweet Spots» по адсорбированным УВ

В результате были выделены пять перспективных областей с общим объемом свободных углеводородов в пластовых условиях около 6,1 млрд. т. УТ и две перспективные области с общим объемом сорбированных УВ около 2 млрд. т. УТ (Таблица 2).

Таблица 2 - Посчитанные объемы УВ

Тип УВ	Объем (млн. т УТ)
Свободные УВ	6102,81
Адсорбированные УВ	2111,25

## Выводы

По совокупности показателей первоочередными для вовлечения в разработку рекомендованы области 1 и 3, с наиболее высокими оценками свободных углеводородов в пластовых условиях, а также характеризующиеся относительно спокойным структурным планом. В структурно-тектоническом отношении они

располагаются в пределах Восточно-Ставропольской ступени и западной части Чернолесской впадины соответственно.

Следует отметить, что полученные оценки объемов УВ в пластовых условиях достаточно условные и в значительной степени зависят от качества органического вещества сланцевой кумской толщи. Для получения более достоверных сведений требуются дополнительные геохимические исследования органического вещества и физико-механических свойств толщи. Практическая значимость полученных в рамках проекта результатов состоит в том, что эти дополнительные исследования нужно выполнять в пределах рекомендованных перспективных областей, что позволит существенно оптимизировать временную и финансовую составляющую ГРП.

### **Благодарности**

Выражаю благодарность своему научному руководителю Лавреновой Елене Александровне.

### **Библиография**

1. Ступакова А.В. К оценке ресурсов и запасов сланцевой нефти (А.В. Ступакова, Г.А. Калмыков, Н.П. Фадеева и др.) Вестник Московского университета. Сер. 4, Геология, 2015, № 3, с. 3-10.
2. Dolson J. Understanding Oil and Gas Shows and Seals in the Search for Hydrocarbons, 2016.
3. Kerimov V.Y., Osipov A.V., Mustaev R.N., Monakova A.S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure // 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014: 16, Gelendzhik, 08–11 сентября 2014 года. – Gelendzhik, 2014. – EDN UFDNNF.
4. Kerimov V.Y., Bondarev A.V. Especially the use of the basin modelling technologies in geological conditions of gelatinase, magmatic and erosion processes // 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014: 16, Gelendzhik, 08–11 сентября 2014 года. – Gelendzhik, 2014. – EDN UFDPQF.

*Анализ и характеристика эоцен-палеоценовых генерационно-аккумуляционных углеводородных систем Черноморско-Каспийского региона по результатам бассейнового анализа и численного моделирования. Вяткина Е.В.\* (МГРИ, liza.vyatkina.2000@mail.ru), Лавренова Е.А. (МГРИ, lavrenovaelena@mail.ru)*

### Аннотация

В Черноморско-Каспийском регионе со сложным геологическим строением и геодинамическим развитием были созданы весьма сложные условия для развития и распространения генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС).

С целью проверки гипотезы существования самостоятельной эоцен-палеоценовой ГАУС с кумской НГМТ и оценки ее потенциала, выполнено численное моделирование. В задачи моделирования также входило выявление новых зон накопления УВ и анализ заполняемости выделенных геофизическими методами перспективных объектов антиклинального типа.

### Ключевые слова

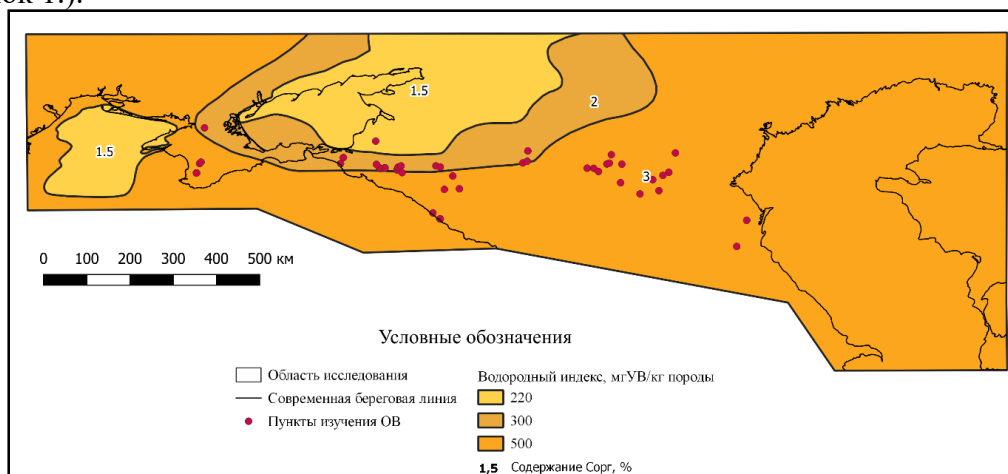
ГАУС, палеоцен-эоцен, кумская свита, Черноморско-Каспийский регион, моделирование

### Источники финансирования

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № АААА-А20-120092590017-4.

### Теория

Для моделирования была подготовлена карта распределения органического углерода и водородного индекса кумской свиты эоцена, учитывающие имеющиеся геолого-геохимические данные и проведенные палеогеографические реконструкции (Рисунок 1).



*Рисунок 1. - Карта распространения нефтегазоматеринских свойств палеогеновых отложений*

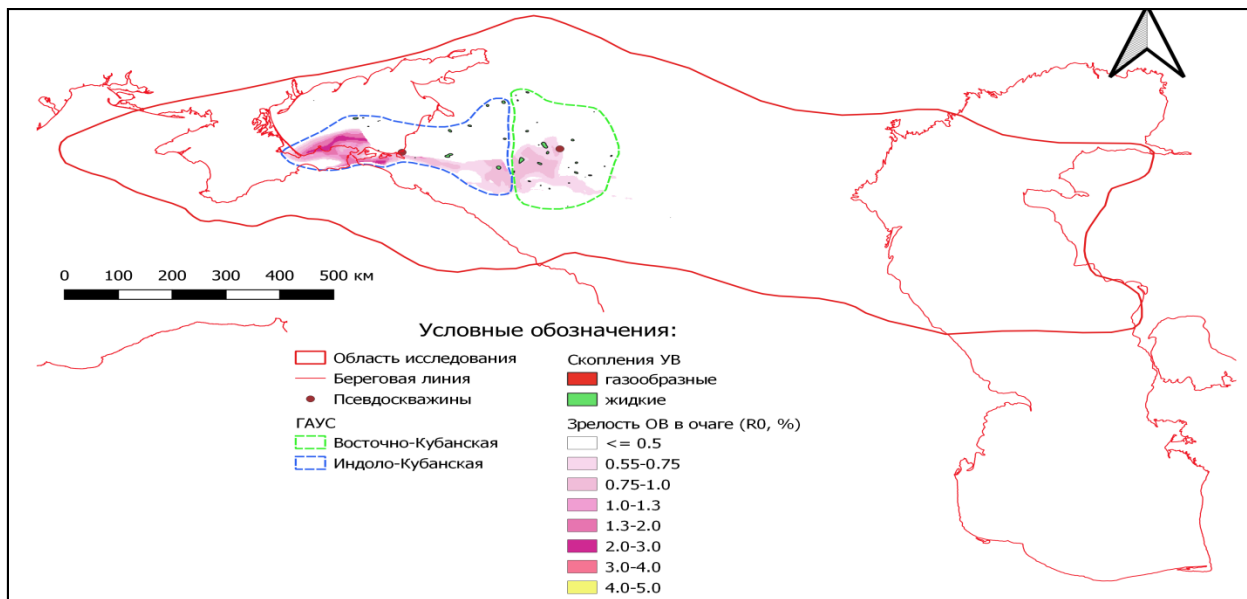
В результате проведенного анализа и обобщения в составе кумской свиты выделены и закартированы три фациальных типа НГМТ: терригенная, карбонатная и переходная, различающиеся содержанием органического углерода и значениями водородного индекса. Было показано также, что различия палеогеографических условий формирования кумских отложений не оказывают существенного значения на качество НГМТ[3], [4].

Как показали результаты выполненного моделирования кумская НГМТ в значительной степени выработала свой генерационный потенциал на современном этапе развития.

В пределах изучаемой территории, в период с майкопа по плиоцен НГМТ преодолевала критический момент по мере погружения и эволюции осадочных бассейнов. В областях, расположенных в западной части Индоло-Кубанского и Восточно-Кубанском бассейне ОВ кумской свиты преобразовано в меньшей степени. НГМТ здесь не преодолела критического момента до настоящего времени.

В пределах области моделирования выделено две вероятных эоцен-палеоценовых ГАУС с кумской НГМТ, которые располагаются на территории Западного Предкавказья: Индоло-Кубанская (.) и Восточно-Кубанская (.) (Рисунок 2). Несмотря на наличие крупных очагов генерации, расположенных в Терско-Каспийском, Керченско-Таманском, Туапсинском прогибах, эоцен-палеоценовые ГАУС с кумской НГМТ не были сформированы. Это обусловлено, главным образом отсутствием резервуаров в составе карбонатных отложений палеоцена-эоцена в пределах этих территорий. Резервуары гранулярного типа, развиты в пределах Восточно-Ставропольской впадины. Тем не менее, углеводородная система здесь также не сформирована из-за развития кумской НГМТ в карбонатной фации. В целом, карбонатные НГМТ прочнее удерживают углеводороды по сравнению с глинистыми, особенно на ранних этапах генерации. Кроме этого, с учетом современных РVT условий, давления флюида, очевидно недостаточно, чтобы обеспечить миграцию УВ в стратиграфически более молодой резервуар. [1], [2].

Зрелость ОВ очагах выделенных ГАУС соответствует главной зоне генерации нефти за исключением западной части Индоло-Кубанского прогиба, где уровень зрелости органического вещества соответствует стадии преимущественной генерации газа. В наиболее погруженной части Индоло-Кубанского прогиба НГМТ истощена.



**Рисунок 2 - Карта эоцен-палеоценовых ГАЗС с кумской НГМТ**

В соответствии с установленными геохимическими характеристиками и уровнем зрелости в углеводородных системах прогнозируются преимущественно газонефтяные скопления углеводородов с различным соотношением жидких и газообразных УВ

### Выводы

Обе ГАЗС принадлежат осадочным бассейнам, испытавшим устойчивое последовательное погружение в течение всей эволюции – с юрского по настоящее время.

Аккумуляция углеводородов в системах началась примерно в одно время – во второй половине неогена. В плиоцене в пределах области распространения Восточно-Кубанской (.) ГАЗС произошли тектонические события, которые привели к изменениям структурных планов и разрушению части, сформированных ранее скоплений, однако основной накопленный потенциал сохранился.

### Благодарности (на ваше усмотрение)

Выражаю благодарность своему научному руководителю Лавреновой Елене Александровне.

### Библиография

1. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Обухов А.Н. Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона. М., Научный мир, 2007, 465 172 с.
2. Глумов И. Ф., Гулиев В. Л., Сенин Б. В., Карнаухов С. М. Региональная геология и перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины и прилегающих шельфовых зон. Под ред. Б. В. Сенина. В 2-х частях. М., Изд. Дом Недра, 2014. 4.1, 279 с.; 4.2, 181 с



3. Дистанова Л.Р. Геохимия органического вещества эоценовых отложений: на примере кумской свиты Крымско-Кавказского региона: дис. на соискание уч. степени канд. геол. -мин. наук // - М., 2007.

4. Луканова О.О. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности палеоцен-эоценовых отложений Центрального и Восточного Предкавказья: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук // Краснодар, 2011. – 168 с.

*Седиментационное моделирование ачимовских отложений месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Грибанов Д.А.\* (Санкт-Петербургский горный университет, danila.gribanov34@gmail.com), Нефедов Ю.В. (Санкт-Петербургский горный университет, nefedov\_yuv@pers.spmi.ru), Востриков Н.Н. (Санкт-Петербургский горный университет, s190872@stud.spmi.ru)*

## **Аннотация**

Относительно недавно к набору инструментов геолога-модельера в Petrel добавился модуль моделирования геологических процессов (GPM). Модуль дает возможность провести цифровое моделирование природных процессов эрозии, переноса и осаждения обломочных отложений. Полученные результаты характеризуют ожидаемую геометрию отложений, распределение литологии в следствии изменения уровня моря, палеогеографии, палеоклимата, тектоники и скорости поступления осадочного материала. Седиментационное моделирование базируется на численном моделировании стационарного потока, процессах механического выветривания горных пород, перераспределения, уплотнения, накопления осадочного материала. Наблюдаемый результат может быть использован для уточнения фациальной модели, определения седиментационной архитектуры резервуара.

В данной работе проводилось моделирование глубоководных конусов выноса ачимовских пластов одного из месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Метод седиментационного моделирования позволил получить модель, которая отражает формирование элементов седиментационной системы, а также предположить новые перспективные области для изучения и разведки в данном районе.

## **Ключевые слова**

Седиментационное моделирование, ачимовские отложения, глубоководные конусы выноса, сейсмофациальный анализ.

## **Теория**

Седиментационное моделирование – вычислительный метод, направленный на моделирование процессов эрозии, переноса и осаждения терригенного материала. Данная технология основана на численном моделировании физических процессов переноса осадочных отложений реками, мутьевыми потоками, морскими течениями, и позволяет создавать реалистичные трехмерные фациальные модели [4].

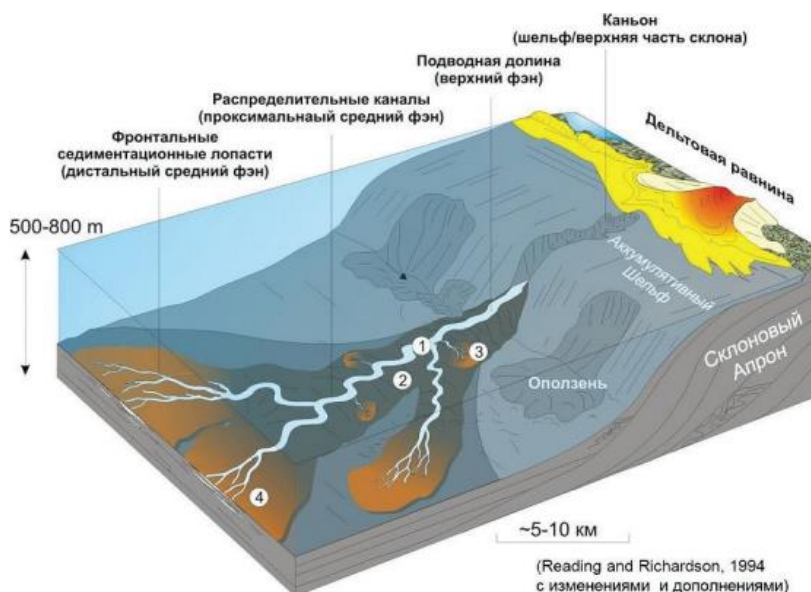
Используемая технология представляет собой экспериментальный симулятор Geological Process Modeling (GPM). Плагин введен в программу для геологического моделирования Petrel компании Schlumberger в 2017 году. Модуль позволяет воспроизводить историю формирования осадочных отложений или различных элементов седиментационной системы, основываясь на множестве различных геологических сценариев [3, 5].

Метод седиментационного моделирования помогает проследить эволюцию осадочных тел в течении геологического времени, а следовательно, помимо скважинной и сейсмической информации необходим анализ истории геологического

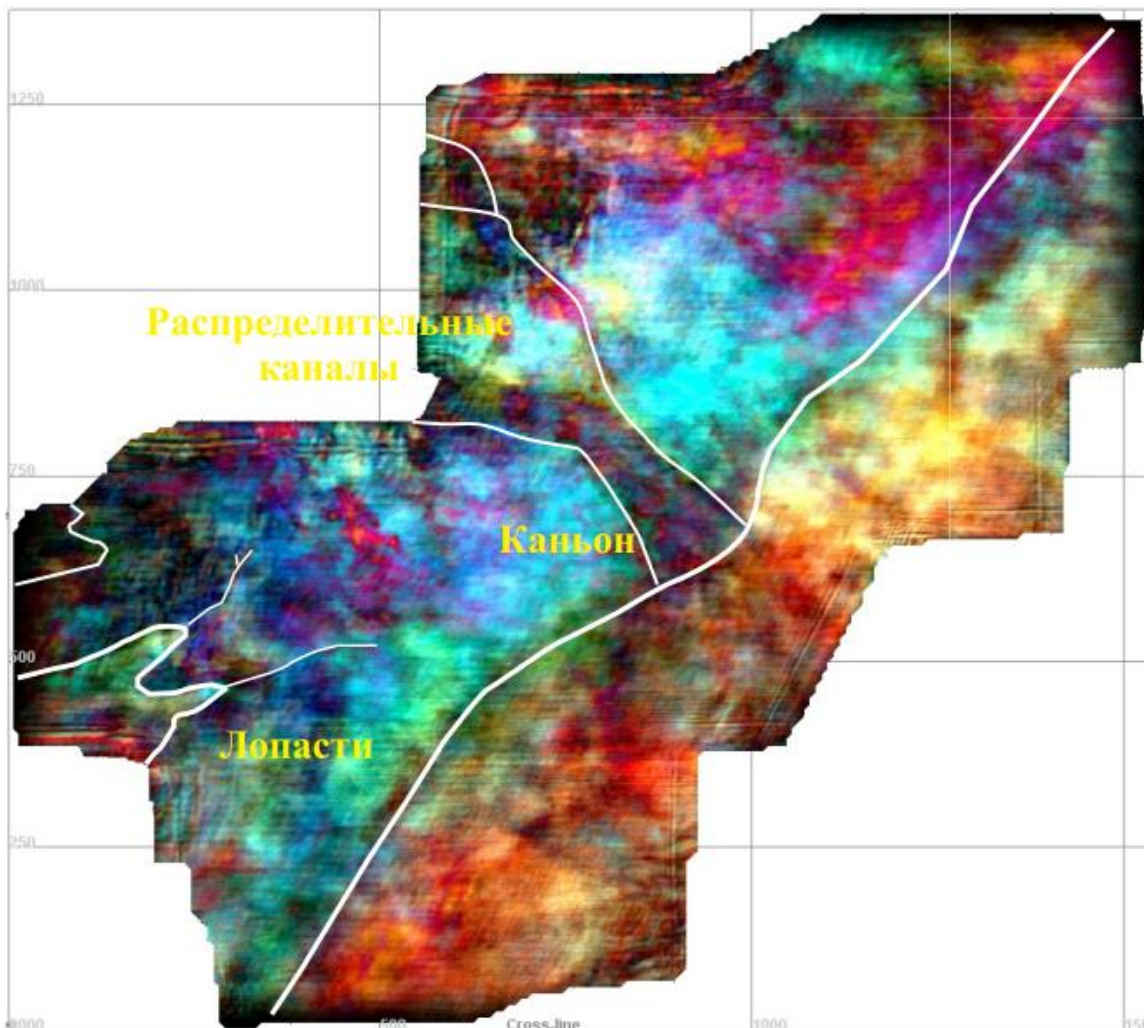
развития. Исходными данными для реконструкции процесса седиментации являются: колебания уровня моря, климатические и палеогеографические условия, параметры транспортировки вещества, скорости переноса и осаждения терригенного материала, источники сноса. При проведении моделирования геологических процессов в GPM первостепенно определяются временные границы процесса. Важнейшим фактором в достоверности полученных результатов является корректное восстановление гипсометрии палеоповерхности, которая определяет интенсивность эрозионных процессов. Палеоповерхность восстанавливается на основе структурных поверхностей, полученных по результатам интерпретации сейсмических данных, с учетом поправок глубин по локальным палеогеографическим схемам. На полученной карте определяются источники сноса – области, в которых начинается перенос осадочного вещества, в пределах моделируемой территории. Впоследствии, описывается процесс переноса и осаждения вещества и вариаций уровня моря [1].

Важным моментом проведения моделирования является четкое понимание конечного результата и грамотно построенная концептуальная модель. Рассматриваемый объект относится к глубоководным конусам выноса. Для него характерно наличие основных элементов: каньонов, питающих и распределительных каналов, лопастей (рисунок 2).

По мнению большинства исследователей, ачимовская толща образовалась в процессе бокового заполнения относительно глубоководного бассейна и имеет клиноформенное строение [2]. Обломочный материал поступал, в основном, со стороны окружающих Западно-Сибирскую платформу с востока, юго-востока, северо-востока горных образований Таймыра, Енисейского кряжа, Сибирской платформы, Алтае-Саянской складчатой области. Ачимовские отложения формировались аналогично глубоководным турбидитам, однако выделяется несколько отличий, главное из которых – значительно меньшая глубина седиментации (рисунок 1). Неоднородность ачимовской толщи объясняется цикличностью процессов ее образования.



**Рисунок 1.** Принципиальная схема формирования ачимовских отложений Западной Сибири. 1 – Подводное русло, 2 – Прирусловый вал, 3 – Конус перелива, 4 – Турбидитовые конусы выноса [1].



**Рисунок 2.** Карта RGB-смешивания результатов спектральной декомпозиции для частот 15, 25, 35 Гц для пласта АчЗ

## Выводы

Седиментационное моделирование в модуле GPM предлагает новый подход к построению динамической модели, с помощью которой возможно подтвердить и улучшить концептуальную модель месторождения. Использование симулятора геологических процессов позволяет создать реалистичную архитектуру турбидитной системы. В результате моделирования получена модель, которая отражает формирование элементов глубоководных конусов выноса ачимовской толщи и может быть использована для дальнейшего геостатистического моделирования фаций и петрофизики. Полученный результат согласуется с данными сейсмофацильного анализа и бурения. Данный метод открывает положительные перспективы для более надежного создания геологических моделей.

## Библиография

1. Ольнева Т.В., Жуковская Е.А. Седиментационное моделирование в программном комплексе Petrel. М.: Издательство МАИ, 2022. – 216 с.: ил. ISBN 978-5-4316-0913-8;

2. Гулари Ф. Г. Строение и условия образования клиноформ неокомских отложений Западно- Сибирской плиты (история становления представлений). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. – 140 с

3. Anindita I. Reservoir Prediction and Controlling Factors of the Cenozoic Deepmarine System at the Sørvestsnaget Basin, Southwest Barents Sea // August 2019 Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering Department of Geoscience and Petroleum;

4. Acevedo A., Madhoo H. A., Khramtsov A., Noomee L., and Tetzlaff D. M. Techniques to Understand Reservoirs Associated with Deepwater Sedimentological Processes, from Basin to Field Scale – A Case Study/Schlumberger. 2014 // International Petroleum Technology Conference. This paper was prepared for presentation at the International Petroleum Technology Conference held in Kuala Lumpur, Malaysia, 10–12 December 2014. IPTC-18016-MS;

5. Otoo D., Hodgetts D. Applying forward stratigraphic modeling approach to enhance facies characterization and fluid mobility prediction in geological models of basin floor fans. Basin Analysis and Petroleum Geoscience Group, School of Earth and Environmental Sciences, Williamson Building, Oxford Road, Manchester. M13 9PL. United Kingdom. 2018.

*Геологическая характеристика и перспективы нефтегазоносности нижнетриасовых отложений Сарпинского прогиба Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Гутман И.С. (ООО «ИПНЭ», [mail@ipne.moscow](mailto:mail@ipne.moscow)), Биктагиров В.К.\* (ООО «ИПНЭ», [biktagirov@ipne.moscow](mailto:biktagirov@ipne.moscow)), Рахимова Е.В. (МГРИ, [rahimovaev@mgri.ru](mailto:rahimovaev@mgri.ru)), Потемкин Г.Н. (МГРИ, [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)), Руднев С.А. (МГРИ, [rudnevs@mgri.ru](mailto:rudnevs@mgri.ru))*

## Аннотация

Сарпинский прогиб расположен в пределах трех субъектов России: Волгоградской, Астраханской областей и Республики Калмыкия. В тектоническом отношении расположен на юго-западе Прикаспийской синеклизы, морфологически выражен по всем структурным комплексам, в том числе по фундаменту. Объектом исследований являются терригенные отложения индского яруса и терригенно-карбонатные отложения оленекского яруса нижнего триаса, залегающие на глубинах от 850 до 1500 м, с моноклинальным погружением на северо-запад от Астраханского свода.

Еще в 60-х годах XX столетия из триасовых отложений были получены фонтаны газа на куполах Пустынный, Совхозный, Чапаевский, Бугринский, Шаджинский. К настоящему времени в нижнетриасовых отложениях установлено 3 нефтегазоносных горизонта: один приурочен к кровле индского яруса (ветлужская серия) и 2 к нижней части оленекского яруса (баскунчакский горизонт/серия). Скопления углеводородов в надсолевом комплексе связывают преимущественно с крупными региональными разломами, но до сих пор остается дискуссионным вопрос о генерационном потенциале надсолевых отложений. Проведенные авторами исследования на одной из структур, расположенной на северо-западе Сарпинского прогиба, показали, что глинисто-карбонатные отложения оленекского яруса содержат органическое вещество, значение коэффициентов зрелости которого соответствуют началу главной зоны нефтеобразования, что подтверждает гипотезу о наличии нефтематеринской свиты собственно в оленекском ярусе.

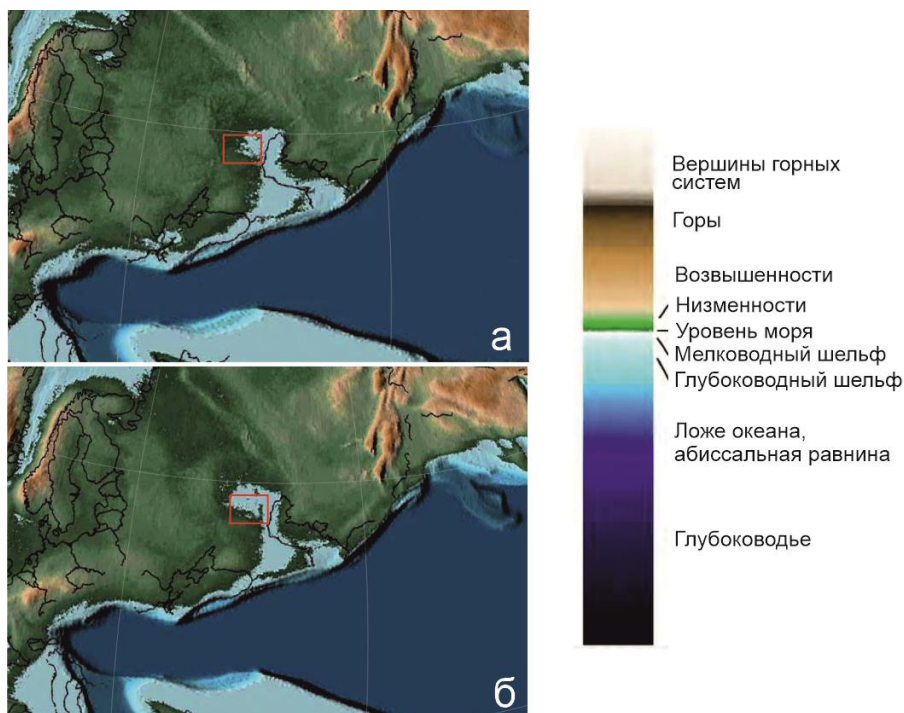
## Ключевые слова

Сарпинский прогиб, оленекский ярус, индский ярус, нефтематеринская порода, нефтегазоносность

## Теория

В индском веке в пределах Прикаспийской впадины существовали два изолированных бассейна: континентальный на севере и морской на юге (рис. 1а), водоразделом которых являлись две соединяющиеся между собой крупные палеоструктуры: вал Карпинского и Южно-Эмбенское поднятие, являющиеся основными источниками сноса [3]. Дополнительным источником сноса служила Воронежская антеклиза. Разрез отложений представлен переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых пород (рис. 2). Песчаники нескольких разновидностей: серые кварцевые мелкозернистые; зеленовато-серые мелкозернистые доломитово-глинистые или карбонатные; кирпично-красноватые мелкозернистые карбонатные. Алевролиты буро-коричневого цвета неравномерно песчанистые, карбонатные, прослоями

обогащенные углефицированным растительным детритом, преимущественно косошлойстые, с многочисленными тонкими (<0,5-1,0 мм) прослойками аргиллитов. Толщина отложений индского яруса изменяется от 58 до 65 м. Пористость изменяется от 1,78%-30,42%, проницаемость  $0,001 \cdot 10^{-3} - 4331 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.



**Рисунок 10.** Палеогеографическая реконструкция на начало (а) и конец (б) раннего триаса в проекции 3D Orthographic по данным Scotese [4]. Красным прямоугольником выделена область исследований.

С раннеоленекским временем связано начало усиления прогибания всей территории Прикаспийского региона, которое привело к возникновению постоянного водообмена с океаном Тетис, расположенным южнее. К середине оленекского времени усиливавшееся опускание территории и подъем уровня вод морского бассейна, расположенного южнее, обусловили ингрессию моря в юго-западную часть территории через погружившуюся часть водораздела (рис. 1б), обеспечив достаточные спокойные гидродинамические условия и заселение разнообразными организмами ингрессионного мелководного бассейна. Последующее постепенное опреснение привело к исчезновению многих видов организмов. Позднеоленекское время характеризуется расширением морской трансгрессии, связанным с дальнейшим погружением территории и подъемом уровня вод за счет водообмена с океаном Тетис. К этому времени водораздел перестал существовать, и в пределах Прикаспийской впадины образовался единый морской бассейн.

Разрез отложений оленекского яруса представлен тремя пачками: нижняя – глинистая (ахтубинская свита), средняя – сероцветная известняково-глинистая (богдинская свита) и верхняя – красноцветная терригенная (енотаевская свита). Нижняя пачка является флюидоупором для нижележащих продуктивных отложений индского яруса. Средняя пачка представлена переслаиванием аргиллитов и известняков с подчиненными прослоями алевролитов и песчаников (рис. 2). Верхняя пачка представлена переслаиванием аргиллитов, песчаников, алевролитов, редко известняков. Толщина отложений оленекского яруса составляет 124-151 м. Отложения оленекского яруса имеют большую площадь распространения, чем индского. В целом породы

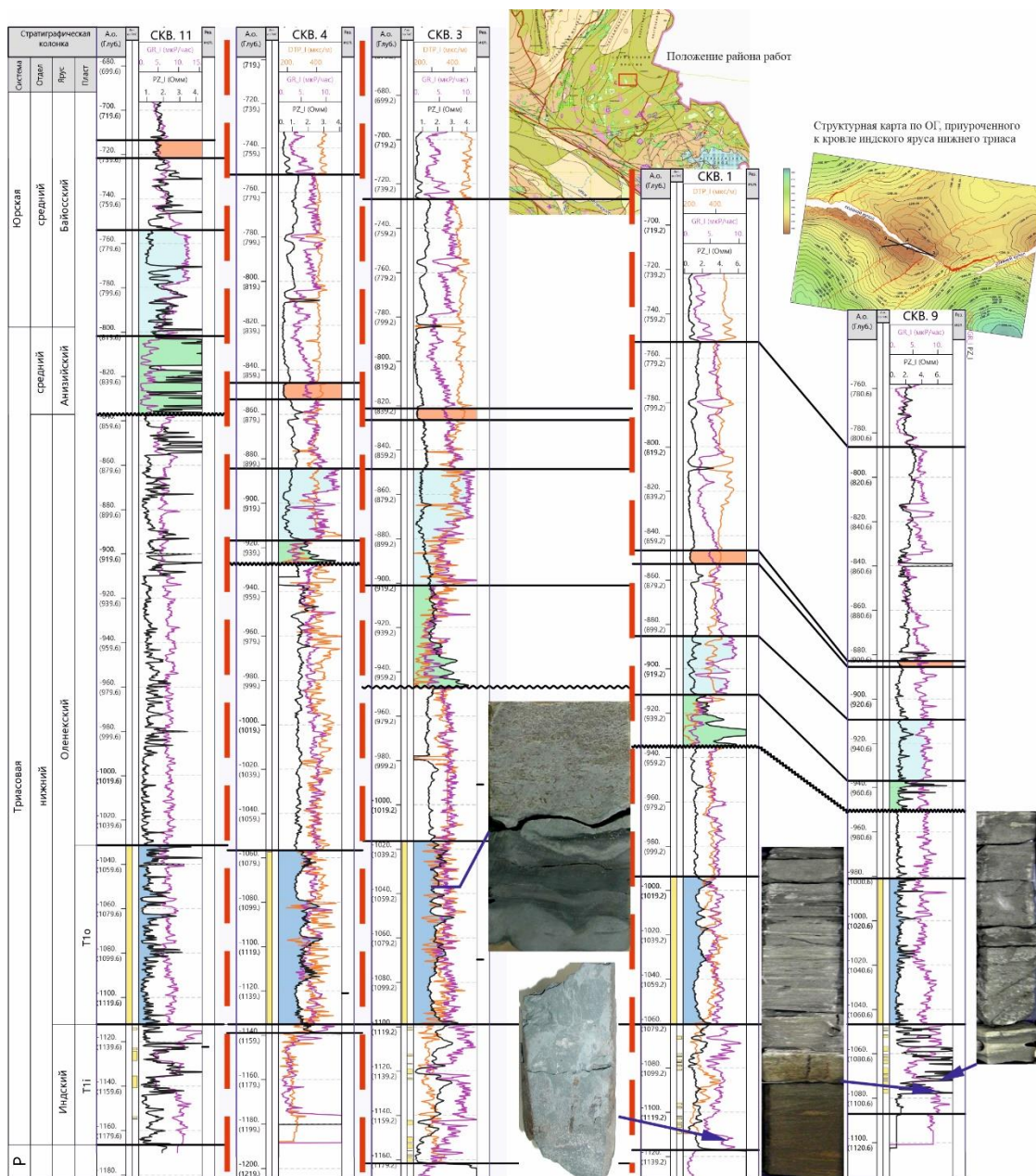
характеризуются пористостью 3,64%-32,17%, проницаемостью до  $0,03 \cdot 10^{-3} - 222,4 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Авторами проанализирован керновый материал и результаты геохимических исследований, которые были привязаны к данным детальной корреляции разрезов скважин изучаемого объекта (рис. 2). Геохимические исследования по составу полициклических биомаркеров флюида, экстрагированного из керна оленекского яруса нижнего триаса, показали, что источником углеводов является мелководное морское органическое вещество, на что указывает повышенное количество трициклических терпановых углеводов и присутствие короткоцепочечных стерановых углеводов.

По результатам химико-битуминологического анализа керна по содержанию перегруппированных стерановых углеводов сделан вывод, что генерирующими нефтематеринскими породами являются глинисто-карбонатные отложения оленекского яруса, содержащие мелководное морское органическое вещество ( $S_{org}=2,77$ ;  $\max 12,35$ ). Значения коэффициентов зрелости  $K_1=0,41$  и  $K_2=1,95$  соответствуют началу главной зоны нефтеобразования.

Характер залегания объекта исследований тесно связан с активным проявлением соляного тектогенеза, представляя собой узкую антиклинальную складку субширотного простирания (рис. 2), свод которого осложнен линейным соляным диапиром (соляной грядой), прорывающим отложения индского яруса. Индские отложения залегают на солях кунгурского яруса. Избыточная теплопроводность соли способствует более быстрому прохождению теплового потока через соляные тела, а терригенные породы в межкупольных мульдах являются экраном для теплового потока.





**Рисунок 11.** Схема корреляции разрезов скважин одного из месторождений в пределах Сарпинского прогиба

В связи с этим температуры в областях распространения межкупольных мульд составляют 50-60°C на глубинах 3000-4000 м. В результате, в зоне межкупольных мульд подсолевые и надсолевые отложения могли генерировать жидкие УВ в интервалах глубин 3000-7000 м, начиная с раннемеловой эпохи [2].

## Выводы

Наличие в среднем триасе нефтематеринской свиты не вызывает сомнения, в отличие от нижнего триаса, вопрос по которому остается дискуссионным. Ряд исследователей считает, что нижнетриасовые отложения не являются нефтегазопродуцирующими, их нефтегазоносность связана с материнскими

глинистыми породами нижней перми или среднекаменноугольными отложениями [1]. С другой стороны, существует мнение, что нижнетриасовые отложения оленекского яруса являются нефтематеринскими [2]. Проведенные авторами исследования подтверждают наличие нефтегазоматеринской толщи в оленекском ярусе нижнего триаса.

Условия, благоприятные для накопления потенциально нефтегазоматеринских пород существовали на локальных участках, поэтому ареалы распространения этих пород более ограничены и локализованы в пределах отдельных частей Сарпинского прогиба. Для выявления подобных локальных объектов необходимо проведение палеотектонического и палеогеографического анализа Сарпинского прогиба.

### **Библиография**

1. Бармин А.Н., Федорова Н.Ф., Быстрова И.В. Надсолевой комплекс юго-западной части Прикаспийской впадины – перспективный объект поисков углеводородов//Известия УГГУ. 2016. Вып. 2(42). С. 19-24
2. Геохимические особенности нефтегазоносности Прикаспийской впадины: Труды ВНИГНИ. Вып. 251/Под ред. К.В. Фомкина – М.: Недра, 1985. -265 с.
3. Жидовинов С.Н. Палеогеография и условия формирования триасовых отложений на территории Прикаспийского региона.// Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1994, том 2, № 3, с. 51-66.
4. Scotese, C.R.. Atlas of Middle & Late Permian and Triassic Paleogeographic Maps, Volume 4 of the PALEOMAP, PaleoAtlas for ArcGIS (Late Paleozoic), Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, IL. 2014.

***Обзор применения современных каротажных технологий для изучения литологических особенностей строения продуктивных толщ Тюменской области. Ефаров Н. А.\* (Российский университет дружбы народов (РУДН), efarov.n@mail.ru)***

**Аннотация**

Представляемый доклад основан на опыте изучения каротажных технологий и геофизических процессов и методов разведки полезных ископаемых месторождений Западной Сибири Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области, а также на опыте написания дипломной работы по Ай-Еганскому месторождению.

**Ключевые слова**

Каротаж, геофизические, Ай-Еганское, Западная Сибирь

**Теория**

В связи с уменьшением размеров и снижения качества открываемых месторождений, необходимо дополнительное изучение геологического строения месторождений на территории Российской Федерации с целью расширения ресурсной базы при помощи исследования нефтеносных и газоносных толщ современными методами каротажа.

На сегодняшний день существует множество способов проведения каротажа скважин, но схожесть данных геофизических исследований заключается в том, что все эти способы направлены на изучение естественных и искусственных физических полей. В данной работе рассмотрены наиболее современные методы: метод радиоактивного и ядерно-магнитного каротажа (рис. 1), сейсмоакустический каротаж, термокаротаж, кавернометрия, метод газового каротажа и методы электрического и электромагнитного исследования. [1, с. 4]

Важно понимать, что каротаж скважин является довольно сложным процессом, способ проведения которого зависит от типа, функциональных возможностей и других особенностей месторождения. Полученные результаты о литологическом строении продуктивных толщ играют важную роль в дальнейшей разработке исследуемого участка.

С помощью метода ядерно-магнитного каротажа есть возможность выяснить плотность и пористость скважины, а также понять находится ли в грунте водород или другие газы.

Ядерно-магнитный каротаж (ЯМК), основан на изучении ядерно-магнитных свойств горных пород, принцип действия заключается в следующем: на горные породы, находящиеся в грунте воздействуют постоянным магнитным полем, под влиянием этого воздействия происходит смена ориентации ядерных магнитных моментов элементов пород, и после снятия поляризирующего поля происходит их возвращение в исходное положение, тем самым вызывая свое затухающее во времени электромагнитное поле, у которого измеряется напряженность. Индуцированное полем в катушке зонда ЭДС является сигналом свободной прецессии. Амплитуда сигнала зависит только от количества ядер водорода, находящихся в составе подвижной жидкости, заключенной в порах породы. Сигнал свободной прецессии от ядер других элементов, входящих в состав твердой фазы породы и вязкого вещества ее пор, а также

от ядер водорода кристаллизационной и связанной воды скважинной аппаратурой не регистрируется. Для характеристики амплитуды сигнала свободной прецессии в ЯМК используется индекс свободного флюида (ИСФ) — отношение начальных амплитуд сигналов, наблюдаемых при ЯМК и в дистиллированной воде. Величина ИСФ непосредственно связана с коэффициентом эффективной пористости породы.

К примеру, метод ядерно-магнитного каротажа применялся для изучения крупнейшего резервуара углеводородов - ачимовской толщи в северной части Западной Сибири, которая обычно представлена песчано-алевритовыми толщами, с прослоями аргиллитов и имеет специфические условия образования: она образована конусами выноса при сползании осадков прибрежно-дельтовой системы вниз по склону.

За первые 2 квартала 2021 года было проведено исследование в нескольких скважинах на ачимовскую толщу автономными приборами ЯМТК. По результатам исследования ЯМК было установлено сходство ачимовской толщи и баженовской свиты по строению и коллекторским свойствам. Их разделяет аргиллитовая пачка, за исключением редких (по исследованиям ЯМК) «аномальных» разрезов с внедрением ачимовских турбидитов в толщу баженовских осадков. При сравнении разреза баженовской свиты и 6 пластов ачимовской толщи стало ясно, что все ачимовские пласты по емкости и фильтрационному потенциалу не лучше «вложенного» в баженовскую свиту циклита.

По опыту работ ЯМК залежь нефти предельного нефтенасыщения всегда локализована в кровельной части пласта, за исключением ухудшенных прослоев (как правило, алевролитов) в зоне затухания циклита (эффект капиллярного экранирования залежи). При предельном нефтенасыщении ЯМК позволяет получить независимую оперативную оценку. [3, с. 4]

Нефтяная оторочка выделяется по аномалиям остаточной нефти по ЯМК на основе отличия нефти и воды по вязкости (коэффициенту диффузии) и удлинения спектров ЯМК при наличии «живой», газированной нефти.

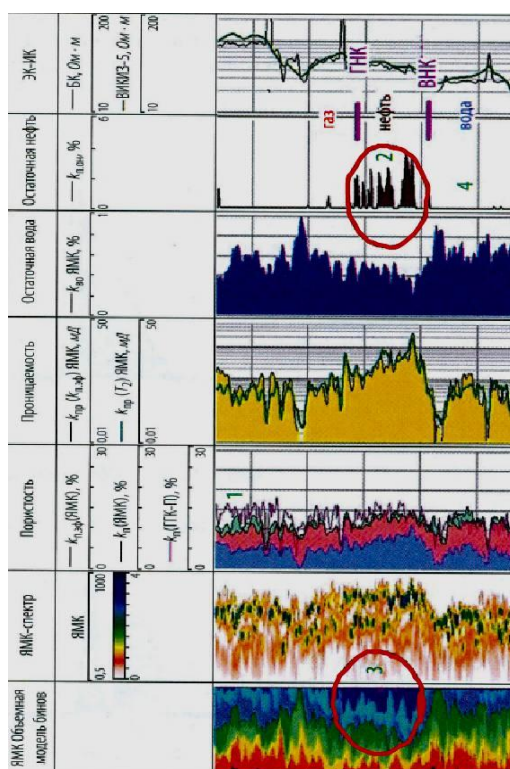


Рисунок 1. Оценка вертикальной зональности методом ядерно-магнитного каротажа

Приведенные результаты показывают эффективность метода ЯМК при исследовании строения, оценки фильтрационно-емкостных свойств и насыщенности ачимовской толщи.

Рассматривая метод электрического исследования: с практической точки зрения он заключается в измерении величины в точках скважины в графической или цифровой форме и получении итоговых значений. С помощью данного метода, при детальном исследовании, включающем: БКЗ, МК, БК, ИК, БМК на месторождениях Западной Сибири были решены такие задачи, как: расчленение разреза на пласты с разными электрическими свойствами; изучение распределения удельного сопротивления в промытой зоне, зоне проникновения и в неизменной части пласта; выделение пластов-коллекторов.

Метод акустического каротажа обеспечивает высокое вертикальное расчленение разреза (выделяются контрастные по кинематическим и по динамическим параметрам прослойки 0,4-0,6 м). На показания АК практически не влияют диаметр скважины, наличие и свойства глинистой корки, тип и характеристики промывочной жидкости, свойства вмещающих пород, температура в интервалах замеров, что переводит АК в разряд эффективных методов с минимальным числом поправок при определении пористости.

Термокартаж заключается в фиксации изменения температуры в скважине от глубины (на термограмме) и является обязательным условием при изучении геотермических условий геологических структур. Исходя из опыта надежность зарегистрированных в скважинах термограмм определяется рядом факторов, таких как: зрелость скважин перед измерениями, наличие интенсивной циркуляции подземных вод в месте расположения измеряемой скважины, наличие, либо отсутствие потерь воды из скважины, инструментальные погрешности скважинного термометра, начальная термограмма, замеренная до пуска скважины в работу, дает представление о естественном невозмущенном тепловом поле Земли. Кроме того, термограмма работающей скважины отражает все тепловые возмущения, вызванные притоком жидкости или ее поглощением, а также изменением их интенсивности. [2, с. 4]

Кавернометрия обеспечивает непрерывное измерение диаметра и формы ствола скважины по глубине, данные, полученные в результате измерения кривых называются кавернограммы, а используемый в данном методе геофизический прибор называется каверномер, например при исследовании Самотлорского месторождения использовались каверномеры, основанные на механическом принципе действия (рис. 2), который способен измерять диаметр скважины, используя два или более шарнирных рычага (щупа), прижимаемых к стенке скважины. [4, с. 4]

Полученные в ходе кавернометрии данные на месторождениях Западной Сибири использовались для определения расхождений фактического диаметра скважины от номинального.

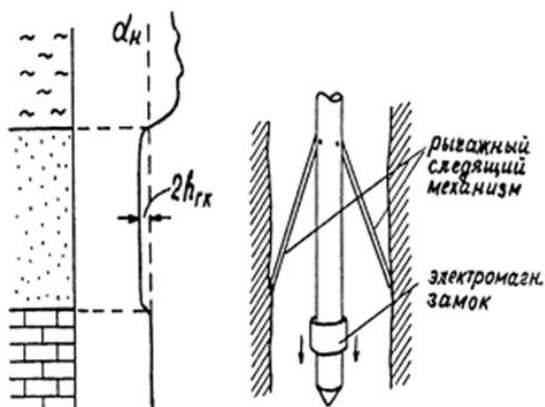


Рисунок 2. Механический кверномер

## Выводы

В ходе работы, на основе анализа, из рассматриваемых способов выбраны наиболее эффективные методы каротажа: ядерно-магнитный каротаж (ЯМК) и способ электрического исследования.

## Библиография

1. Абрамов В. Ю., Рассказов А. А., Горбатов Е. С.: Основы геофизики и геофизические методы разведки: учебное пособие, г. Москва, РУДН, 2022. – 143 с. : ил., с. 1-9;
2. Бахтина О. А. (учредитель): Деловой журнал «Neftegaz.RU»: термины по НГК, ISSN: 2410-3837, с. 1-5;
3. Малинин А. В., Зеленев А. С., Сошин С. С., Тарасов С. Ю., Валеев А. И.: «Опыт применения ядерно-магнитного каротажа для изучения ачимовской толщи Западной Сибири», журнал «Каротажник», г. Москва, 2021 г., с. 5-6;
4. Термины и понятия: Рубрика «Геофизика»: База знаний по наукам о Земле «ГеоЗнание», с. 1.

***Особенности изменения коллекторских свойств терригенных пород по мере их погружения. Захарова А. А. \* (РУДН, 1032182416@rudn.ru)***

**Аннотация**

В настоящее время данному вопросу в научно-технической литературе уделяется явно недостаточное внимание. Наряду с общей тенденцией ухудшения фильтрационно-ёмкостных параметров продуктивных отложений отмечается изменение характера соотношения между ними.

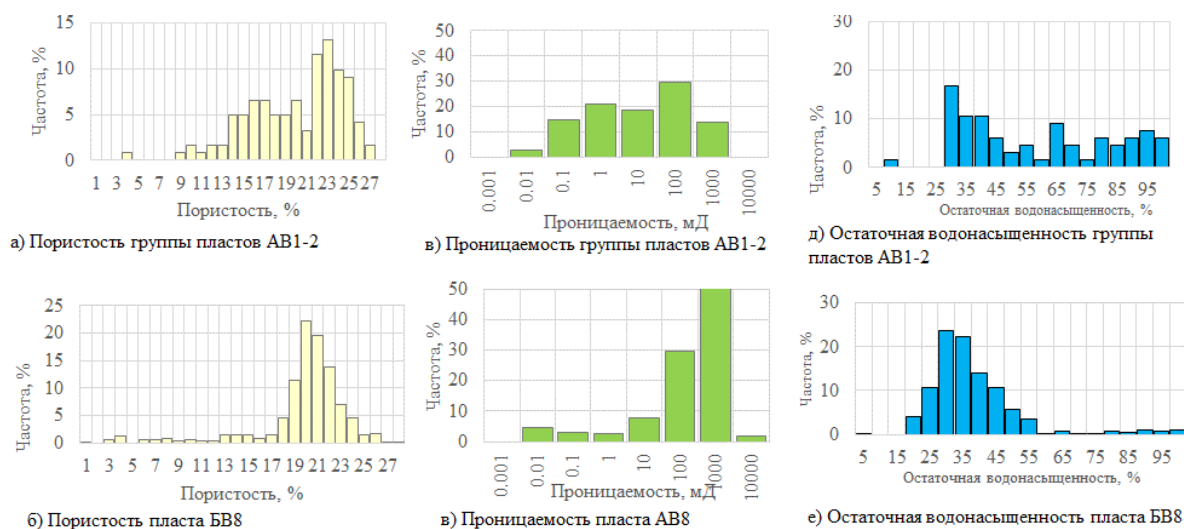
При сопоставлении образцов разновозрастных пластов по ряду месторождений при прочих равных условиях фиксируется тенденция улучшения фильтрационных свойств. Данное положение имеет принципиальное значение для нефтяной геологии. В первую очередь особенности изменения фильтрационных свойств может быть использовано при разработки новых технологий разработки нефтяных и газовых месторождений

**Ключевые слова:** пористость, проницаемость, коллектор, нефть, газ

**Теория**

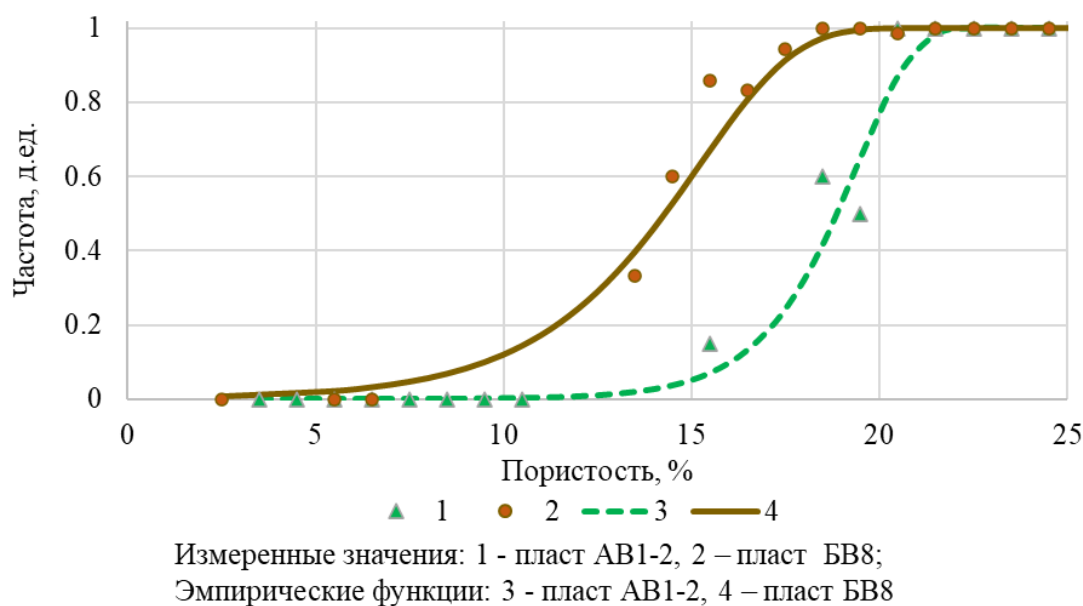
Данный вопрос имеет крайне важное значения для эффективного освоения нефтяных и газовых месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП). При сопоставлении разновозрастных пород одного месторождения достаточно часто отмечается последовательное увеличение пористости более древних отложений, но при этом имеющих практически одинаковые ёмкостные свойства. В частности, данное положение было описано при изучении ряда месторождений [1, 2, 3, 4]. В целом, прослеживается последовательное ухудшение коллекторских свойств, определённые в лабораторных условия, по мере увеличения глубины залегания анализируемых пород. При этом ухудшение ёмкостных свойств происходит в более значительных масштабах. Создаётся впечатление, что происходит потеря объёма пустот, которые или не принимают участие в формировании дренирующей системы образцов, или их роль в данном процессе является незначительной.

В предлагаемой работе приводятся результаты статистического анализа коллекторских свойств пористости, измеренных по керну, пластов АВ1-2 и БВ8 Южно-Покачевского месторождения (рис. 1). В общем пористость образцов группы пластов АВ1-2 (рис. 1а) больше, чем у более древних пород (рис. 1а), но при этом их проницаемость, наоборот, значительно меньше (рис. 1в), чем их аналогов (рис. 1г). Наряду со сказанным особый интерес представляют результаты сравнения гистограмм остаточной водонасыщенности. Данный параметр образцов группы пластов АВ1-2 (рис. 1д) преимущественно значительно больше, чем это характерно для более древних пород (рис. 1е). Аналогичная закономерность, как правило, фиксируется при изучении многопластовых месторождений Западно-Сибирской НГП.



**Рисунок 1.** Пример изменчивости коллекторских свойств Южно-Покачевского месторождения

Наряду с вышеизложенным заслуживают внимание особенности соотношений пористости и вероятности превышения кондиционного значения проницаемости -  $10^{-15} \text{ м}^2$  (рис. 2). В наилучшем положении оказывается коллекция образцов более древнего пласта (БВ8). При прочих равных условиях существует большая вероятность отнесение данных пород к категории коллекторов.



**Рисунок 2.** Соотношение пористости и вероятности существования проницаемости образцов неменьше  $10^{-15} \text{ м}^2$

## Выводы

Наиболее вероятно это обусловлено тем, что в катагенезе наиболее интенсивно уплотняются капилляры и мелкие поры, которые не формируют устойчивые пути фильтрации пород.



## **Библиография**

1. Геологические проблемы освоения залежей углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами. Белов А.Ю., Белова А.А., Страхов П.Н.//Нефтяное хозяйство. №3. 2021. - С. 50-53.
2. Вероятностная оценка проницаемости отложений верхней части Тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района. Страхов П.Н., Маркелова А.А.//Вестник российского университета дружбы народов серия: инженерные исследования. 2022. Том 23. № 3. С. 224-231.
3. Геология освоения залежей с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов: учебное пособие/Страхов П.Н., Сапожников А.Б., Богданов О.А. – Москва: РУДН, 2021.- 90с.
4. Исследование неоднородностей нефтегазоносных отложений. П.Н. Страхов, В.Н. Колосков, О.А. Богданов, А.Б. Сапожников – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. 2018. - 189 с.

**Оценка перспектив нефтегазоносности нижне-среднеюрского комплекса по результатам бассейнового моделирования Карско-Ямало-Гыданского района газонефтенакопления. Зинатуллина Л.И.\* (ИПНГ РАН, zinatullina@ipng.ru)**

### Аннотация

В работе рассмотрена важнейшая проблема освоения углеводородных ресурсов малоизученных глубоких горизонтов северных районов Западной Сибири. Для решения которой применялся метод численного бассейнового моделирования. Приведены результаты палеотектонического анализа.

### Ключевые слова

Карско-Ямало-Гыданский регион, нижне-среднеюрские отложения, численное бассейновое моделирование, перспективы нефтегазоносности.

### Теория

Прогнозирование нефтегазоносности недр при поиске нефтяных и газовых месторождений может быть научно обосновано лишь при изучении истории геологического развития седиментационных бассейнов, крупных и частных структурных элементов, контролирующих зоны регионального нефтегазонакопления.

Целью данной работы является оценка перспектив нефтегазоносности полуостровов Ямал, Гыдан, включая Обскую губу и прилегающую акваторию Карского моря (рис.1), которая проводилась при помощи методики моделирования в программном продукте (PetroMod, Schlumberger) на основе историко-генетического метода. [1] Комплект исходных материалов для моделирования собран в процессе обобщения доступной геолого-геофизической и геохимической информации по изучаемому региону. [4]

Восстановление истории погружения бассейна является неотъемлемой частью процесса моделирования и позволяет оценить скорость осадконакопления и погружения бассейна, восстановить мощность осадочного чехла для каждого отдельно взятого этапа геологической истории, а также выявить закономерности нефтегазообразования и нефтегазонакопления.

Для анализа палеотектонического развития бассейна, по результатам бассейнового моделирования были созданы трехмерные и двухмерные структурно-тектонические модели осадочного бассейна Карско-Ямало-Гыданского региона, включающие основные поверхности:

- поверхность по подошве недислоцированных мезозойских образований осадочного чехла – подошва нижнеюрских отложений – кровля фундамента – отражающий сейсмогоризонт «А» («Ia» на востоке территории);

- поверхность по кровле аален-тоарских отложений нижнеюрских отложений – кровля лайдинской свиты – отражающий сейсмогоризонт «Т<sub>3</sub>»;

- поверхность по кровле нижнеюрско-верхнеберриасских отложений – кровля баженовской, даниловской и гольчихинской свит – отражающий сейсмогоризонт «Б»;

- поверхность по кровле альб-сноманских отложений – кровля марресалинской и покурской свит – отражающий сейсмогоризонт «Г»;

- топографическая основа.



Рисунок 1. Обзорная карта района работ.

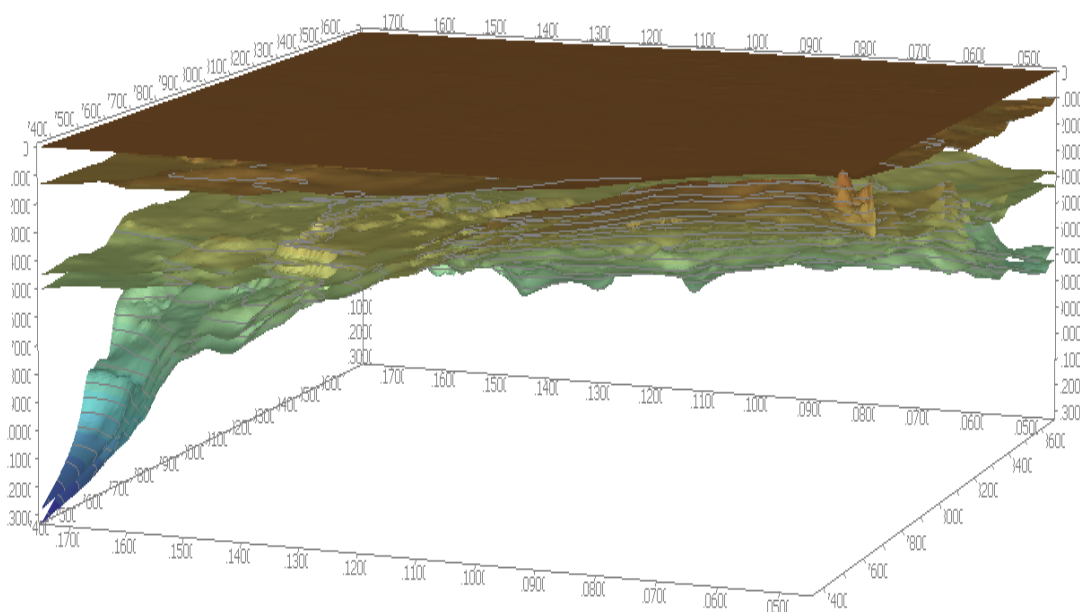


Рисунок 2. Структурный каркас моделируемой территории – Карско-Ямало-Гыданского района нефтегазонакопления.

Палеотектонические модели являются основной частью анализа тектонических движений (палеотектонического анализа). Они необходимы для определения на сколько последовательно сформированы структурные элементы во времени. Методика построения палеотектонических моделей основывается на принципах выравнивания, когда принимают поверхность предыдущего уровня осадконакопления условно в виде выровненного горизонтального рельефа.

Методика построения палеотектонических моделей основана на принципах выравнивания, поверхность предыдущего уровня осадконакопления принята условно в виде выровненного горизонтального рельефа. [2]

Модели палеотектонических реконструкций построены последовательно путем наращивания мощностей от более древних к более ранним стратиграфическим подразделениям всего осадочного чехла. [3]

С помощью палеотектонических реконструкций восстановлена история развития бассейна осадконакопления исследуемого региона, что позволило оценить интенсивность прогибания, скорость осадконакопления, и погружения бассейна, восстановить мощность осадочного чехла, в частности ниже-среднеюрских отложений, для каждого отдельно взятого этапа развития геологической истории, а также позволило выявить закономерности нефтегазообразования и нефтегазонакопления. При восстановлении погружения учитывалось уплотнение пород с глубиной погружения, для восстановления исходных мощностей осадков до уплотнения.

Территория Карско-Ямало-Гыданского района нефтегазонакопления имеет конседиментационное строение. Основные структурные элементы – мегавалы (Нурминский, Северо-Ямальский, Средне-Ямальский, Геофизический, Гыданский свод), прогибы (Северо-Сеяхинский мегапрогиб) – образовались до начала образования юрских отложений.

На исследуемой территории преобладал тектонический режим относительно устойчивого и длительного прогибания, положительно влиявший на сохранность сформировавшихся на разных этапах развития территории углеводородов. Процессы разрушения на исследуемой территории слабовыражены.

Устойчивое прогибание территории благоприятно сказалось на условиях нефтегазообразования, в свою очередь, последующие тектонические процессы стали благоприятным фактором для нефтегазонакопления.

## **Выводы**

Проанализировано палеотектоническое развитие крупных, а также частных структур и выявлены новые особенности строения осадочного чехла.

Восстановлена исходная мощность отложений в том числе ниже-среднеюрских, до уплотнения и определено время образования ловушек и тектонических элементов в ниже-среднеюрских глубокозалегающих отложениях Карско-Ямало-Гыданского района газонефтегазонакопления.

Оценены основные этапы формирования и трансформации ловушек нефти и газа во времени.

## **Библиография**

1. Magoon L.B. and Dow W.G. The petroleum system, in: The petroleum system – from source to trap//AAPG Memoir, 1994. – Vol. 60. – P. 9

2. Зинатуллина Л.И. Оценка перспектив нефтегазоносности доюрских и нижне-среднеюрских отложений полуостровов Ямал и Гыдан // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 26–33. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-7-26-33
3. Хафизов С. Ф. Анализ углеводородных систем: теория и практика / М.: КРАСАНД, 2019. — 200 с.
4. Шустер В.Л., Пунанова С.А. Обоснование перспектив нефтегазоносности юрско-палеозойских отложений и образований фундамента Западной Сибири. Георесурсы. 2016. Т.18. №4. Ч.2. С. 337–345.

*Аналитическое моделирование Туркменского сектора Южно-Каспийской впадины.  
Алланазарова М.А. \* (ФГБОУ ВО «Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail:  
mehrik\_allanazarova@mail.ru)*

### **Аннотация**

В данной работе рассмотрена аналитическая модель Туркменского сектора Южно-Каспийской впадины.

Моделирование Туркменского сектора выполнялось с помощью программного обеспечения PetroMod. Для моделирования задавались разные тепловые потоки и было рассмотрено зависимость генерации от теплового потока.

### **Ключевые слова**

Туркменский сектор, Южно-Каспийская впадина, тепловой поток, моделирование.

### **Источники финансирования**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

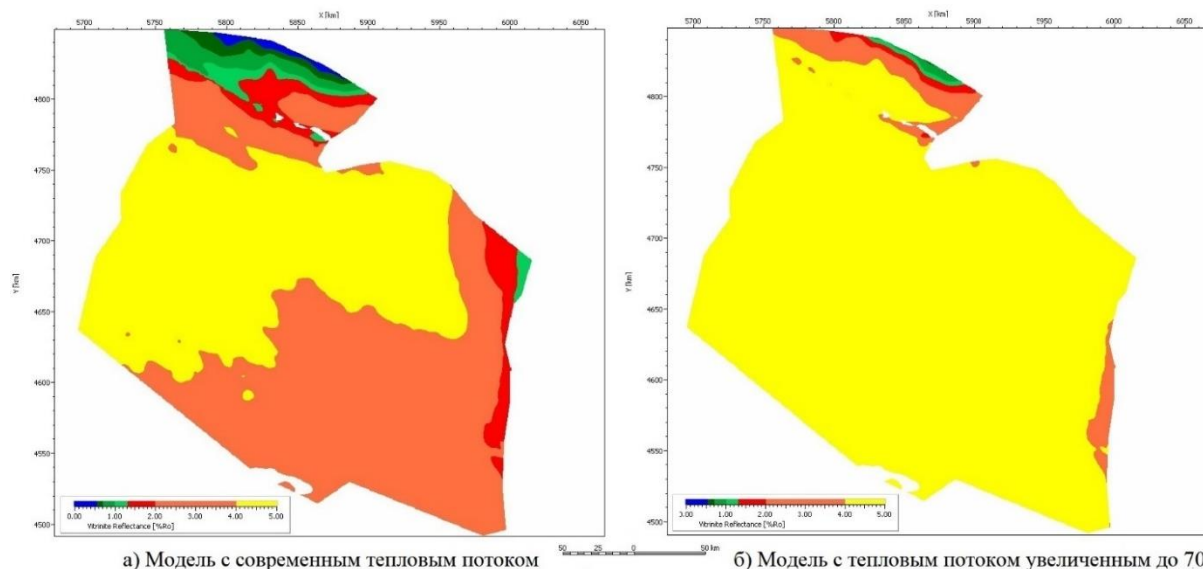
### **Теория**

Южно-Каспийская впадина является одним из наиболее важных нефтегазоносных регионов. Западно-Туркменская зона приурочена к Туркменскому сектору Южно-Каспийской впадины и характеризуется пологими складками. О перспективах нефтегазоносности этого района, где располагаются отложения красноцветной толщи, свидетельствуют литологические свойства пород, наличие грязевого вулканизма, крупные размеры локальных поднятий. [1]

Исходя из признаков нефтегазоносности было принято провести трехмерное моделирование Туркменского сектора Южно-Каспийского сектора. [4] Для этого использовались материалы сейсмических исследований, данные геофизических исследований, результаты исследований скважин на определенных месторождений.

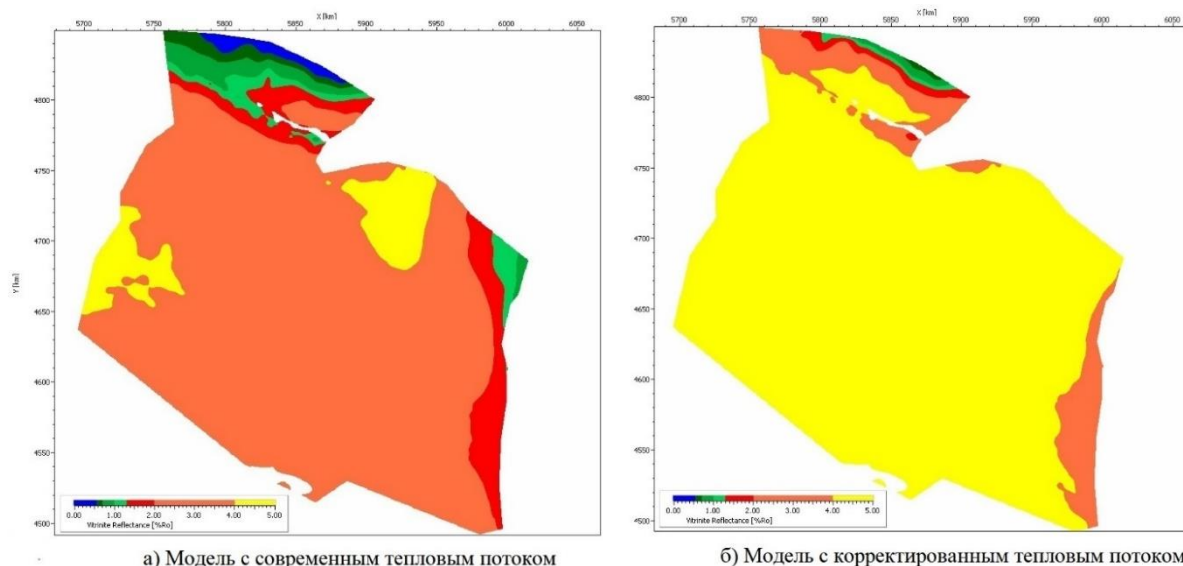
При моделировании Туркменского сектора возникла проблема с тепловым потоком. Так как современный тепловой поток на поверхности дна моря низкий, есть основания считать, что он неравномерный, потому что в период геологического времени плиоцен-четвертичка были высокие скорости осадконакопления. [2] Для оценки влияния теплового потока на результаты исследования вводилась корректировка, значения теплового потока было поднято до 70 мВт/м<sup>2</sup>. Также использовалась величина постоянного теплового потока 40 мВт/м<sup>2</sup>. Для всех интервалов нефтематеринских пород содержание органического вещества (ОВ) задавалась, как 5% со смесью керогена II/III. Современная температура поверхности была принята, как постоянная величина, 5°. [3]

На рисунке 1 изображены результаты моделирования верхнемайкопско-нижнемиоценовой  $Mk_2 - N^1_1$  нефтегазоматеринской толщи. При повышенном тепловом потоке (б) практически вся модель полигона представлена отложениями с перезрелым органическим веществом.



**Рисунок 1.** Зрелость органического вещества верхнемайкопско-нижнемиоценовой  $Mk_2 - N^1_1$  нефтегазоматеринской толщи

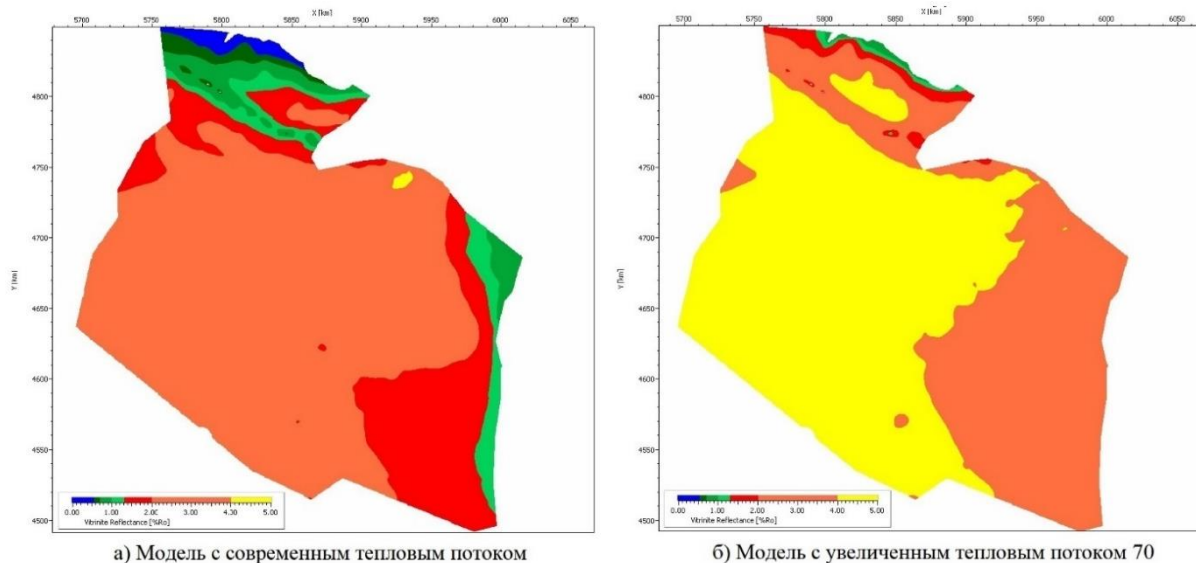
На рисунке 2 изображены результаты моделирования нефтегазоматеринской толщи диатомского возраста  $N^2_1 - N^3_1$ . На модели с повышенным тепловым потоком (б) основная часть полигона заполнена отложениями с перезрелым органическим веществом, но в районе Прибалханской зоны поднятия наблюдается зона зрелости сухого газа.



**Рисунок 2.** Зрелость органического вещества нефтегазоматеринской толщи диатомского возраста  $N^2_1 - N^3_1$ .

На рисунке 3 показаны результаты моделирования нефтегазоматеринской толщи понтического яруса  $N^3_1$ . В зоне Прибалханского поднятия наблюдается островки

нефтегазовой зрелости, а по середине зоны перезрелые породы. В восточной части зрелость сухого газа, а в западной части перезрелость органического вещества.



**Рисунок 3.** Зрелость органического вещества нефтегазоматеринской толщи понтического яруса  $N^3_1$ .

## Выводы

Для наилучшего изучения генерационно-аккумуляционной системы и открытия новых перспективных зон с благоприятными структурами Туркменского сектора, требуется более детальное исследование данной территории. По результатам детального исследования можно будет грамотно повысить тепловой поток, также определить более подробно процентное содержание ОВ для каждой нефтегазоматеринской толщи, выполнить новое моделирование, и, исходя из этого прогнозировать новые более точные перспективные зоны на Туркменском секторе Южно-Каспийской впадины.

## Библиография

1. Алиханов Э.Н., Нефтегазоносность Каспийского моря // Москва, «Недра» 1977 г. С. 251 – 256.
2. Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Карнаухов С.М., Мустаев Р.Н. Геотемпературное поле Южно-Каспийского бассейна // Отечественная геология. 2012. № 3. С. 18—24
3. Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н. Геологоразведочные работы в Туркменской акватории Южного Каспия — неудачи, перспективы и задачи // Нефть, газ и бизнес. 2011. № 11. С. 17—24.
4. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Zaitsev V.A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of Central and Eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry. 2016. No. 9. P. 18–21.



***Геохимическая характеристика органического вещества баженовской свиты на территории Томской области. Кравченко Е.М.\* (ФГБУ ВНИГНИ, [e.kravchenko@vnigni.ru](mailto:e.kravchenko@vnigni.ru)), Можегова С.В. (ФГБУ ВНИГНИ, [mozhegova@vnigni.ru](mailto:mozhegova@vnigni.ru))***

### **Аннотация**

В работе рассмотрены основные геохимические характеристики органического вещества (ОВ) баженовской свиты и её аналога марьяновской свиты в пределах Томской области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Исследования проводились на основе результатов изучения кернового материала методом пиролиза на приборе Rock-Eval 7.

По результатам исследований получены закономерности распределения концентраций и генерационного потенциала ОВ по изучаемому разрезу. Также дана оценка катагенеза органического вещества баженовской и марьяновской свит.

### **Ключевые слова**

Rock-Eval, органическое вещество, баженовская свита, марьяновская свита, Томская область, Западная Сибирь

### **Теория**

Целевой объект исследований в данной работе – баженовский горизонт, который на изученной территории представлен баженовской свитой (на западе) и её стратиграфическим аналогом – марьяновской свитой (на востоке). Выполнены геохимические исследования 465 образцов керна из 15 скважин, расположенных в северо-западной части Томской области, и полученные результаты послужили основой настоящей работы.

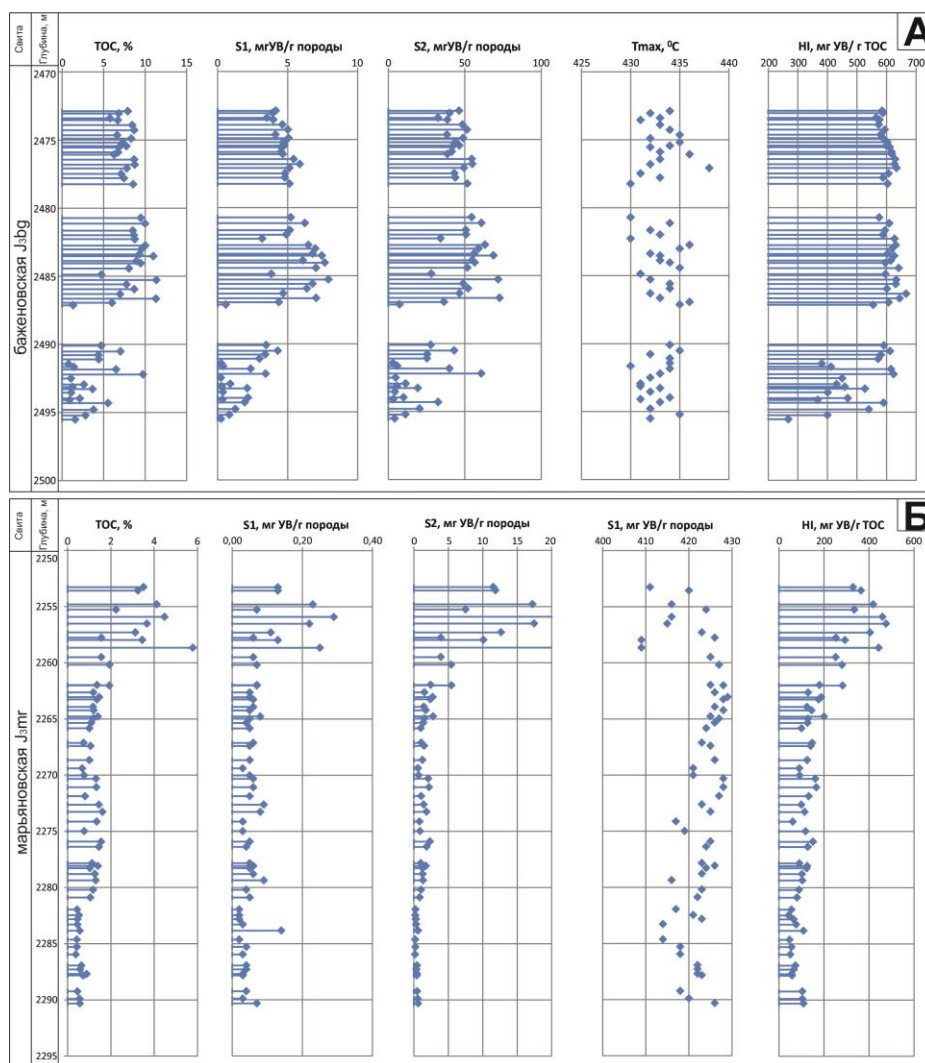
Исследования образцов на анализаторе Rock-Eval 7 проводились при программированном профиле температур нагрева с использованием пламенно-ионизационного детектора (FID) для определения термодесорбированных свободных углеводородов (пик S1) и углеводородов крекинга органического вещества (пик S2) в диапазоне температур 300-600 °C со скоростью нагрева 25 °C/мин, и инфракрасного детектора (IR) для определения CO и CO<sub>2</sub>, выделяющихся при пиролизе (пики S3) и окислении (пики S4 и S5) образца в диапазоне температур 300-850 °C со скоростью 25 °C/мин. По полученному набору пиков рассчитывается общее содержание органического (TOC) и минерального (Смин) углерода, водородный (HI) и кислородный (OI) индексы, характеризующие тип ОВ, и индекс продуктивности (PI).

В пределах территории исследований наблюдается латеральное замещение глубоководных фаций баженовской свиты центральных районов Западной Сибири алевритисто-глинистой марьяновской свитой, накапливавшейся в относительно мелководных условиях [Брадучан, 1986; Вакуленко, 2010]. Смена фаций отражается и на распределении ОВ в отложениях по площади.

Карбонатно-глинисто-кремнистые отложения баженовской свиты по содержанию ОВ схожи с аналогичными центральных районов Западной Сибири [Брадучан, 1986; Конторович, 2001]. Содержание органического углерода (TOC) в

породах достигает 15-18 %. Но, в отличие от центральных районов провинции, на юго-востоке максимальные концентрации ТОС приурочены к средней части разреза свиты. Вверх и вниз по разрезу наблюдается некоторое снижение содержания ОБ – ТОС уменьшается до 5-10 %.

Средневзвешенные концентрации ТОС меняются от 8-10 % на западе рассматриваемого участка до 5-6 % в восточных районах, в переходной к марьяновской свите, зоне. Породы обладают высоким генерационным потенциалом – S2 30-90 мг УВ/г породы, H1 400-600 мг УВ/г ТОС (рис. 1А), что свидетельствует о сапропелевом типе ОБ. Мощность отложений на территории исследования меняется от 10 м в западных районах до 50 м и более на востоке.

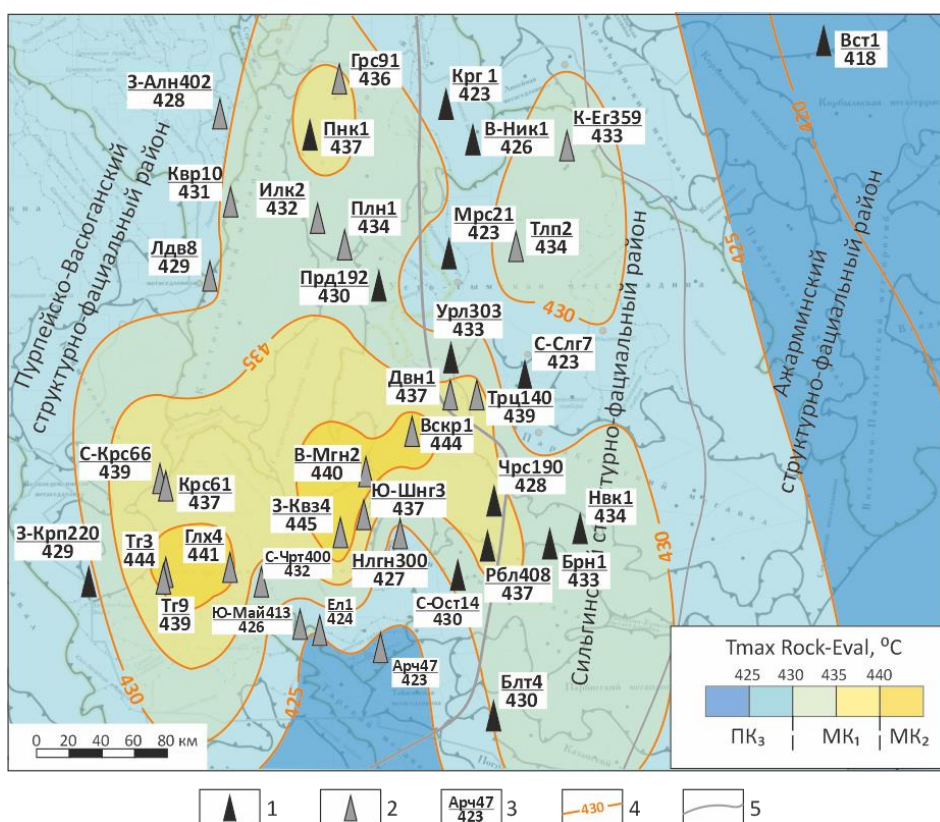


**Рисунок 1.** А - Геохимический разрез баженовской свиты скважины Новиковская 1; Б – Геохимический разрез марьяновской свиты скважины Восток 1.

На востоке исследуемой территории обогащенность ОБ баженовского горизонта резко снижается. В зоне развития марьяновской свиты горизонт представлен глинами алевритистыми темно-серыми, иногда буроватыми с прослоями алевролитов темно-серых. Общая обогащенность пород ОБ пониженная и неравномерна по всему разрезу.. Мощность марьяновской свиты составляет 80-100 м и увеличивается в восточном направлении.

В скв. Восток 1 керном охарактеризована нижняя половина марьяновской свиты. Верхняя часть изученного интервала представлена глинами мощностью до 4 м с содержанием ТОС 2-4% (рис. 1Б). Породы обладают невысоким (по сравнению с баженовской свитой) генерационным потенциалом – S2 10-20 мг УВ/г породы, Н1 ~ 400 мг УВ/г ТОС, Tmax – 415-425 °С (ПК1). Ниже по разрезу выделяется 23-метровая пачка алевролитистых глин с содержанием ТОС 1,0-1,5 %, S2 ~ 5 мг УВ/г породы, Н1 ~ 100-150 мг УВ/г ТОС.

Степень катагенетической превращенности ОВ баженовской свиты, установленная по параметру Tmax Rock-Eval, на большей части изученной территории соответствует начальному мезакатагенезу – градации МК1 (Tmax 430-440 °С, рис. 2).



**Рисунок 2.** Схема катагенеза ОВ баженовской свиты юго-восточных районов Западной Сибири по данным Rock-Eval (тектоническое и структурно-фациальное районирование из [Атлас., 2004]). Условные обозначения: 1 – скважины с изученным в 2022 году; 2 – скважины с ранее изученным керном; 3 – в числителе – название и номер скважины, в знаменателе – медианное для скважины значение Tmax; 4 – линии равных значений Tmax; 5 – границы структурно-фациальных районов. Обозначение градаций катагенеза дано по шкале Н.Б. Вассоевича.

Максимальный катагенез наблюдается в наиболее погруженных районах – в центральной зоне Нюрольской мегавпадины и Котлогорском прогибе (скв. Глуховская 4, Западно-Квензерская 4, Воскресенская 1, Панковская 1, Горстовая 91 и др.), где значения Tmax достигают 437-445 °С, что соответствует пику «нефтяного окна» (МК2).

Схема, в целом, согласуется с региональным распределением зрелости керогена верхнеюрских отложений Западной Сибири, учитывающей замеры и рассчитанные

значения отражательной способности витринита подстилающих и перекрывающих толщ [Фомин, 2011].

Таким образом, степень реализации генерационного потенциала высокоуглеродистых отложений баженовской свиты достигла 30-50% в наиболее зрелой погруженной зоне (Нюрольская мегавпадина).

## **Выводы**

В юго-восточных районах распространения баженовской свиты наиболее высоким содержанием ОВ (ТОС 11-16%) характеризуется средняя часть разреза. Уровень катагенеза ОВ в изученном районе меняется от градации ПКЗ до МК2/МК3. Зона наибольшей зрелости ( $T_{max}$  437-445 °С) приурочена к центральным наиболее погруженным районам Нюрольской мегавпадины и Колтогорского мегапрогиба.

Алевритисто-глинистые отложения марьяновской свиты характеризуются значительно меньшим содержанием ОВ (ТОС не превышает 5 %). По полученным значениям водородного (HI) и кислородного (OI) индексов ОВ марьяновской свиты относится к смешанному сапропелево-гумусовому типу. Низкая зрелость ОВ (ПКЗ) свидетельствует об еще не начавшихся процессах генерации УВ в изученном районе.

## **Библиография**

1. Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011.
2. Атлас Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа//<<Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпильмана>> Ханты-Мансийск, 2004.
3. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность) / Брэдучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др. – Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.
4. Вакуленко Л.Г., Аксенова Т.П., Ельцов И.Н., Замирайлова А.Г., Ян П.А. Литолого-фациальная характеристика юрских отложений южной части Предьнисейской нефтегазоносной субпровинции Западной Сибири // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 4, с. 425-436.
5. Конторович В.А. Генерационный потенциал волжских отложений в юго-восточных районах Западной Сибири // Геология нефти и газа, 2001, № 1.

**Условия формирования залежей углеводородов Верхнепечорской впадины. Маракова И. А. (УГТУ, [imarakova@ugtu.net](mailto:imarakova@ugtu.net)), соавтор Нуртазаева М.\* (УГТУ, [mnurtazaeva@ugtu.net](mailto:mnurtazaeva@ugtu.net)), соавтор Попова Е. (УГТУ, [epopova@ugtu.net](mailto:epopova@ugtu.net))**

### **Аннотация**

В исходных данных приводится местоположение Верхнепечорской впадины, её тектоническое строение, границы. Работа посвящена комплексному изучению геодинамических факторов, оказывающих влияние на размещение структурных форм в осадочном чехле. На основании анализа геолого-геофизических материалов установлено, что в результате тектонических движений и вместе с тем различной дислоцированностью впадины, проявляется унаследованность локальных структур от форм рельефа кристаллического фундамента.

### **Ключевые слова**

Залежь, углеводороды, природный резервуар, нефтегазоматеринские толщи

### **Теория**

В тектоническом плане Верхнепечорская впадина (ВПВ) приурочена к краевой части Тимано-Печорской плиты. По морфологии локальных структур впадина делится на внешнюю, осевую и внутреннюю зоны, отличающиеся разной степенью влияния уральского складкообразования. Западная (внешняя) зона ВПВ выделяется как Печоро-Ильчская моноклираль – структура второго порядка. В осевой зоне впадины выделена Южно-Вуктыльская синклираль. Внутренняя приуральская зона ВПВ осложнена серией высокоамплитудных надвигов и характеризуется чешуйчато-надвиговым строением. Складки и надвиги внутренней зоны впадины в плане образуют линейную систему дислокаций, выпуклую к западу[4].

На изучаемой территории выполнен анализ условий формирования ловушек и залежей УВ в карбонатном доманиково-турнейском комплексе и терригенном нижневерхневизейском и карбонатном верхневизейско-нижнепермский комплексах. В тезисах рассматривается пример формирования залежей углеводородов в доманиково-турнейском природном резервуаре.

В структурном плане по верхнедевонским отложениям выделены литолого-фациальные зоны, отражающие последовательность формирования одиночных, барьерных рифов, карбонатных банок и доманикитов. По результатам анализа геохимических данных установлено, что большая часть Верхнепечорской впадины характеризуется стадиями катагенеза МК<sub>4</sub>-МК<sub>5</sub>[2].

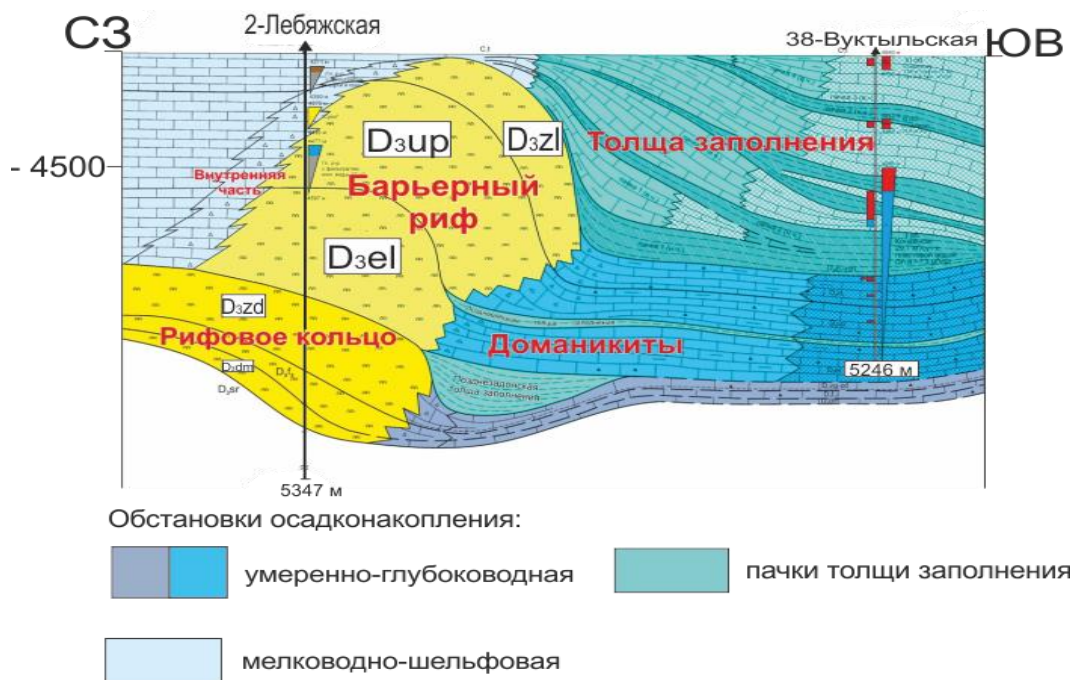
#### **Доманиково-турнейский природный резервуар**

В пределах исследуемого интервала отложений изучено несколько литолого-фациальных зон:

- барьерные рифы;
- одиночные рифы;
- карбонатные рифовые банки;
- доманикиты.

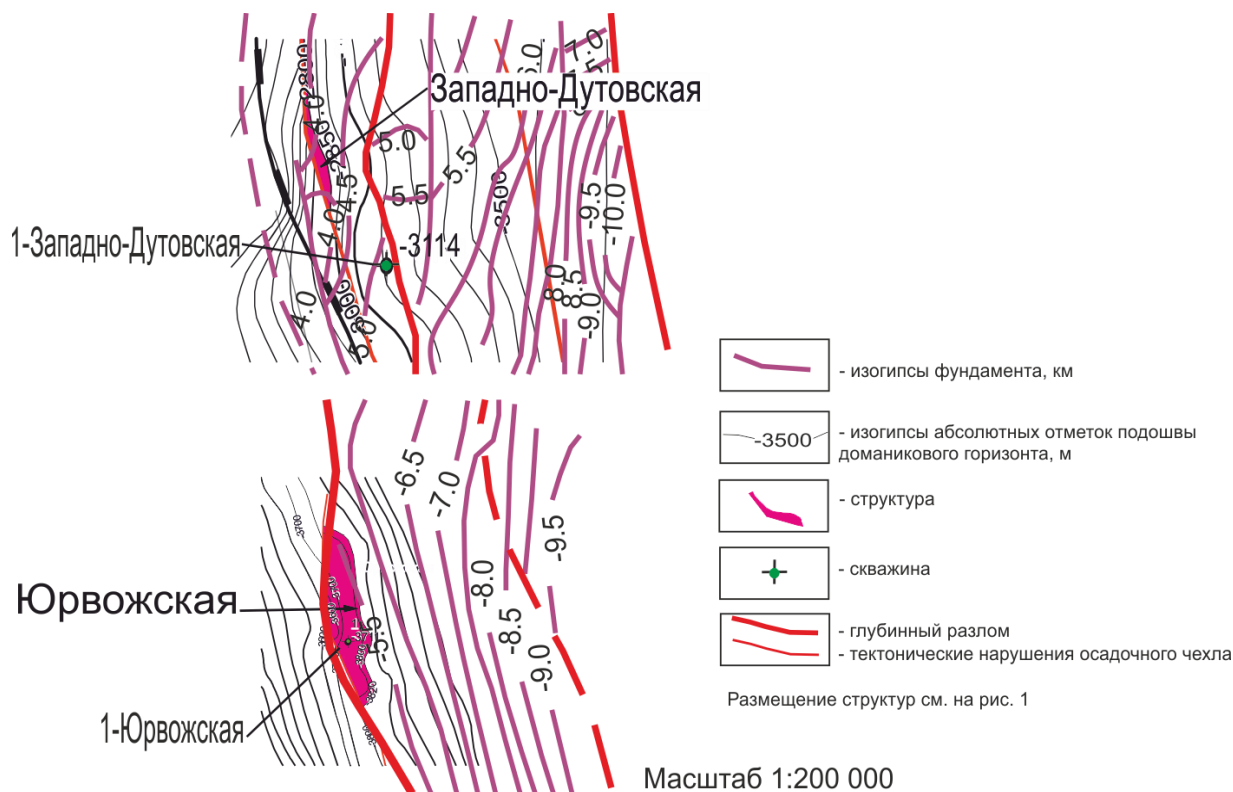
В строении верхнедевонских отложений наблюдается четкая цикличная перемежаемость карбонатных рифосодержащих и глинисто-мергелистых межрифовых горизонтов (рис. 1). В рифосодержащих горизонтах участвуют в направлении с запада, северо-запада на восток-юго-восток мелководно-шельфовые отложения с переходом в

барьерно-рифовые толщиной 100-400 м на окраине мелководного шельфа и затем в преимущественно карбонатные маломощные доманикоидные образования в относительно глубоководной некомпенсированной предрифовой впадине. Каждый последующий рифосодержащий горизонт отделяется от предыдущего преимущественно глинисто-мергелистым горизонтом, который на мелководном шельфе и на нижезалегающем барьерном рифе является маломощным или вообще отсутствует, а в предрифовой зоне формирует толщу заполнения.



**Рисунок 1.** Модель формирования доманиково-турнейского карбонатного комплекса в Верхнепечорской впадине (ООО «ТП НИЦ»)[3]

Стадийность структурообразующих подвижек, их взаимоотношения, динамизм и направленность в пределах исследуемого тектонического элемента определяли развитие локальных объектов в течение палеозоя-раннего мезозоя [1]. Установлены зоны с объектами, которые развивались непрерывно. Объекты такого типа обычно прослеживаются по всем структурным этажам осадочного чехла. Сопоставление карты фундамента и структурной карты по подошве доманикового горизонта показало, что все локальные структуры унаследованы [2]. Некоторые из них представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Локальные унаследованные структуры (составила Маракова И. А.)

Подвижки блоков фундамента возникали на различных этапах тектогенеза и приводили не только к появлению разломов, но и обеспечивали протекание как флюидодинамических процессов, так и миграцию в молодых нефтеобразующих системах. Нефтегазоносность этого тектонического узла соотносится с этапами проявления тектонической активности и вторичной миграции УВ по разломам.

Большая часть впадины характеризуется стадиями катагенеза МК<sub>4</sub>-МК<sub>5</sub>, и только на крайнем востоке впадины – АК<sub>1-2</sub> (R<sub>0</sub> 1,15-2 % и более) [2].

Анализ истории развития изучаемой территории показывает, что морфология фундамента и орогенические процессы оказывали прямое влияние на обстановки осадконакопления и последующие условия формирования нефтегазоперспективных зон. Режим пассивной окраины на рассматриваемой территории сохранялся в течение формирования среднедевонско-турнейского структурного этажа [4].

- установлено влияние разломно-блокового строения фундамента на доманиковые отложения, имеющих унаследованный характер структурных планов и тектонических нарушений;

- выделенные рифогенные постройки контролируются выступами фундамента.

## Библиография

1. Грунис, Е. Б. Роль тектоники кристаллического фундамента в пространственном размещении традиционных и нетрадиционных источников углеводородов/ Е.Б. Грунис, Б. И. Давыденко, А. Г. Сотникова, С. А. Лукова, И. А. Маракова// Сборник научных трудов : материалы международного семинара : «Рассохинские чтения» (6-7 февраля 2020 года) : в 2 ч. ч. 1 / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта : УГТУ, 2020. –С. 75-78.

2. Маракова, И. А. Геодинамические аспекты размещения нефтегазоперспективных структурных форм в доманиково-турнейском карбонатном

комплексе Верхнепечорской впадины Предуральяского краевого прогиба/И. А. Маракова, О. М. Вельтистова, Е. Н. Мотрюк, М. Ю. Сабельников//Геология нефти и газа. – 2022. - №6. – С. 1-14.

3. Маракова, И. А. Перспективы освоения нетрадиционных источников углеводородов в Тимано-Печорской провинции/И. А. Маракова// Сборник научных трудов : материалы международной научно-практической конференции: «Новые идеи в геологии нефти и газа. Новая реальность 2021» (1-2 ноября 2018 года) / отв. редактор А. В. Ступакова. – Москва : Перо, 2021. – С. 326-328.

4. Прищепа, О. М., Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции/ О. М. Прищепа, В. И. Богацкий, В. Н. Макаревич, О. В. Чумакова, Н. И. Никонов, А. В. Куранов, М. М. Богданов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т.6. – №4. – [http://www.ngtp.ru/rub/4/40\\_2011.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf).



*Литологические и петрофизические свойства песчаных коллекторов оскобинской свиты (венд, южная часть Сибирской платформы. Михайлова А.А.\* (МГРИ, [amihajlova697@gmail.com](mailto:amihajlova697@gmail.com)), Агафонова Г.В. (ВНИГНИ)*

## Аннотация

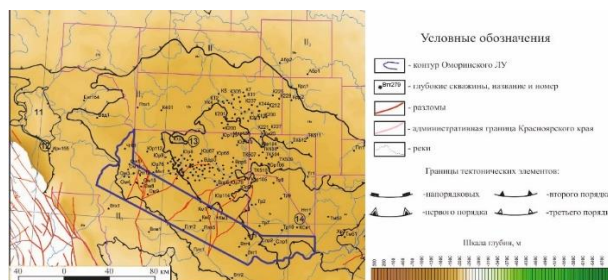
В работе рассматривается строение песчаных коллекторов оскобинской свиты, дается их литологическая характеристика, анализируются петрофизические свойства выделенных литологических типов, установлена зависимость между структурой и фильтрационно-емкостными свойствами пород-коллекторов.

## Ключевые слова

Литология, петрофизика, песчаники, коллектора, оскобинская свита, Сибирская платформа.

## Теория

В данной работе предметом изучения являются терригенные коллекторы оскобинской свиты венда на территории Оморинской площади Лено-Анабарского НГО. В административном отношении площадь находится в пределах Эвенкийского муниципального района Красноярского края.



*Рисунок 1. Тектоническая карта района работ.*

Изучение производилось по результатам интерпретации ГИС, литологического описания керна (в том числе макро- и микроскопического) и схемы фациального районирования местности.

Оскобинская свита (Vosk), согласно стратиграфической схеме 2021 года [1], разделена на три пачки. Нижняя пачка представлена доломито-ангидритовыми породами, ангидритами, доломитами с прослоями аргиллитов. Средняя пачка сложена песчаниками и алевролитами; верхняя - доломитами неясно слоистыми пятнистыми. В данной работе рассматривают породы средней пачки [3].

Песчаники серые, коричневато-серые, алевритистые, мелко-, среднезернистые., горизонтально-слоистые, реже косослоистые с включениями ангидрита. Песчаники по составу кварцевые граувакки (обломки пород составляют 20-30% от общего состава), мезомиктовые (до 15-17% полевых шпатов и 15-20% обломков пород) и кварцевые [2].

Цемент битуминозный-глинистый и карбонатный. Продуктивность пласта доказана в 2007 году в скважине Камовская-1 и в скважинах Оморинская-10,11.

Всего было выделено 11 литотипов <sup>[4]</sup>:

1. Песчаник мелко- среднезернистый полимиктовый бесцементный;
2. Песчаник мелко-среднезернистый олигомиктовый с доломитовым цементом;
3. Песчаник кварцевый алевритистый разнозернистый с ангидритовым цементом неравномерно глинистый слабо пористый;
4. Песчаник кварцевый мономинеральный, мелко-среднезернистый, цемент двух видов: бесцементный и глинистый;
5. Песчаник граувакковый полимиктовый мелкозернистый с глинистым цементом порового типа;
6. Песчаник средне-мелкозернистый с ангидритовым цементом пористый.
7. Песчаник тонкозернистый кварцевый бесцементный;
8. Аргиллит с песчано-алевритовой примесью с включениями пирита;
9. Аргиллит алевритовый;
10. Алевролит глинистый;
11. Глина мономинеральная.

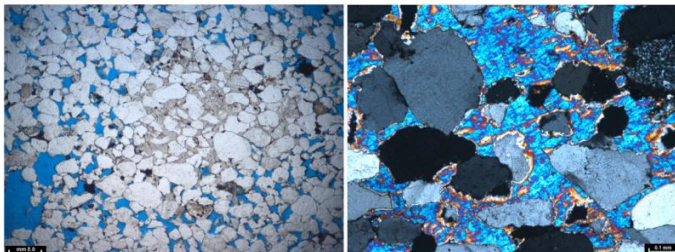
В данной работе будет наиболее подробно описано 3 из них, наиболее характерных:

- Песчаник средне-мелкозернистый с ангидритовым цементом пористый. (рис. 3-4).

Структура средне-мелкозернистая с размером обломков от 0,06 до 0,72 мм. Тонкопесчаная фракция содержится в количестве 2 %, мелкая-65%, средняя-30%, крупная-3 %. Обломки полу окатанные, не окатанные, редко окатанные, в разной степени корродированные. Форма обломков неправильно изометричная, удлиненная, овальная, редко неправильно таблитчатая, таблитчатая, изометричная. Обломочная часть средне сортированная.

Цемент составляет 8%, представлен ангидритом. Тип цементации коррозионно-поровый. Ангидрит образует отдельные пятна неправильно изометричной и овальной формы размером от 1,44 до 5,0 мм. Основная цементация осуществляется за счет конформных линейных контактов и редко контактов соприкосновения.

Емкостное пространство составляет 20 %, представлено меж зерновыми порами, кавернами растворения микроучастков породы и единичными межзерновыми порами. Размер пустот равен 0,06-0,72 мм, форма неправильно изометричная, удлиненная, удлиненно изогнутая, треугольная, неправильно прямоугольная. Распределение пустот относительно равномерное. Относительность определяется расположением ангидритового цемента.

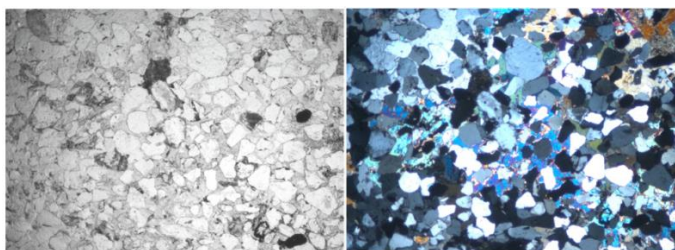


**Рисунок 3-4.** Песчаник средне-мелкозернистый с ангидритовым цементом пористый, ангидритовый цемент коррозионно-порового типа, рис.3 -  $\times 25$ , н //, рис. 4 –  $\times 100$ , н х. Среднее значение  $K_{пор}$  = 21%.

- Песчаник кварцевый средне-мелкозернистый с ангидритовым цементом плотный. (рис. 5-6).

Структура средне-мелкозернистая с размером обломков от 0,4 до 1,6 мм. Алевритовая фракция содержится в количестве 2%, тонкопесчаная -5%, мелкая-66%, средняя-26%, крупная-1%, грубая – менее 1%. Обломки полуокатанные, редко окатанные и неокатанные, в разной степени корродированные. Форма обломков неправильно изометричная, удлиненная, овальная, редко неправильно таблитчатая, таблитчатая, изометричная, угловатая. Обломочная часть средне сортированная. Цемент составляет 25%, представлен ангидритом (20%) и кальцитом (5%). Тип цементации коррозионно-поровый. Ангидрит располагается равномерно, кальцит отдельными пятнами.

Емкостное пространство отсутствует. Через шлиф проходит открытая трещина шириною до 0,9 мм, вероятно, техногенного происхождения.



**Рисунок 5-6.** Песчаник кварцевый средне-мелкозернистый,  $\times 25$ , н //, н х. Среднее значение  $K_{пор}$  = 6,4%

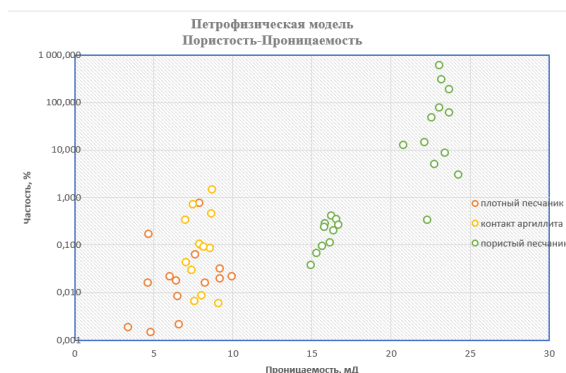
- Контакт аргиллита с алевритовой примесью, с включениями пирита и песчаника мелко-среднезернистого кварцевого с глинисто-ангидритистым цементом, плотного (рис. 7). Органическое вещество составляет до 3-4% объёма аргиллита и окрашивает породу в бурый цвет. Песчаник представлен преимущественно кварцевой обломочной частью с единичными зёрнами полевых шпатов. Размер зёрен от 0,02 до 0,5 мм, форма от неокатанной до окатанной преобладает полуокатанная. Цемент

представлен смесью глинистого порового и ангидритистого пойкилитового и составляет около 25% объема песчаника.



**Рисунок 7.** Контакт аргиллита с алевритовой примесью. Среднее значение  $K_{пор} = 7,9\%$

По результатам петрофизического изучения среднее значение открытой пористости продуктивной части составляет 14%, проницаемость коллектора колеблется от 0,094 до  $0,313 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ .



**Рисунок 8.** Результаты изучения пористости и проницаемости по трем изученным литотипам

## Выводы

Была выполнена литологическая характеристика 11 литотипов, сделано подробное литологическое описание 3, обладающих наиболее наглядными различиями, и изучены их петрофизические свойства.

## Благодарность

Огромная благодарность Галине Валентиновне Агафоновой за мотивацию, напутствия и наставления в процессе выполнения данной работы.

## Библиография

1. В.Г. Кузнецов / Литология природных резервуаров нефти и газа | Геологический портал GeoKniga
2. Максимов, Евгений Максимович - Литология природных резервуаров нефти и газа : учебное пособие для подготовки бакалавров и магистров
3. Л.Н. Константинова, С.А. Моисеев, М.И. Романов/ Прогнозирование участков улучшенных коллекторских свойств терригенного венда в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Енисейского кряжа (cyberleninka.ru)

4. Н.К. Фортунатова, Г.В. Агафонова/ Песчаники. Состав, структура, классификация, макроописание и изучение в шлифах | Геологический портал GeoKniga

*Применение искусственных нейронных сетей и сейсмических атрибутов для изучения распределения пород-коллекторов позднеолигоценового отложения в Кылуонгском бассейне. Нгуен М.Х.\* (Ханойский университет горного дела и геологии, [nguyenminhhoa@humg.edu.vn](mailto:nguyenminhhoa@humg.edu.vn)), Нгуен З.М. (Ханойский университет горного дела и геологии, [nguyenduytuoioi@humg.edu.vn](mailto:nguyenduytuoioi@humg.edu.vn)), Буй Т.Н. (Ханойский университет горного дела и геологии, [buithingan@humg.edu.vn](mailto:buithingan@humg.edu.vn))*

## **Аннотация**

В данном исследовании представлены результаты прогнозирования распределения пород коллекторов позднеолигоценового отложения в Кылуонгском бассейне на основе применения искусственных нейронных сетей (ИНС) и сейсмических атрибутов. Авторы использовали неконтролируемое обучение (unsupervised neuron network – UNN) и UNN, связанное с методом главных компонент (Principal component analysis - PCA) для разделения сейсмических фаций. Сейсмические атрибуты, такие как RMS, Frequence, Envelope, RAI, Phase, Sweetness, Amplitude, t-Attenuation были проанализированы и выбраны в качестве входных данных для обучения и тестирования ИНС. По результатам исследований установлено распространение позднеолигоценовых потенциальных песчаников на изучаемой территории бассейна Кылуонг, которые отлагались в озерном осадконакоплении.

## **Ключевые слова**

Неконтролируемое обучение, метод главных компонент, сейсмические атрибуты.

## **Теория**

Особый интерес к коллектору олигоцена вызван постепенным истощением объемом добычи нефти из трещиноватого фундамента и структурных ловушек, и возможностью поиска и разведки неструктурных ловушек углеводородов.

В последние годы, анализ сейсмических атрибутов с сильным развитием современных технологий, применяемых в обработке и интерпретации сейсмических данных, стал эффективным инструментом для решения геологических задач, таких как определение прямых индикаторов УВ, оценка свойств коллекторов и прогноз русел древних рек, где песчаные тела могут существовать в неструктурных ловушках. В данной работе анализ сейсмических атрибутов в сочетании с искусственной нейронной сетью был применен для прогнозирования распределения коллекторов позднеолигоценового отложения в Кылуонгском бассейне (рис. 1). На изучаемом участке пробурена одна скважина в миоценовые отложения.

Позднеолигоценовые отложения представлены в основном песчаники, глины с прослоями алевролитов и аргиллитов. Осадконакопление происходило в озерно-речных условиях. Структурно-тектонические характеристики района исследований подчиняются общей структурно-тектонической эволюции Кылуонгского бассейна. Система тектонических нарушений возможно, разделяются на две группы на основании истории их формирования и распределения: система нарушений СВ-ЮЗ и субширотного простирания [1, 3].

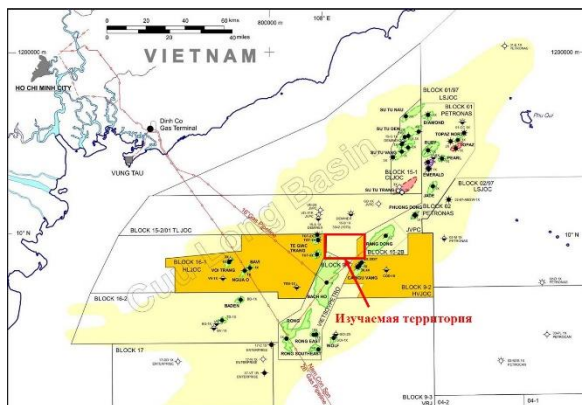


Рисунок 1. Обзорная карта района исследования

Это исследование было выполнено на основе сейсморазведки 3D-PSTM на участке площадью 300 км<sup>2</sup>. В целом, сейсмические данные имеют высокое разрешение и хорошее качество, что обеспечивает их интерпретацию и анализ сейсмических атрибутов. Анализ сейсмических атрибутов проводился с помощью программного обеспечения Petrel. Два горизонта С и D были извлечены из этих данных, чтобы определить кровлю и подошву коллектора с сетью 10x10 инлайном/кросслайном. В этом исследовании неконтролируемое обучение (unsupervised neuron network – UNN) и UNN, связанное с методом главных компонент (Principal component analysis - PCA) использованы для прогноза распределения пород-коллекторов позднеолигоценовых отложений. PCA был введен несколько десятилетий назад для обнаружения малозаметных особенностей в сейсмических данных [4]. В качестве исходных данных для классификации сейсмических фаций используются 8 сейсмических атрибутов, таких как Amplitude (RAW), RMS, Frequency, Envelope, RAI, Phase, Sweetness, t-Attenuation. Основываясь на сохраненных критериях изменчивости, алгоритм автоматически выводит 8 основных компонентов (PC1 – PC8), из которых вычисляются независимые компоненты (рис. 2). Главные компоненты отсортированы и представлены своими собственными значениями. Таким образом, первая главная компонента (PC1) является самой сильной в этих данных и представляет 39,23% изменчивости (рис. 3). Мы решили выбрать 4 основных компонента (PC1-PC4), которые представляют 86,49%.

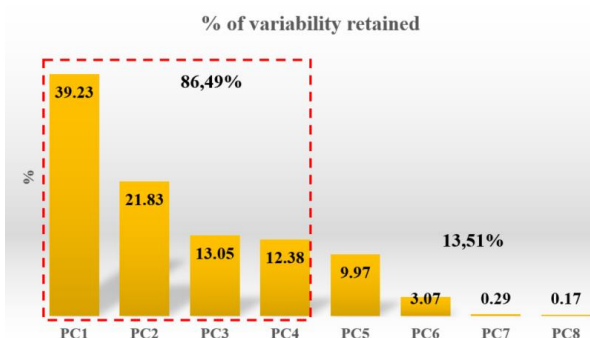
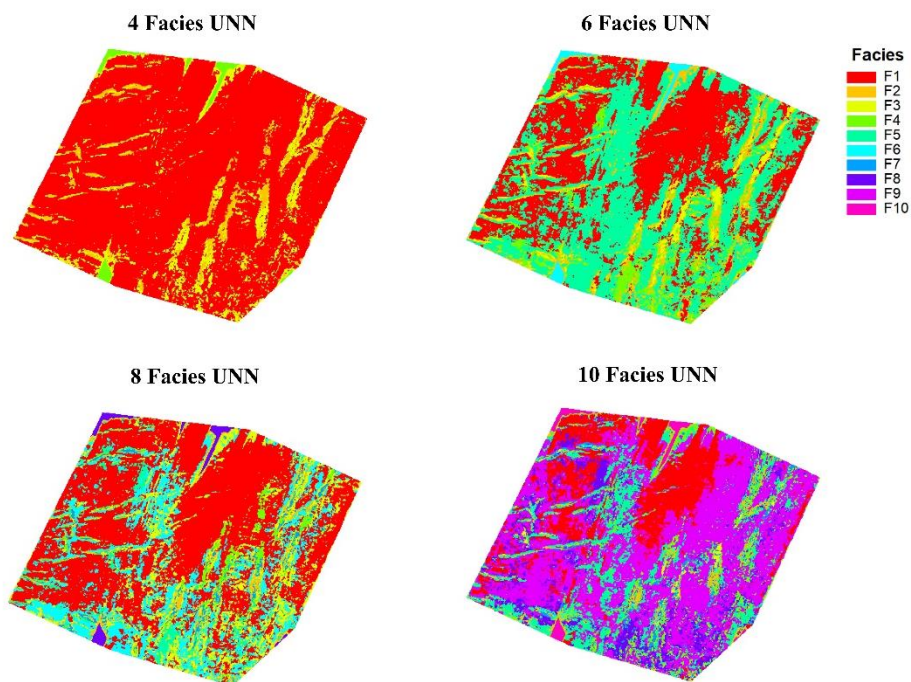
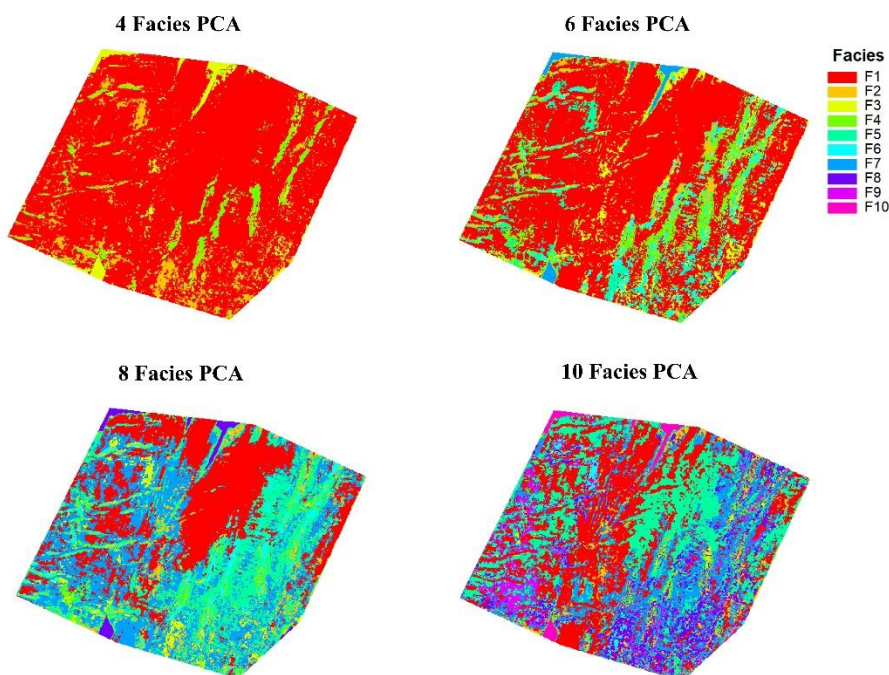


Рисунок 2. Изменчивость сохранена

Метод UNN и UNN с PCA используются для разделения 8 сейсмических атрибутов на ряд различных фаций (сейсмических фаций) для прогноза распределения пород коллекторов в изучаемой территории. Для улучшения результатов по каждому методу опробовано от 4 до 10 классов сейсмических фаций. Результаты показаны на рисунке 3 для метода UNN и на рисунке 4 для метода UNN в сочетании с PCA. Сравнивая результаты на рисунке 3 и рисунке 4, можно увидеть, что метод UNN в сочетании с PCA поможет уменьшить шум в сейсмических данных лучше, чем только UNN.



**Рисунок 3.** Результаты классификации сейсмофаций по методу UNN



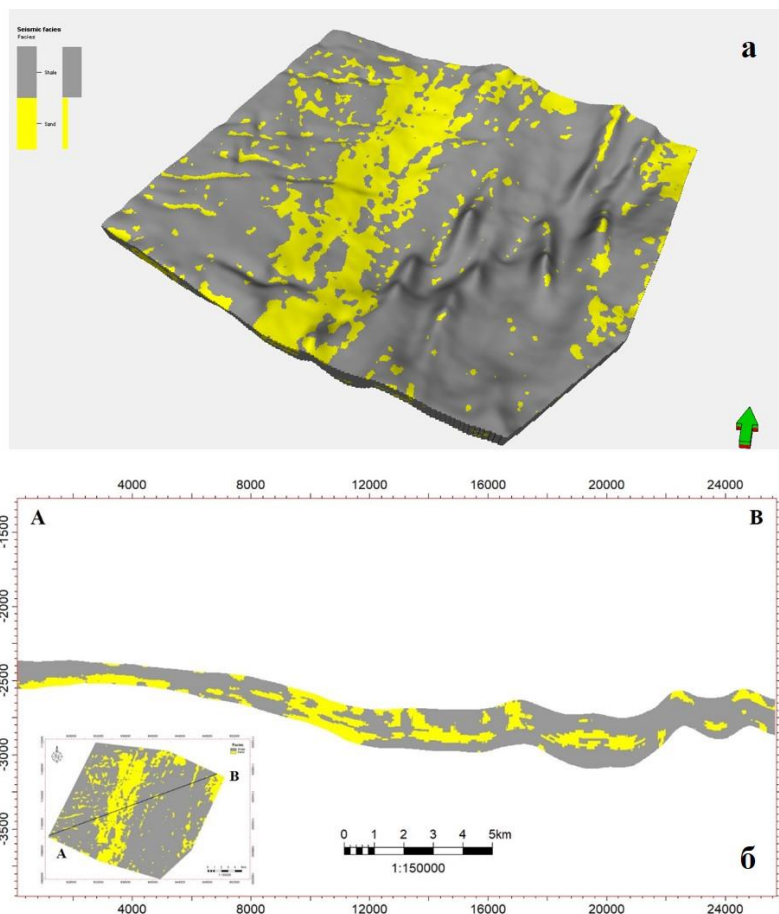
**Рисунок 4.** Результаты классификации сейсмофаций по методу UNN с PCA.

Основываясь на гистограмме десяти сейсмических фаций, авторы решили сократить количество фаций до 2-х типов: сланцы (класс I - неколлектор) и песчаники (класс II - коллектор).

Фациальная модель (рис. 5) показывает, что потенциальные песчаные тела (желтые) в основном сосредоточены на склонах крупного озера с направлением переноса осадков с запада и северо-запада. Согласно результатам исследований позднеолигоценовой обстановки осадконакопления [2], район исследования полностью находился в озерном осадконакоплении. Результаты анализа сейсмических атрибутов,



фациальной модели и условий осадконакопления показывают достаточно постоянство и надежность.



**Рисунок 5.** Классификация двух сейсмических фаций в 3D-модели (а); поперечный разрез А-В, показывающий распределение коллектора (б).

### Выводы

Результаты показали, что анализ сейсмических атрибутов может извлечь максимум геологической информации из сейсмических данных, которая в противном случае скрыта в данных и использовалась для выявления потенциальных коллекторов позднего олигоцена в исследуемой области. Использование метода UNN в сочетании с PCA помогает уменьшить шум входных данных лучше, чем использование только UNN.

### Библиография

1. Отчет «Изучение характеристик олигоценых и миоценовых осадочных горизонтов структуры OMG/HCD блока 09-2/10», Вунгтау, 2015, 159 с.
2. Luu Minh Luong, Duong Manh Hiep, Ngo Van Them, Nguyen Van Dung, Pham Tuan Anh. Integrated seismic attributes with facies depositional environment/petrophysical studies to predict the Oligocene stratigraphic reservoir distribution and properties at block 09-2/10 Cuu Long basin. PetroVietnam Journal, 2020, v.5, p. 44-50.
3. Nguyen Hiep et al. The Petroleum Geology and Resources of Vietnam. – Science and Technics Publishing House, 2019. – 750 p.
4. Scheevel J.R., Payrazyan K. Principal component analysis applied to 3D seismic data for reservoir property estimation. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 2019, v.4 (1), p. 64-72.

*Улучшение характеристик карбонатных пород коллекторов путем применения методов рок-типизации пород: на примере Южно-Коншонского бассейна. Нгуен М.Х.\* (Ханойский университет горного дела и геологии, [nguyenminhhoa@hugm.edu.vn](mailto:nguyenminhhoa@hugm.edu.vn)), Ха К.М. (Petrovietnam Корпорация разведки и добычи, [manhq@pvep.com.vn](mailto:manhq@pvep.com.vn))*

## Аннотация

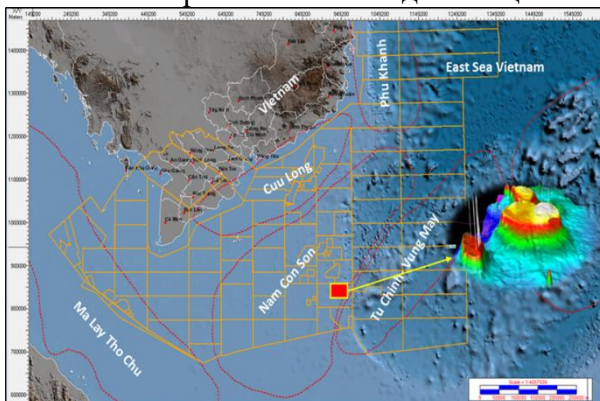
В этом исследовании освещаются некоторые из теоретических и практических методов, таких как гидравлические единицы потока (HFU), глобальный гидравлический элемент (GHE), Winland R<sub>35</sub>. Они предложены и протестированы для идентификации и характеристики типов пород с использованием базы данных 555 образцов керна из миоценового карбонатного коллектора в Южно-Коншонском бассейне. Было признано, что предсказанные типы пород-коллекторов и прогноза проницаемости методом HFU обеспечивают лучшее соответствие измеренной проницаемости по керну с коэффициентом более 94%.

## Ключевые слова

Рок-типирование, карбонатные породы, Южно-Коншонский бассейн.

## Теория

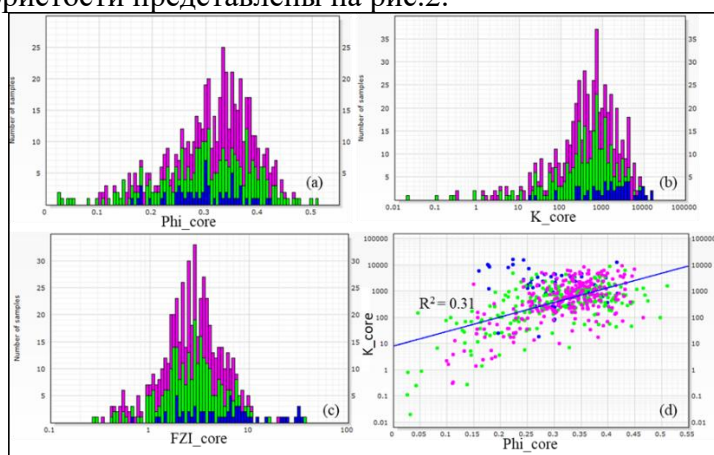
Южно-Коншонский бассейн известен как самый крупный осадочный бассейн на шельфе южного Вьетнама. Район исследования находится в юго-восточной части этого бассейна. Коллектора представляют собой крупную изолированную карбонатную постройку средней мощностью 500 м, занимающую площадь около 50 км<sup>2</sup> (рис. 1). Постройка состоит из карбонатов позднего миоцена, перекрывающих более обширную карбонатную платформу среднего миоцена. Карбонаты отлагались внутри мелководной морской платформы, и в них преобладают кораллы, красные водоросли и фораминиферовые пакстоуны, вакстоуны и грейстоуны. Углеводороды в этом коллекторе обнаружены в самой верхней части позднемиоценовой толщи [2].



**Рисунок 1.** Обзорная карта района исследования

В этом исследовании данные керна из миоценового карбонатного коллектора были классифицированы в соответствии с типом породы. Были применены шесть методов классификации типов пород. Для выбора наилучшего метода типизации был рассчитан коэффициент корреляции ( $R^2$ ) между прогнозируемой проницаемостью ( $K_{pre}$ ) и проницаемостью керна ( $K_{core}$ ) для каждого метода типизации пород. Из 3 скважин были использованы 555 образцов керна. Гистограммы пористости (а),

проницаемости (b), выделении единиц потока (FZI) (c), кросс-график (d) зависимости проницаемости от пористости представлены на рис.2.



**Рисунок 2.** Гистограммы пористости (a), проницаемости (b), FZI (c) и кросс-плот зависимости проницаемости от пористости (d).

## Результаты

В ходе исследования классификации типов пород для карбонатных коллекторов была протестирована для 555 данных керновых проб, полученных в результате обычного анализа керна с использованием пяти описанных выше методов. Результаты каждого метода будут обобщены и обсуждены ниже.

Чтобы просмотреть и распознать все типы пород в этом карбонатном резервуаре, первым методом, который мы применили, был метод GHE. В этом методе FZI [1] рассчитывался по пористости и проницаемости керна и использовался в качестве ключевого параметра для классификации коллектора по разным GHE. На следующем этапе данные пористости керна (PHI\_core) и проницаемости (K\_core) были спроецированы на соответствующий шаблон GHE, построенный для каждого GHE. В результате было определено 8 различных GHE (диапазон от GHE\_2 до GHE\_10) на основе 555 доступных образцов керна (рис. 3а). В пределах каждого GHE проницаемость предсказуема на основе сильной взаимосвязи пористости и

$$K = \Phi_e \left[ \frac{FZI \cdot \Phi_e}{0.0314} \right]^2 \quad (1)$$

проницаемости, заданной уравнением

где  $\Phi_e$  – эффективная пористость,  $K$  – проницаемость (мД), FZI – мкм.

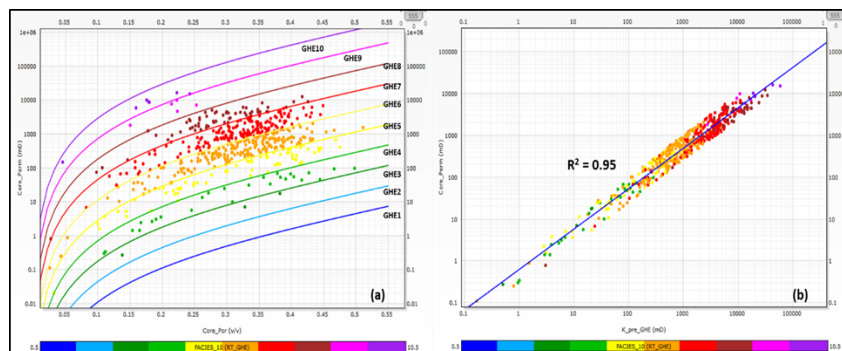
Кросс-плот измеренной проницаемости по сравнению с проницаемостью, рассчитанной для групп с различными средними значениями FZI (таблица 1), показан на рисунке 3b, где коэффициент корреляции  $R^2 = 0,95$  почти идеален.

**Таблица 1.** Среднее значение FZI для каждого GHE [3]

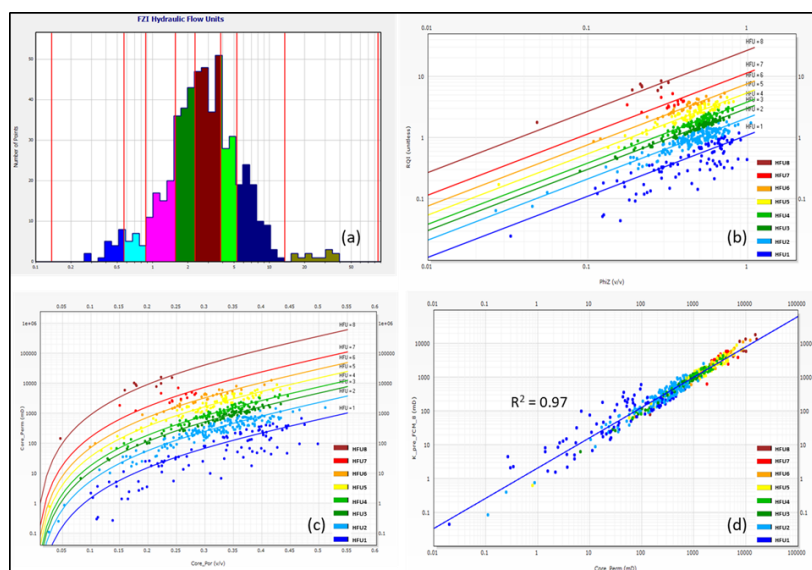
GHE	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
FZI	48	24	12	6	3	1.5	0.75	0.375	0.1875	0.0938

Второй метод классификации карбонатных пород основан на методе HFU. В этой части мы можем определить, что каждый тип породы равен HFU. В этом методе классификация HFU на основе гистограммы (рис. 4а), вероятностного графика и метода кластеризации Уорда предполагала разделение данных на группы FZI. Чтобы сравнить результаты с методом GHE, описанным выше, мы также пытаемся разделить карбонатный коллектор на восемь кластеров, соответствующих восьми HFU или

восьми типам пород. На основе классификации HFU был построен график зависимости  $PHI_z$  от  $RQI$  для каждого HFU (рис. 4б). Анализ кроссплота  $PHI_z$  по сравнению с  $RQI$  показал четкую группировку по 8 классам HFU (рис. 4с) в соответствии со средними значениями  $FZI$ . Проницаемость можно предсказать для каждого HFU, используя уравнения (1). Кроссплот измеренной проницаемости ( $K_{core}$ ) по сравнению с расчетной проницаемостью ( $K_{hf}$ ) для групп с различным средним значением  $FZI$  показывает почти идеальную корреляцию ( $R^2 = 0,97$ ) (рис. 4д).



**Рисунок 3.** Результаты метода GHE: (а) Кроссплот данных проницаемости и пористости на фоне 8 GHE; (б) Кроссплот  $K_{ghe}$ , рассчитанный на основе отношения  $FZI$  и  $PHI_{core}$  для 8 GHE по сравнению с  $K_{core}$ .



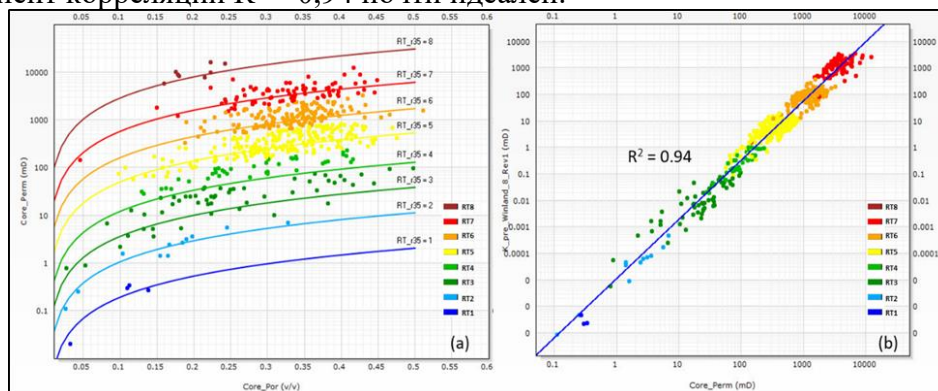
**Рисунок 4.** Результаты метода HFU: (а) гистограмма  $FZI$ ; (б) кроссплот  $PHI_z$  по сравнению с  $RQI$ ; (с) кроссплот  $Phi_{core}$  и  $K_{core}$ , соответствующий 8 HFU; (д) кроссплот для сравнения  $K_{core}$  и  $K_{pre}$  для метода HFU.

Основываясь на радиусе эффективной поры, распределении пористости и проницаемости ядра на линии устья изопоры, как показано на рисунке 5а, и на этом графике мы можем определить тип породы на основе сходства эффективного размера пор методом Winland  $R_{35}$ . Чтобы сравнить результаты с вышеприведенным методом HFU, мы также пытаемся разделить карбонатный коллектор на 8 классов  $RT_{R35}$ . Проницаемость была рассчитана ( $K_{pre\_R35}$ ) для этого метода с использованием уравнения:

$$\text{Log } R_{35} = 0.255 + 0.565 \log K - 0.523 \log \Phi \quad [4]$$

где  $\Phi$  – пористость (%),  $K$  – нескорректированная проницаемость (мД), и  $R_{35}$  радиус порового канала при частоте насыщения рутью 35% из теста MICP.

График зависимости  $K_{pre\_R35}$  от  $K_{core}$  показан на рисунке 5б, где коэффициент корреляции  $R^2 = 0,94$  почти идеален.



**Рисунок 5.** Результаты метода Winland  $R_{35}$ : (а) Кросс-плот проницаемости против данных пористости на фоне 8  $RT_{R35}$ ; (б) Кросс-график  $K_{R35}$ , рассчитанный на основе зависимости 8  $RT_{R35}$  от  $K_{core}$ .

## Выводы

Мы протестировали 3 метода типизации пород: GHE, FZI и Winland  $R_{35}$ . Используемые образцы взяты из 555 данных керна из миоценовых карбонатных коллекторов, включая платформы и рифы. Все методы показали действительно хорошие коэффициенты корреляции более 94% для прогноза проницаемости. В этом примере метод HFU является лучшим, который может предсказать концепции гидравлических единиц потока в карбонатном коллекторе, поэтому этот метод может применяться для прогноза проницаемости для этих карбонатных коллекторов. GHE и также дает хорошие результаты при быстрой, точной и эффективной классификации типов пород применительно к карбонатным коллекторам с ограниченным набором данных керна. Хотя различные методы, применяемые для классификации карбонатных пород по керновым данным, показывают хорошие результаты, однако предсказание типов пород в карбонатах очень сложно, учитывая различную степень неоднородности, и, во-первых, необходимо провести подобное седиментологическое исследование, чтобы понять диагенетический отпечаток и его влияние на проницаемость. Такой подход был более реалистичным чем простое рассмотрение графиков зависимости пористости от проницаемости и попытки вывести из них типы пород.

## Библиография

1. Amaefule, J.O.; Altunbay, M.; Tiab, D.; Kersey, D.G.; Keelan, D.K., (1993). Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells. The SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 3–6 October 1993, Houston, TX, USA, p. SPE-26436-MS.
2. Bui Viet Dung, Hoang Anh Tuan, Nguyen Van Kieu, Ha Quang Man, Nguyen Thi Thanh Thuy, Pham Thi Dieu Huyen (2018). Depositional environment and reservoir quality of Miocene sediments in the central part of the Nam Con Son basin, Southern Vietnam shelf. Marine and Petroleum Geology, v. 97, p. 672-689.
3. Corbett, P.; Ellabad, Y.; Mohammed, K.; Pososyaev, A. (2003). Global Hydraulic Elements—Elementary Petrophysics for Reduced Reservoir Modelling. The 65th EAGE Conference & Exhibition, 2–5 June 2003, Stavanger, Norway, p. cp-6-00256.

4. Kolodzie S., (1980). Analysis of pore throat size and use of the Waxman-Smits equation to determine OOIP in Spindle Field, Colorado. The SPE Annual Technical Conference and Exhibition, September 1980, Dallas, Texas, USA. SPE 9382.

**Ресурсный потенциал северной части Сибирской платформы. Песков Д.В.\*  
(Санкт-Петербургский Горный Университет, s225010@stud.spmi.ru)**

**Аннотация**

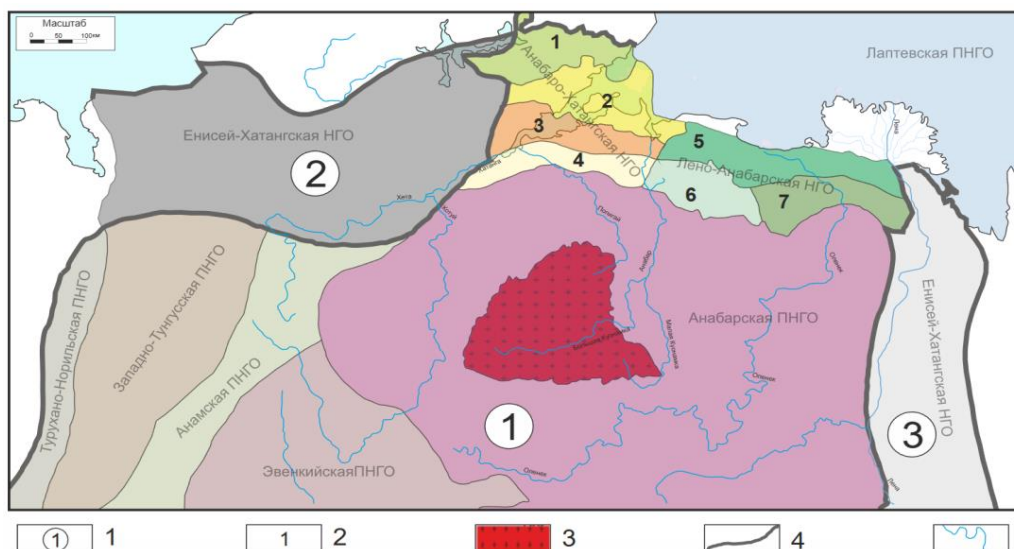
Постепенно идет истощение ресурсной базы таких провинций, как Северо-Кавказская, Волго-Уральская, Тимано-Печорская и Западно-Сибирская, в связи с чем, ставится актуальная задача по восполнению ресурсов за счет северных и морских районов Российской Федерации. Открытие и разработка новых месторождений углеводородов в прибрежной части Сибирской платформы даст толчок для развития инфраструктуры региона, его экономики, а также позитивно повлияет на развитие Северного Морского Пути. Северная окраина Сибирской платформы интересна и как территория для открытия традиционных залежей углеводородов, так и регион с перспективными битуминозными и сланцевыми скоплениями нефти и газа.

**Ключевые слова**

Ресурсы углеводородов, Сибирская платформа, Лено-Анабарская НГО, Анабаро-Хатангская НГО, Анабарская НГО.

**Теория**

Сибирская платформа занимает 4-е место на территории России после Западно-Сибирской, Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций по концентрации ресурсов углеводородов на суше. Причем Анабарская НГО содержит до  $\frac{3}{4}$  ресурсной базы Сибирской платформы.



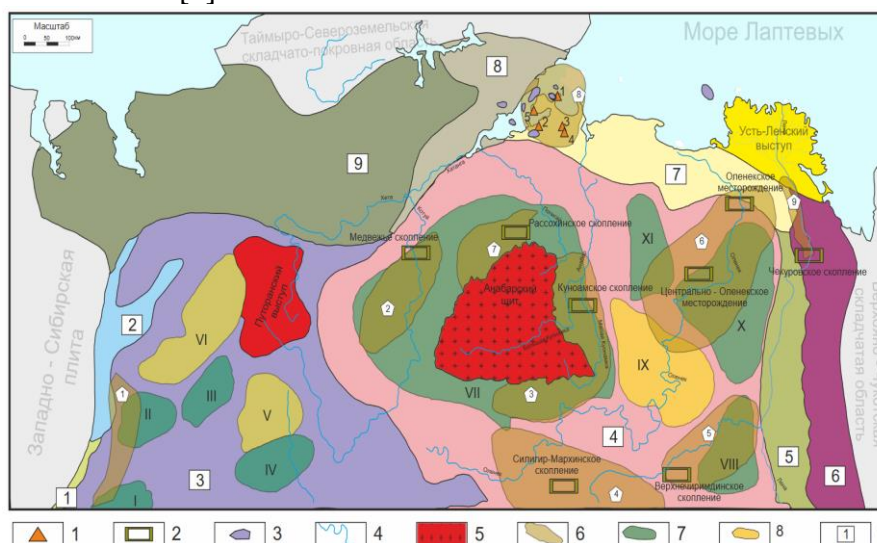
**Рисунок 1.** Схема нефтегазогеологического районирования северной и центральной части Сибирской платформы

**1** Нефтегазогеологические провинции: 1- Лено-Тунгусская НГП; 2- Западно-Сибирская НГП; 3- Лено-Вилуйская НГП; **2** Нефтегазогеологические районы Анабаро-Хатангской НГО: 1- Восточно-Предтаймырский НГР; 2- Нордвикский НГР; 3- Хатагский НГР; 4- Попигай-Анабарский НГР; и Лено-Анабарской НГО: 5- Предлаптевский НГР; 6- Северо-Анабарский

НГР; 7- Хастахский НГР; 3 Выходы кристаллического фундамента; 4 Границы НГП; 5 Крупные реки.

На сегодняшний день остается достаточно дискуссионным вопрос о нефтегазогеологическом районировании северной части Сибирской платформы. С позиции платформенного анализа Анабаро-Хатангскую НГО необходимо рассматривать в составе Западно-Сибирской НГП, а Лено-Анабарскую НГО в составе Лено-Тунгусской НГП. Однако с точки зрения общности распространения основных осадочных толщ нефтегазоносные области стоит рассматривать в составе Лено-Тунгусской НГП (рисунок 1).

Сложные погодные и геоморфологические условия определили слабую геологическую изученность центральной и северной части платформы. В северной части Сибирского кратона в пределах Лено-Анабарского мегапрогиба пробурено 6 параметрических скважин. Плотность сейсмических профилей Лено-Анабарского мегапрогиба составляет  $0,09 \text{ км} / \text{км}^2$ , плотность бурения  $0,19 \text{ м} / \text{км}^2$  [6]. Более высокой геологической изученностью отличается Анабаро-Хатангская седловина (пробурено 54 скв и отработано 4110 сейсмопрофилей методом МОГТ [7]). В целом на исследуемой территории пройдено 13 630 км сейсмических профилей (без учета морской сейсморазведки) [6]. Средняя плотность сейсмических профилей для северной части Сибирской платформы составляет  $0,095 \text{ км} / \text{км}^2$  [8]. Для сравнения регионы со схожими климатическими условиями Западно-Сибирской провинции, например для Ямало-Ненецкого автономного округа плотность поискового бурения  $22,1 \text{ м} / \text{км}^2$ , а для ХМАО в три раза выше -  $61,9 \text{ м} / \text{км}^2$ , плотность сейсмических работ  $0,94 \text{ км} / \text{км}^2$  и  $0,96 \text{ км} / \text{км}^2$  соответственно [1].



**Рисунок 2.** Схематическая карта геолого-тектонического строения северной и центральной части Сибирской платформы

**1** Месторождения традиционных углеводородов : 1- Нордвикское; 2- Ильинско-Кожевниковское; 3- Чайдахское; 4- Южно-Тиганское; 5- Центральное-Ольгинское; 2 Скопления и месторождения битумов; 3 Соляные диапиры; 4 Крупные реки; 5 Выходы кристаллического фундамента; 6 Битумные поля: 1- Турханское битумное поле; 2- Западно-Анабарское битумное поле; 3- Восточно-Анабарское битумное поле; 4- Южно-Анабарское битумное поле; 5- Верхне-Мунско-Моторучинское битумное поле; 6- Оленекское битумное поле; 7- Северо-Анабарское битумное поле; 8- Нордвикская битумо-нефтяная область; 9- Чекуровская битумная область; 7 Положительные структуры: I- Сурингдаконский выступ; II- Северореченский выступ; III- Агатский свод; IV- Ядунский свод; VII- Анабарский мегасвод; VIII- Мунский свод; X- Оленекский свод; XI- Уджинский свод; 8 Отрицательные структуры: V- Верхне-Кочечумская впадина; VI- Ламско-Хатангский мегапрогиб; IX- Суханская впадина; 9 Крупные тектонические структуры: 1- Курейско-Бакланихинский мегавал; 2- Хатайско-



Рыбинский мегавал; 3- Курейская синеклиза; 4- Анабарская антеклиза; 5- Предверхоаянский краевой прогиб; 6- Предверхоаянский надвиговый пояс; 7- Лено-Анабарский мегапрогиб; 8- Анабаро-Хатангская седловина; 9- Енисей-Хатангский региональный прогиб.

Не смотря на слабую изученность в северной части Сибирской платформы и прилегающих территориях, открыты месторождения углеводородов (Нордвикское, Чайдахское, Южно-Тигянское, Ильинско-Кожевниковское, Центрально-Ольгинское), а также битумные месторождения (Оленекское месторождение, Центрально – Оленекское месторождение, Рассохинское скопление, Медвежье скопление, Куонамское скопление, Чекуровское скопление, Силигир-Мархинское скопление, Верхнечиримдинское скопление) (рисунок 2).

О перспективах северной окраины платформы свидетельствуют многочисленные естественные выходы битумов. В битумных месторождениях в пределах Анабарской и Оленекской зон битумонакопления в статье [4] оценивается более 5 млрд т.

Также предлагается рассматривать куонамскую свиту как источник сланцевых углеводородов. Содержание органического углерода варьируется в широких пределах от 2,13 до 24,24 % (в среднем 6,4 %). Ресурсы сланцевого газа для всей платформы оцениваются в 1,1 трлн м<sup>3</sup> и сланцевой нефти 3 млрд т [12]. Вероятно, свита может выступать источником сланцевых углеводородов в пределах Суханского осадочного бассейна.

Для Анабаро-Хатангской НГО начальные суммарные ресурсы (НСР) специалистами ВСЕГЕИ оцениваются 3,15 млрд т.у.т. [11].

В работе [2] произведена оценка ресурсов углеводородов для северных территорий Сибирской платформы. Ресурсы Анабаро-Хатангской НГО авторами оцениваются в 1,892 млрд т.у.т., ресурсы Лено-Анабарской НГО в 1,978 млрд т.у.т..

Схожие значения НСР представлены в работе [5]. Для Анабаро-Хатангской НГО 1,8 (извлекаемые 0,79) млрд т.у.т., из них 1,3 (извлекаемые 0,33) млрд т нефти и 430 млрд м<sup>3</sup> газа. Для Лено-Анабарской НГО 1,43 (извлекаемые 0,5) млрд т.у.т., из них 1,27 (извлекаемые 0,38) млрд т нефти и 100 млрд м<sup>3</sup> газа.

Еремин Н.А. и Шабалин Н.А. в статье [3] оценили ресурсы Лено-Анабарской НГО в 2,437 млрд т.у.т. на суше и 0,384 млрд т.у.т. на шельфе. Для Анабаро-Хатангской НГО ресурсный потенциал оценивается в 7,776 млрд т.у.т..

В западных частях северной окраины Сибирской платформы осложняет геологическое строение проявившийся на рубеже перми и триаса трапповый магматизм, который, по всей вероятности, играл отрицательную роль в процессе формирования месторождений. В работе [10] это объясняется разгерметизацией резервуаров, внедрением флюидов и расплавов, зональными катагенетическими преобразованиями органического вещества.

Позитивную роль в процессе нефтегазонакопления играют девонские соли, распространенные в пределах Анабаро-Хатангской НГО. С солянокупольной тектоникой связано Нордвикское газонефтяное месторождение. Численные эксперименты, проведенные в работе [9] показали, что формирование соляных куполов началось в начале пермского периода. Основной рост структур пришелся на мезозой. Наличие соляных толщ, вероятно, стоит ожидать в акватории моря Лаптевых.

### **Выводы**

Таким образом, по пессимистичным прогнозам, ресурсный потенциал традиционных углеводородов северной части Сибирской платформы составляет порядка 4,58 млрд т.у.т.. По более оптимистичным прогнозам цифра удваивается и составляет 9,73 млрд т.у.т.. В этих оценках, выполненных преимущественно объемно-статистическим методом, не учитываются магматические и тектонические процессы,

которые, вероятно, имеют отрицательный эффект на нефтегазонакопление и реальные цифры могут оказаться существенно ниже.

Также нами было уточнено нефтегазогеологическое районирование северной части Сибирской платформы, согласно которому Лено-Анабарскую и Анабаро-Хатангскую НГО целесообразно рассматривать в составе Лено-Тунгусской НГП.

Дальнейший вектор геологоразведочных работ предлагается сосредоточить в наиболее погруженной северной части Лено-Анабарской НГО в перспективных пермских осадках.

### **Библиография**

1. Брехунцов А. М., Монастырев Б. В., Нестеров И. И. Закономерности размещения залежей нефти и газа Западной Сибири // Геология и геофизика. 2011. № 8 (52). С. 1001–1012.

2. Дмитриевский А. Н., Еремин Н. А., Шабалин Н. А. Углеводородный потенциал Арктической зоны Сибирской платформы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 1. С. 4–10.

3. Еремин Н. А., Шабалин Н. А. Нефтегазовый потенциал северной части Сибирской платформы // Актуальные проблемы нефти и газа. 2017. № 19 (4). С. 1–10.

4. Каширцев В. А. [и др.]. Месторождения природных битумов на северо-востоке Сибирской платформы (Российский сектор Арктики) // Геология и геофизика. 2010. № 1 (51). С. 72–82.

5. Конторович А. Э. [и др.]. Нефтегазогеологическое районирование Сибирской платформы (уточненная версия) 2017. С. 57–64.

6. Конторович В. А. [и др.]. Структурно-тектоническая характеристика и модель геологического строения неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Ленской зоны // Геология и геофизика. 2013. № 8 (54). С. 980–996.

7. Конторович В. А. [и др.]. Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. № 3 (14).

8. Конторович В. А. [и др.]. Сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2021. № 3.

9. Конторович В. А., Лунёв Б. В., Лапковский В. В. Геолого-геофизическая характеристика Анабаро-Хатангской нефтегазоносной области; численное моделирование процессов формирования соляных куполов (Сибирский сектор Российской Арктики) // Геодинамика и тектонофизика. 2019. № 2 (10). С. 459–470.

10. Кринин В. А., Порозов И. И. Влияние позднепермско-раннетриасового магматизма на нефтегазовый потенциал осадочных бассейнов Сибирской платформы на примере Анабаро-Хатангской седловины // Геология неф. 2019. № 2. С. 25–38.

11. Ларичев А. И., Чеканов В. И., Оленникова Е. В. Разработка современной модели геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины и прилегающих территорий. Санкт-Петербург, 2011.

12. Мельник Д. С., Парфенова Т. М., Рогов В. И. Биодegradированные рассеянные битумы в породах хатыспытской свиты венда (неопротерозоя) на северо-востоке Сибирской платформы // Георесурсы. 2020. № 2 (22). С. 37–44.

***Геологическое моделирование полифациальной системы палеорусел Тюменской свиты с целью оценки запасов углеводородов и определения объектов для дальнейшей доразведки. Полюх Н.А.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, [npolyukh@mail.ru](mailto:npolyukh@mail.ru))***

### **Аннотация**

Данное исследование посвящено построению детализированной геологической модели сложнопостроенной системы палеорусел Тюменской свиты одного из месторождений Западной Сибири.

Геологическое моделирование на сегодняшний день является одним из основных инструментов геолога для целей, связанных с разведкой месторождений нефти и газа. В данной работе благодаря учету значительных фациальных неоднородностей при использовании результатов интерпретации 3D сейсморазведки, исследований керна и геофизических исследований скважин (ГИС) построена модель сложнопостроенных залежей речных систем в пластах Тюменской свиты, оценены запасы углеводородов (УВ) и определены первоочередные объекты для доразведки.

### **Ключевые слова**

Тюменская свита, геологическое моделирование, речные системы, континентальные отложения, оценка запасов углеводородов.

### **Теория**

В связи с тенденцией истощения запасов УВ приуроченных к месторождениям простого геологического строения, возникает необходимость поиска и разведки залежей в сложнопостроенных резервуарах. Данная работа описывает процесс создания детализированной геологической модели залежей трудноизвлекаемых запасов пластов Тюменской свиты.

Для построения такого рода модели необходимо использовать весь комплекс имеющихся данных: результаты интерпретации сейсморазведки, ГИС и их результаты интерпретации [2], концептуальную модель осадконакопления, керновые исследования, результаты уже ранее выполненных исследований. Концептуальная модель изучаемого пласта представляет с собой полифациальные аллювиальные отложения меандрирующих палеорек. Для геометризации данных отложений по методу спектральной декомпозиции были получены полигоны распространения каналов и области распространения фаций речных систем.

Так как система палеорусел представлена каналами с различным заполнением – присутствуют мощные речные долины с расположенными в пределах них отмелями, тонкие заглинизированные русла пересекающие речные долины, а также пойменные отложения, в которых также содержатся запасы УВ [1], необходимо уже на этапе моделирования структурного каркаса учесть концептуальную модель. Для решения данного вопроса использовалась методика, которую можно представить в следующем виде (рисунок 1):

1. Анализ и выделение литотипов на основе керна, ГИС, сейсмофациального районирования, 2D геометризация каналов;

2. Построение карт общих толщин врезанных палеорусел;
3. Встраивание каналов в структурный каркас по результатам 2D геометризации;
4. Литологическое моделирование;
5. Петрофизическое моделирование.

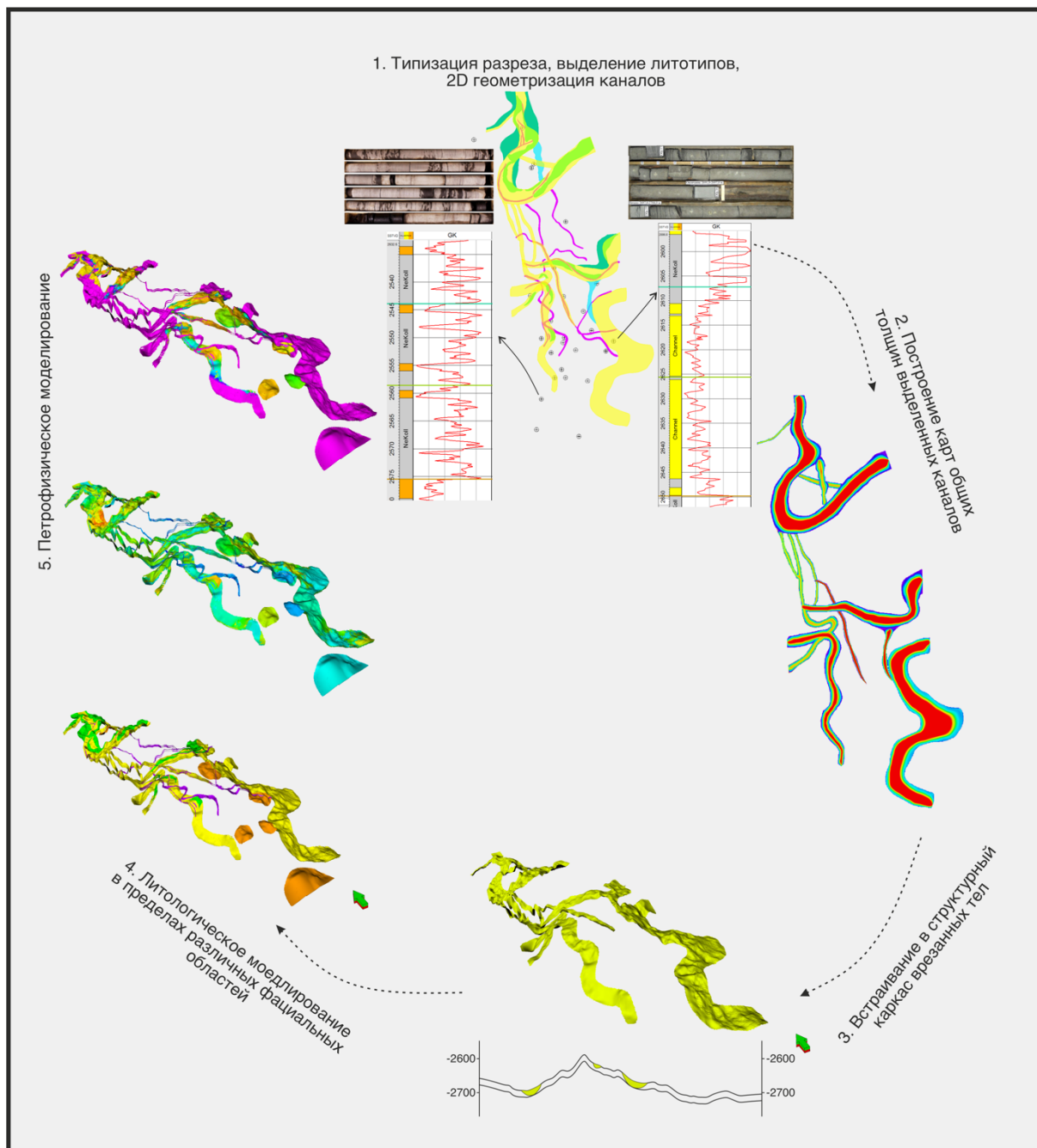


Рисунок 1. Этапы моделирования системы палеорусел

Такой подход позволил учесть сложную геометрию врезанных каналов, их соотношение друг с другом, а также значительно упростить дальнейшее литологическое и петрофизическое моделирование полифациальных отложений [4]. При литологическом моделировании использовались области распространения различных литотипов по сеймофациальному районированию. Для каждой фациальной области использовались тренды и проводился вариограммный анализ по скважинам,

которые вскрыли соответствующие отложения, подтвержденные керном. В итоге был получен куб литологии, отображающий пространственную геометрию врезанных каналов и связанных с ними отмелями, а также пойменных коллекторов, располагающихся за пределами палеорусел [3].

Для задач петрофизического моделирования первым этапом был построен куб пористости. Моделирование осуществлялось методом кригинг на основе скважинных данных. Далее следовало построение куба нефтенасыщенности, которое сопровождалось значительными неопределенностями, связанными с определением положения водонефтяного контакта (ВНК). Так как число скважин, вскрывших речные долины, очень мало для полной характеристики данных отложений и прослеживания зависимости от положения над уровнем ВНК, для задач моделирования нефтенасыщенности использовалась зависимость от пористости, имеющая допустимый коэффициент корреляции.

С целью учета значительной неопределенности, связанной с положением ВНК, был проведен анализ неопределенностей и вероятностная оценка запасов по залежам изучаемых пластов.

## Выводы

Построение детализированной геологической модели в условиях полифациальных аллювиальных отложений дало возможность правильно учесть геометрию врезанных каналов, провести литологическое моделирование по зонам распространения сейсмофаций. Как итог была выполнена главная задача геологического моделирования – проведена вероятностная оценка запасов УВ, проанализированы неопределенности, связанные с положением уровня ВНК. В заключении исследования были выявлены объекты для дальнейших геологоразведочных работ – отмели в пределах речных долин в мощном северном русле, неизученные скважинами.

## Библиография

1. Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном. Тверь: ГЕРС, 2011, 153 с.
2. Белозёров В. Б. Роль седиментационных моделей в электрофациальном анализе терригенных отложений / В. Б. Белозёров // *Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]*. — 2011. — Т. 319, № 1: Науки о Земле. — [С. 116-123].
3. Ежова, А. В. Литология нефтегазоносных толщ: учеб. пособие / Т. Г. Тен; Томский политехн. ун-т; А. В. Ежова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — 122 с.
4. Калугин А.А., Алексеева А.Д. Особенности структурного моделирования залежей нефти и газа в условиях полифациальных аллювиальных отложений // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2022. – № 11(371). – С. 27–34. – DOI: 10.33285/2413-5011-2022-11(371)-27-34

**Особенности геологического строения и подсчет запасов нефти залежи пласта А0 Краснооктябрьского месторождения Оренбургской области. Калбак Д. Д. \* (МГРИ, [Kalbak2001@mail.ru](mailto:Kalbak2001@mail.ru)). Научный руководитель: Потемкин Г.Н. (доцент, к.г.-м.н., МГРИ, [spotemkin@list.ru](mailto:spotemkin@list.ru))**

## Аннотация

Цель работы заключается в изучении геологического строения на основе 2D моделирования и пересчете запасов нефти залежи пласта А0 Краснооктябрьского месторождения Оренбургской области. С помощью ПО «Autocorr» построена геологическая модель и был произведен пересчет запасов нефтяного пласта А0 Краснооктябрьского месторождения.

## Ключевые слова

Краснооктябрьское месторождение, моделирование, подсчет запасов, нефть.

## Теория

В административном отношении Краснооктябрьское газонефтяное месторождение расположено в Бугурусланском и Асеевском районах Оренбургской области, в 35 км к востоку от г.Бугуруслан. Месторождение открыто в 1967г. Рассматриваемый объект расположен в зоне сочленения двух структур I порядка: южного склона Татарского свода и северного борта Бузулукской впадины. Продуктивный пласт каширского горизонта А0 относится к нижнемосковскому ярусу, перекрывается залегающими в ее кровле карбонатами подольского горизонта [4].

Каширский горизонт вскрыт всеми 5-ю скважинами, пробуренными на этой площади, из которых 3 (скв.53, 52 и 54) находятся внутри контура нефтеносности, 2 (скв.51 и 79) за его пределами. Залежь пластовая, сводовая. Покрышкой для залежи служат плотные разности карбонатных отложений. Водонефтяной контакт определен по данным испытания и ГИС в скв. 53, которая вскрыла его на отметке -1157, а в скв. 79 при испытании горизонта в интервале -1139,2- 1160,2 м была получена пластовая вода. Интерпретация геофизических исследований скважин показала наличие продуктивных коллекторов в скважинах 52, 53 и 54 и водонасыщенных в скважинах 51 и 79. Эффективные нефтенасыщенные толщины изменяются по скважинам от 2,6 м до 9.6 м. Среднее значение  $h_{э.н}$  по залежи составляет 6,1 м. Коэффициент песчанистости (доли коллекторов) равен 0,2. Естественный режим залежи упруговодонапорный. Добыча нефти из каширского горизонта ведется с 1987 года, и осуществляется скважиной №53 [2]. На основе данных ГИС в скв. 53, 51, 54, 79 и 52 была выполнена корреляция разреза скважин пласта А0. Это стало основой для построения поверхностей по кровле и подошве пласта А0 (рис. 1).

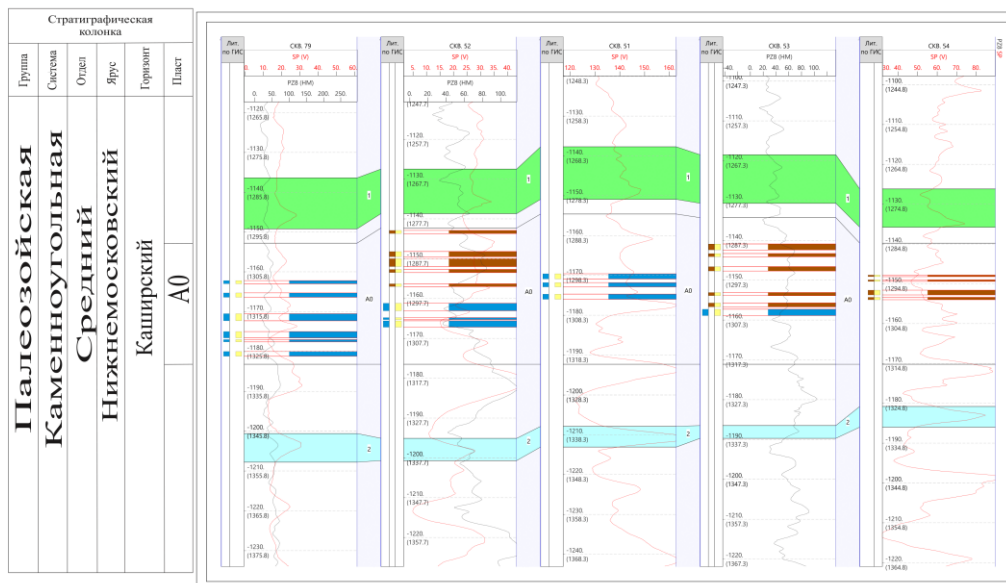


Рисунок 1. Корреляция разреза скв. 79, 52, 51, 53, 54

Структурная карта по кровле коллектора пласта A0 представлена на рис. 2.

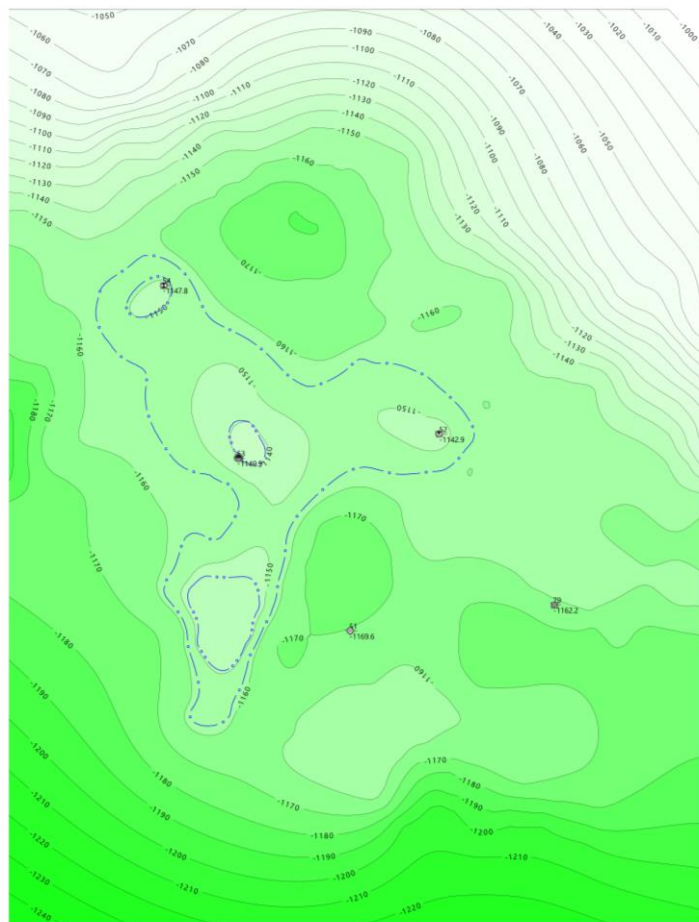


Рисунок 2. Структурная карта по кровле коллектора пласта A0







***Особенности геологического строения осинского горизонта кембрийской системы на Ичѣдинском нефтяном месторождении. Календарова Л.Р.\* (МГРИ, [kalendarovalr@mgri.ru](mailto:kalendarovalr@mgri.ru)), Потемкин Г.Н. (МГРИ, [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru))***

**Аннотация**

В работе приводится обзор особенностей строения основного продуктивного объекта в пределах Ичѣдинского нефтяного месторождения, расположенного в Усть-Кутском районе Иркутской области в 160 км севернее г. Усть-Кут. Рассмотрены особенности геологического строения продуктивного пласта осинского горизонта усольской свиты нижнего кембрия на Ичѣдинском нефтяном месторождении. В основу исследований положены актуальные геолого-геофизические данные. Структурно-литологический комплекс является основным промысловым и поисковым объектом территории, что в значительной степени определяет актуальность исследований.

**Ключевые слова**

Ичѣдинское месторождение, осинский горизонт, нефтеносность, коллектор.

**Теория**

История открытия Ичѣдинского месторождения начинается в 2011 г. с детализационных работ МОГТ-2D на территории Западно-Ярактинского участка недр (УН). После обработки и интерпретации полевого материала была выявлена обширная структурно-фациальная зона, перспективная для поиска залежей углеводородов в осинском горизонте. Далее в пределах этой зоны была пробурена успешная скважина, что позволило открыть Ичѣдинское месторождение. В результате дальнейших работ в 2017 году на прилегающем с юга участке было открыто Верхнетирское нефтяное месторождение, которое в последствии также вошло в состав Ичѣдинского месторождения [4,7].

Геологическое строение УН изучалось по материалам глубокого бурения с учетом промысловой геофизики и по результатам геолого-съёмочных работ, что позволило составить сводный геолого-геофизический разрез осадочного чехла от архей-протерозоя и палеозоя до кайнозоя. Усольская свита общей толщиной 460 м представлена неравномерным чередованием пластов каменной соли с известняками, известковыми доломитами и доломитами. В средней части выделяется осинский горизонт, отмечающийся повышенными сопротивлениями, из которого были получены промышленные притоки нефти.

Нефтяные залежи Ичѣдинского месторождения выявлены в карбонатных пластах осинского горизонта усольской свиты нижнего кембрия, повсеместно перекрытого мощными соленосными отложениями усольской свиты, играющими роль региональной покрывки [2, 8].

Осинский горизонт прослеживается в нижней части усольской свиты и сложен известняками, доломитизированными известняками и доломитами. Коллекторы представлены каверново - пористыми и трещиноватыми разностями пород. Нижняя граница осинского горизонта проводится по кровле, так называемых, подосинских солей, а верхняя граница - по подошве нижнего пласта каменной соли и фиксируется по

резкому снижению значений естественной радиоактивности на диаграммах ГК и увеличению значений НГК.

Разрез горизонта неоднороден и имеет слоистое строение, обусловленное тектоно-седиментационной цикличностью, причем количество циклитов в разрезе не одинаково. В полных разрезах горизонта выделяется до шести седиментационных циклов, толщиной от 5 до 27 м, а в сокращенных – идентифицируются только три нижних цикла.

В процессе формирования цикла глубина бассейна и гидродинамика среды осадконакопления закономерно изменяются. На первом этапе формирования карбонатного цикла, характеризующимся быстрым тектоническим опусканием и интенсивным поступлением в бассейн терригенного материала, глубина моря увеличивается, при этом гидродинамика среды уменьшается, что приводит к образованию трансгрессивного ряда осадков. Породы трансгрессивной части разреза плотные с единичными межкристаллическими порами, поскольку в силу своего положения в цикле практически не попадали в зону влияния выщелачивающих метеорных вод, а имевшиеся в породе небольшие первичные поры залечивались процессами кальцитизации, доломитизации и перекристаллизации [5].

В зависимости от структурно-фациальной приуроченности и ранга циклита толщина его базальной реперной части меняется в диапазоне от 1 - 2 до 10 - 15 и более метров. Относительно хорошая выдержанность толщин реперных пластов и ограниченный набор слагающих их литотипов указывает на незначительную дифференциацию палеорельефа и его слабую расчлененность.

Формирование карбонатных циклов следует рассматривать в связи с их палеоструктурной приуроченностью, поскольку изменения мощностей и фациальных особенностей циклитов, обусловлены наличием мелкоблоковой структуры фундамента, определявшей палеотектонический режим территории.

В зависимости от структурно-фациальной приуроченности разреза состав регрессивной части циклита может быть представлен как первично плотными, так и пористыми разностями водорослевых известняков. Первично плотные разности накапливались в относительно погруженных участках палеоструктуры, а пористые - на приподнятых блоках палеорельефа и обладали высоким коллекторским потенциалом.

По мере уменьшения тектонической активности поступление в бассейн глинисто-терригенного материала практически прекращается, воды становятся более прозрачными и уже ничто не препятствует развитию каркасообразующих форм, а гидродинамика среды еще не достаточна, чтобы эти каркасы разрушить. В результате, в разрезе циклита появляются различные баундстоуны, в частности, известняки биогермные сгустково-водорослевые и известняки биогермные комковато-водорослевые, толщина которых на активно погружающихся блоках достигает максимальных значений. Минимальные толщины циклитов формируются на слабо погружающихся участках палеоструктур. По мере развития регрессии глубина моря еще больше уменьшается, гидродинамика среды нарастает, и органогенные водорослевые каркасы под действием волн начинают разрушаться, что ведет к образованию известняков комковатых с массивной пятнистой текстурой типа грейнстоуна.

Если фациальный состав карбонатного цикла зависит, главным образом, от палеогеографических факторов, то его мощность во многом определяется динамикой тектонических блоков.

Образование карбонатного коллектора возможно при наличии осадков с высокой первичной пористостью и при условии благоприятного воздействия на них постседиментационных факторов [3]. Наилучшие условия для формирования вторичной емкости создаются в регрессивных, слабоглинистых частях карбонатных циклов, формирующихся на высоких участках палеоструктур. Первичная водопроницаемость и пористость осадков обуславливают изменение

Лучшие коллекторы развиваются, как правило, по первично высокопористым известнякам типа грейнстоун, которые накапливались на наиболее приподнятых, слабо погужавшихся участках палеоструктур [6].

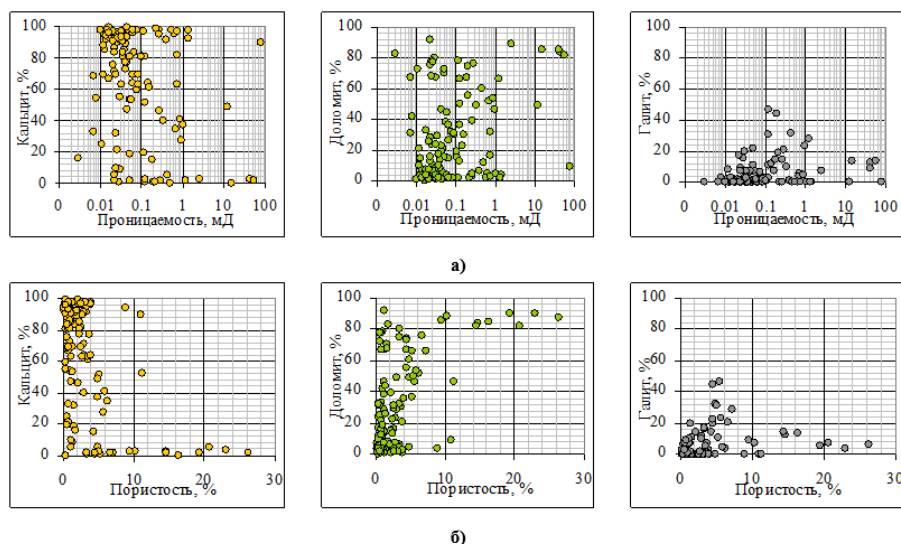
Поскольку концептуальная модель строения продуктивного пласта осинского горизонта представляет собой систему органогенных построек, сложенных преимущественно ренальцисово-эпифитоновыми и строматолитовыми известняками и доломитами, кровля осинских карбонатов имеет специфичную форму крутых мелких поднятий, как одиночных, так и образующих сложные группы [1]. Горизонтальные размеры единичных выступов кровли осинского горизонта от 150 до 800 м, форма – от изометричной до изрезанной, высота от основания до вершины 40 – 75 м. Нижние циклиты пласта развиты на всей изучаемой площади и их суммарная толщина изменяется от 40 до 60 м. Пространство между выступами кровли осинского горизонта заполнено отложениями каменной соли, в значительной степени нивелирующей эти выступы.

Распределение коллекторов в объеме осинского горизонта крайне неравномерно и характеризуется высокой степенью неоднородности и расчлененности.

По результатам интерпретации данных ГИС было выявлено, что толщина продуктивной части горизонта составляет 15-20 м, пористость пород в отдельных образцах до 10%, при среднем значении 5%, проницаемость низкая 1-2 мД, в отдельных образцах достигает 37-57 мД (рисунок 1).

## **Выводы**

На основе доступных геолого-геофизических материалов [1-9] были изучены важные для оценки нефтеносности геологические особенности Ичединского нефтяного месторождения. Изучен циклический характер отложений осинского горизонта. Породы по разрезу имеют невысокие значения пористости, что, в первую очередь, связано с тем, что пустотное пространство было практически целиком залечено вторичными кристаллами кальцита и галита. Несмотря на то, что по своему геологическому строению месторождение является сложным, оно представляет экономический интерес для дальнейшего изучения и разработки.



**Рисунок 1.** Сопоставление основных породообразующих минералов с проницаемостью (а) и пористостью (б) [6]

## Библиография

1. Геология и газонефтеносность Восточной Сибири, М.: Недра 1966.
2. Геология нефти и газа Сибирской платформы, ред. А.Э. Конторовича, М.: Недра, 1981.
3. Добржанская Ю. А., Белозерова О. В., Шакиров Э. В. Анализ нефтей Восточной Сибири //Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. – 2019. – С. 35-38.
4. Ихсанов А. И., Гайдук А. В., Редькин Н. А. Некоторые особенности строения осинского горизонта в центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы //ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. – 2018. – С. 235-239.
5. МАЛЬКОВ И. П. Условия формирования осинского горизонта центральной и восточной частей Непского свода //Геофизические исследования. – 2014. – Т. 15. – №. 1. – С. 66-77.
6. ПОСТНИКОВ Е.В., РАПОПОРТ А.Б. ИСАКОВА Т.Г. и др. \* Оперативный пересчет запасов углеводородов Ичѐдинского нефтяного месторождения Иркутской области по состоянию на 01.07.2014 г.
7. Сабанчин И. В. и др. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТРЕЩИННО-ПОРОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ИЧЕДИНСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ //Горные ведомости. – 2016. – №. 3-4. – С. 166-173.
8. Токарев Д. А., Плюснин А. В., Терлеев А. А. Новые результаты комплексного литолого-фациального и биостратиграфического изучения Осинского горизонта Нижнего кембрия Юга Сибирской платформы (скважины Западно-ярактинские 45, 361) //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – №. 4. – С. 157-167.
9. Шемин Г. Г. Модель строения, условия формирования и перспективы нефтегазоносности с выделением объектов поисково-оценочных работ осинского горизонта нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы //Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2008. – Т. 5. – С. 100-104.

**Эмпирические исследования и обработка каротажных данных для эффективности подбора комплекса ГИС (на примере месторождения Джихар, Сирия). Картал Ибрагим\* (МГРИ, [ibrahimkartal940@gmail.com](mailto:ibrahimkartal940@gmail.com)), Научный руководитель - Тюкавкина О. В. (д.т.н., профессор, МГРИ, [tov.sing@mail.ru](mailto:tov.sing@mail.ru))**

#### **Аннотация.**

В работе проведен анализ параметров комплекса геофизических исследований скважин (ГИС) по результатам исследования месторождения Джихар. Скважинные данные для проведения эмпирических исследований предоставлены Сирийской нефтяной компанией. В работе представлены полученные корреляционные матрицы между каротажными данными: CAL, AC, GR, RD, RS, RHOV, PE, которые указывают на хорошую корреляционную связь между полученными числовыми значениями нескольких аналогичных параметров в пределах месторождения Джихар (зона Пальмиридского складчатого пояса, северо-западная часть блока Хаян). Полученный результат позволяет подобрать наиболее эффективный комплекс ГИС для выделения отложений формации «Куррачайн-Доломит» и выделять очередные объекты разработки аналогичные по геологическому строению и коллекторским свойствам.

#### **Ключевые слова**

Геофизические исследования скважин, коэффициент корреляции, корреляционная матрица, Блок Хаян, месторождение Джихар

#### **Теория**

Современный этап разведки месторождений нефти и газа позволяет проводить обработку полученных геолого-промысловых данных посредством применения программных продуктов или отдельных модулей, которые позволяют проводить различные измерения свойств горной породы непрерывно с глубиной.

Основные месторождения углеводородов в Сирии расположены в позднепалеозойских или мезозойских бассейнах, позднее перевернутых в кайнозой [1].

Пальмириды принято подразделять на ЮЗ и СВ Пальмириды, разделенные разломом Джихар [2]. Юго-западные Пальмириды представлены поясом складок и надвигов, тогда как северо-восточные Пальмириды включают блоки Билас и Бишри. Между разломом Джихар и складками южных Пальмирид расположен низкорельефный бассейн Аль-Дау длиной 100 км. и шириной 20 км. [2,4,5]. Блок Хаян расположен частично в бассейне Аль-Дау и простирается в сторону блока Билас.

Формация «Куррачайн-Доломит» – представляет собой карбонатные отложения среднего триаса с ритмичным чередованием доломита, известняка, эвапорита и сланца. Сирийское главное нефтяное управление неофициально разделило это образование на несколько коллекторов: C2, D1, D2-1 и D2-2. Из них коллектор C2 представляет собой серию ритмично переслаивающихся – доломита, известняка, аргиллита /сланца. Коллектор D1 равномерно разработан практически по всей площади и состоит из микрокристаллического известняка, классифицируемого как доломитовый известняк и сланец. Коллектор D2-1 представлен известняками, доломитовыми известняками и доломитами с прослоями аргиллита. Солевой интервал (D2) разделяет коллекторы D2-1 и D2-2, которые обладают различными гидродинамическими свойствами [3].

**Фактический материал для проведения исследований.** Для проведения обработки данных использовались скважинные данные (результаты каротажа с шагом

изменения по глубине - 0,1 метр). В процессе бурения измерялись следующие параметры: кавернометрия, удельное электрическое сопротивление породы, собственный потенциал, фотоэлектрический эффект, плотность, данные акустического каротажа, гамма-каротажа, нейтронного каротажа. Некоторые из представленных данных удалось записать только на небольших участках (по глубине), поэтому исследования проводились с учетом скважин, по которым был представлен максимальный комплекс ГИС.

Из всех исследованных данных, на месторождении Джихар, наиболее полный комплекс ГИС получен только по двум скважинам: 1, 2.

**Таблица 1. Информация о рассматриваемых скважинах**

Информативные данные	Скважина Джихар-1	Скважина Джихар-2
координаты	X: 343469.82 Y: 296607.4	X: 350740.89 Y: 295240.3
KB, м	609,48	592,14
GL, м	601,88	584,52
TD, м	3200	4168
Шаг записи данных в файл, м	0,1	0,1
Каротажные параметры	CAL, AC, GR, RD, RS, RHOV, PE	
Компания, проводившая бурение	INA	

\*Примечание: кавернометрии (CAL), акустического каротажа (AC), гамма-каротажа (GR), удельного электрического сопротивления породы (RD, RS), плотностного каротажа (RHOV), фотоэлектрического эффекта (PE), Келли Втулка (KB), уровень поверхности земли (GL), конечная глубина (TD).

**Обработка данных в пакете «Матлаб».** Обработка результатов ГИС выполнялась с целью устранения «статистических выбросов», которые в рассмотренных файлах встречаются двух типов: 1- каротажная система в бурильной колонне не может определить значение какого-либо параметра, она записывает в файл специальное значение -999,25 или -9999, свидетельствующее об отсутствии данных в этой точке; 2- в файл может быть записано значение, явно превышающее максимально возможное и сильно отличающееся от значений в близлежащих точках. Во втором случае имеет место «выброс». Оба случая в данной работе были обработаны по принципу: невалидные значения были заменены на 0, а если один из параметров каротажа в любой из двух скважин присутствовал 0 на данной глубине, то все данные по этому параметру на этой глубине исключались.

По обработанным данным были построены графики в пакете «Матлаб» (рис. 1), где по вертикальной оси отложена глубина (метры).

**Анализ данных ГИС для построения корреляционных матриц.** Когда мы изучаем каротажные параметры, нас интересует ряд вопросов: 1. определить местонахождение коллектора (отметки кровли и подошвы); 2. Литолого-петрографическое описание коллектора; 3. Определение насыщенности коллектора (вода, нефть, газ).

В большинстве случаев, для углеводородной зоны, показания УЭС будут выше, чем в водоносной зоне (при условии, что вода соленая). Однако необходимо

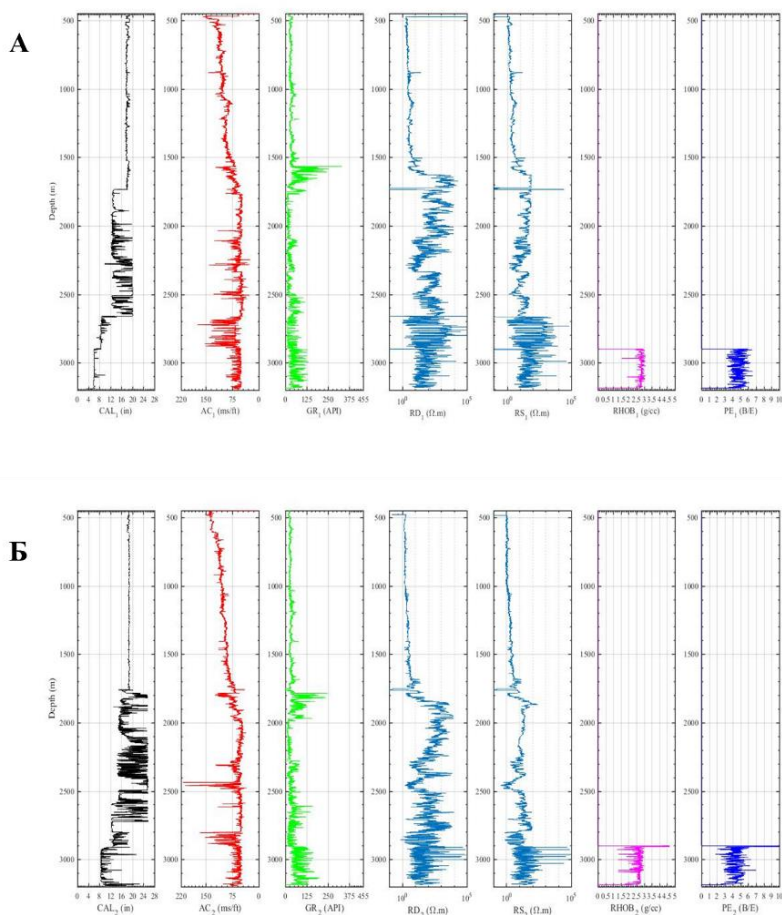
учитывать соленость пластовых вод, так как если пластовая вода пресная, показания УЭС тоже будут высокими.

Анализ представленных каротажных диаграмм показывает, что, во-первых, данные семи видов каротажей существенно отличаются друг от друга, за исключением измерений фотоэлектрической и насыпной плотности. Поскольку фотоэлектрический каротаж был введен компанией Шлюмберже в качестве каротажной кривой литоплотности, то в настоящее время большинством каротажных компаний он регулярно регистрируется, а во-вторых, RD и RS каротажи наиболее эффективно определяют нефтеносные пласты. Высокие сопротивления, полученные при RD и RS, могут указывать на наличие пластов-коллекторов.

По результатам исследований каротажных кривых были рассчитаны коэффициенты корреляции между одинаковыми параметрами из разных скважин (табл. 2) в пределах месторождения Джихар.

**Рисунок 1.** Исходные данные ГИС по скважинам: А- 1; Б-2

**Таблица 2.** Корреляционная матрица каротажных параметров скв. 1, 2 месторождения Джихар



	CAL <sub>1</sub>	AC <sub>1</sub>	GR <sub>1</sub>	RD <sub>1</sub>	RS <sub>1</sub>	RHO <sub>1</sub>	PE <sub>1</sub>	CAL <sub>2</sub>	AC <sub>2</sub>	GR <sub>2</sub>	RD <sub>2</sub>	RS <sub>2</sub>	RHO <sub>2</sub>	PE <sub>2</sub>
CAL <sub>1</sub>	1.0000	0.4419	-0.0241	-0.0817	-0.1274	-0.6800	-0.6731	0.6828	0.5625	-0.3952	-0.1071	-0.0444	-0.6714	-0.6545
AC <sub>1</sub>	0.4419	1.0000	0.1400	-0.1101	-0.0545	-0.2595	-0.2624	0.1488	0.7446	-0.2827	-0.1598	-0.0225	-0.2549	-0.2487
GR <sub>1</sub>	-0.0241	0.1400	1.0000	-0.0597	-0.0547	0.2688	0.2482	-0.1789	0.0005	0.1497	-0.0843	0.0054	0.2693	0.2627
RD <sub>1</sub>	-0.0817	-0.1101	-0.0597	1.0000	0.1076	-0.0396	-0.0376	-0.0478	-0.1002	0.0269	0.0268	-0.0004	-0.0398	-0.0393



RS1	-0.1274	-0.0545	-0.0547	0.1076	1.0000	0.0381	0.0435	-0.0869	-0.0652	0.0466	0.0118	0.0020	0.0352	0.0313
RHOV <sub>1</sub>	-0.6800	-0.2595	0.2688	-0.0396	0.0381	1.0000	0.9903	-0.6732	-0.2912	0.5344	0.0070	0.0555	0.9868	0.9636
PE <sub>1</sub>	-0.6731	-0.2624	0.2482	-0.0376	0.0435	0.9903	1.0000	-0.6648	-0.2891	0.5254	0.0107	0.0581	0.9821	0.9615
CAL <sub>2</sub>	0.6828	0.1488	-0.1789	-0.0478	-0.0869	-0.6732	-0.6648	1.0000	0.2843	-0.3111	-0.0648	-0.0154	-0.6665	-0.6480
AC <sub>2</sub>	0.5625	0.7446	0.0005	-0.1002	-0.0652	-0.2912	-0.2891	0.2843	1.0000	-0.1514	-0.1602	-0.0236	-0.2897	-0.2868
GR <sub>2</sub>	-0.3952	-0.2827	0.1497	0.0269	0.0466	0.5344	0.5254	-0.3111	-0.1514	1.0000	0.0646	0.0553	0.5088	0.4722
RD <sub>2</sub>	-0.1071	-0.1598	-0.0843	0.0268	0.0118	0.0070	0.0107	-0.0648	-0.1602	0.0646	1.0000	0.1419	0.0054	0.0084
RS <sub>2</sub>	-0.0444	-0.0225	0.0054	-0.0004	0.0020	0.0555	0.0581	-0.0154	-0.0236	0.0553	0.1419	1.0000	0.0419	0.0424
RHOV <sub>2</sub>	-0.6714	-0.2549	0.2693	-0.0398	0.0352	0.9868	0.9821	-0.6665	-0.2897	0.5088	0.0054	0.0419	1.0000	0.9853
PE <sub>2</sub>	-0.6545	-0.2487	0.2627	-0.0393	0.0313	0.9636	0.9615	-0.6480	-0.2868	0.4722	0.0084	0.0424	0.9853	1.0000

### Выводы.

Коэффициенты корреляции по диагонали равны 1, поскольку каждая переменная идеально коррелирует сама с собой. Эти ячейки бесполезны для интерпретации (жёлтый цвет);

- Остальные коэффициенты корреляции указывают на корреляцию между различными парными комбинациями переменных, например: коэффициент корреляции между "CAL<sub>1</sub>" и "CAL<sub>2</sub>" равен 0,6828; коэффициент корреляции между "AC<sub>1</sub>" и "AC<sub>2</sub>" равен 0,7446 (оранжевый цвет) и т.д.

- Без построения корреляционной таблицы трудно понять и оценить взаимосвязь между переменными, а обработанные данные позволяют по результатам корреляции отобрать параметры для дальнейших детальных исследований, которые могут быть использованы для подбора комплекса ГИС, наиболее эффективного для выделения отложений разных по генезису (в нашем случае планирует продолжить изучение формации «Куррачайн-Доломит» в пределах месторождения Джихар или анализа данных всего блока Хаян)

### Библиография

1. Barrier, E., Machhour, L. and Blaizot, M. 2014, Petroleum systems of Syria, in L. Marlow, C. Kendall and L. Yose, eds., Petroleum systems of the Tethyan region: AAPG Memoir 106, p. 335–378.
2. Brew, G.E. (2001): Tectonic evolution of Syria interpreted from integrated geophysical and geological analysis. – PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, New York, p.323.
3. Ivica Vulama (2011): Source rock generative potential and volumetric characteristics of the Kurrachine Dolomite Formation, Hayan Block, central Syrian Palmyrides. – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, p. 259–272.
4. Lučić, D., Maretić, S., Foršek, G., Takač, D. & Mesić, I. (2002): Mesozoic Carbonate Facies and Reservoirs in Central Palmyrides, Syria. – Abstract, Cd, American Association of Petroleum Geologists Conference, Cairo.
5. Tomljenović, B., Veseli, V. & Takač, D. (2008): Surface and subsurface structural styles in central Syria. – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, p.81.

*Геологическая характеристика нижнетолбачанской подсвиты – перспективного нефтегазоносного объекта Непско-Ботуобинской антеклизы. Гутман И.С. (ООО «ИПНЭ», [mail@ipne.moscow](mailto:mail@ipne.moscow)), Руднев С.А.\* (МГРИ, [rudnevs@mgri.ru](mailto:rudnevs@mgri.ru)), Потемкин Г.Н. (МГРИ, [potemkingn@mgri.ru](mailto:potemkingn@mgri.ru)), Рахимова Е.В. (МГРИ, [rahimovaev@mgri.ru](mailto:rahimovaev@mgri.ru)), Биктагиров В.К. (ООО «ИПНЭ», [biktagirov@ipne.moscow](mailto:biktagirov@ipne.moscow))*

## Аннотация

Необходимость восполнения минерально-сырьевой базы России требует от недропользователей не только освоение новых территорий, но и поиски внутренних резервов существующих месторождений. Так, большое внимание у исследователей в данный момент ориентировано на поиск «пропущенных» залежей в интервале всего разреза месторождений.

В пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области основные промышленные скопления углеводородов приурочены к отложениям верхневендско-нижнекембрийского подсолевого нефтегазоносного комплекса. В пределах вышележащего кембрийского комплекса нефтегазоносность установлена в единичных залежах. В последние годы открыто несколько месторождений в интервале толбачанской свиты, которая является перспективным нефтегазоносным объектом, как в неосвоенных частях Восточной Сибири, так и в пределах уже открытых месторождений. Объектом исследований является атовский продуктивный горизонт нижнетолбачанской подсвиты кембрийского межсолевого интервала разреза в пределах Мирнинского выступа Непско-Ботуобинской антеклизы.

## Ключевые слова

Толбачанская свита, межсолевой комплекс, кембрийский нефтегазоносный комплекс, Непско-Ботуобинская антеклиза, стратиграфия

## Теория

Площадь исследования согласно схеме фациально-стратиграфического районирования кембрия [3], расположена в Ботуобинско-Сюгджерской фациальной области, в пределах которой выделяется толбачанская свита, отвечающая атдабанскому ярусу нижнего кембрия. В соседних областях ее стратиграфическими аналогами являются бельская, климинская, костинская (нижняя подсвита), сурингдаконская и др. свиты. Перекрывает толбачанскую свиту отложения олекминской свиты, стратиграфическим аналогом которой являются булайская, костинская (верхняя подсвита), а также нефтематеринская куонамская свита. Толбачанская свита отвечает толбачанскому региональному горизонту, в пределах которого выделяется атовский продуктивный горизонт.

Мирнинский выступ характеризуется широким распространением множественных тектонических нарушений, что объясняется его приуроченностью к зоне пересечения региональных Виллойско-Мархинского и Ангаро-Алымджинского разломов. В связи с этим, наблюдается блоковое строение практически всех развитых здесь локальных антиклинальных структур. Большинство тектонических нарушений интрузированы дайками габбро-долеритов и хорошо выделяются в магнитном поле. Нарушения преимущественно безамплитудные и малоамплитудные (до 30-40 м).

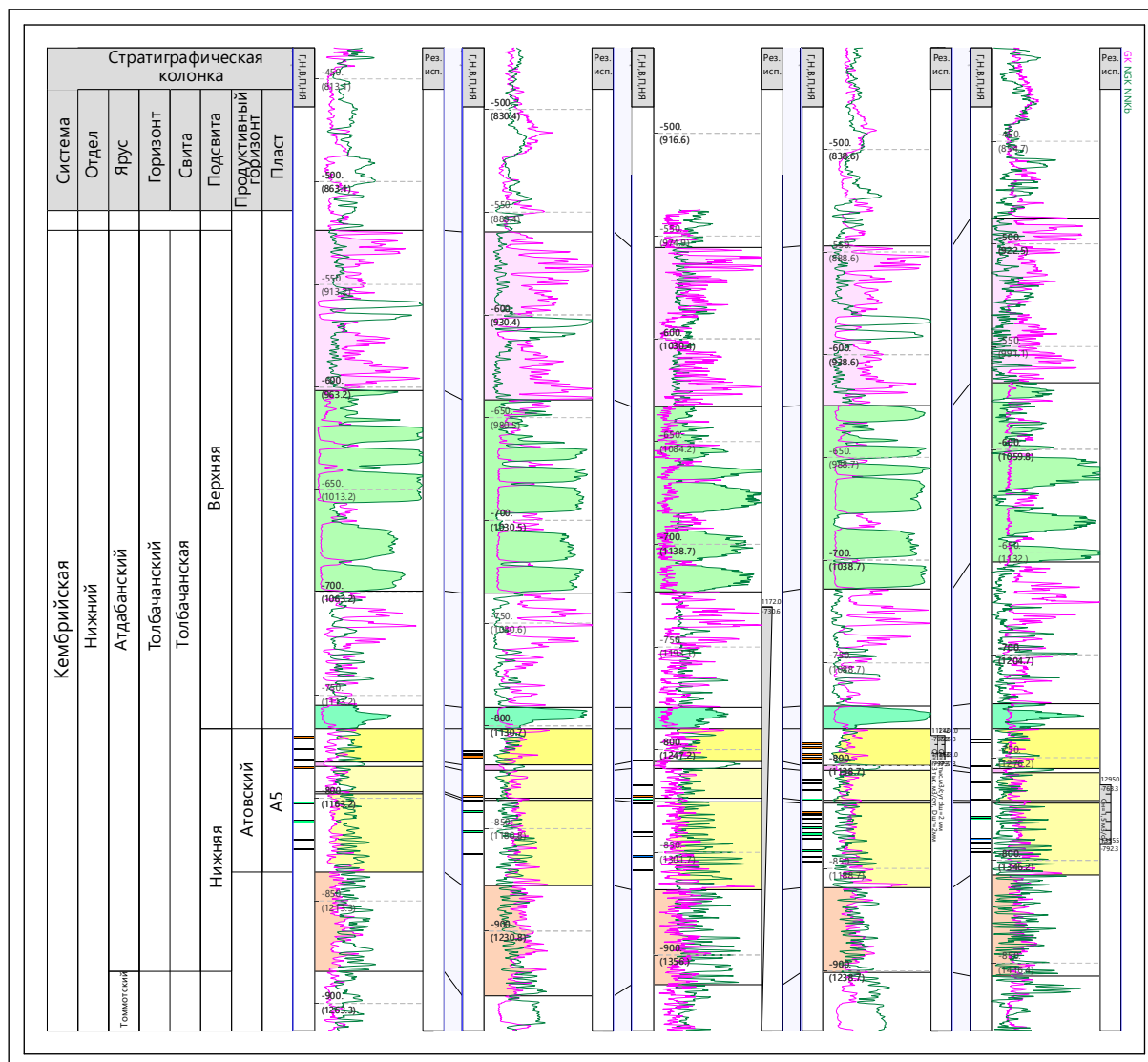
Толбачанская свита по литологическим признакам разделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты. Нижняя представлена преимущественно карбонатными породами, верхняя – сульфатно-карбонатно-галогенными. Отложения нижнетолбачанской подсвиты сложены преимущественно доломитами и известняками неравномерно глинистыми, ангидритизированными, с подчиненными прослоями аргиллитов и мергелей, с единичными маломощными прослойками каменной соли и ангидритов. Чередование чистых и глинистых разностей создает ритмичность в строении разреза.

По данным электронно-микроскопического изучения [2] свежих сколов пород в пределах нижнетолбачанской подсвиты преобладают поры и каверны, микротрещины встречаются в единичных случаях и, как правило, заполнены галитом и ангидритом. Порово-каверновый тип микропористости пород обусловлен унаследованной первичной биоморфной структурой, а также постдиагенетическими процессами преобразования карбонатных пород (перекристаллизация, выщелачивание и вторичное минералообразование).

Впервые промышленная нефтеносность толбачанской свиты подтверждена в 2016 году, когда была открыта залежь в пределах Станакского месторождения, в 2017 году – Сюльдюкарское месторождение. В 2022 году открыты промышленные скопления углеводородов в пределах Мирнинского выступа. Кроме того, небольшие притоки УВ и нефтегазопроявления отмечаются в пределах других отдельных площадей.

Перспективность нижнетолбачанских отложений в пределах Мирнинского выступа подтверждается в том числе при разведке и разработке алмазоносной трубки Интернациональная, расположенной на северо-восточном фланге Маччобинского месторождения, где на стенках горных выработок отмечаются выпоты нефти, кроме того, в керне гидрогеологических скважин района трубки отмечаются выпоты, капли и пятна нефти. Стоит отметить, что согласно исследованиям А.М. Янникова [5] коллекторы толбачанской свиты развиты спорадически и не формируют крупные гидродинамически связанные зоны. Находящийся в породах газ сопряжен с неструктурными залежами и пропластками, не формирующими крупные скопления, о чем свидетельствует резкое уменьшение дебитов в дегазационных скважинах, в которых пиковые значения дебитов наблюдались в течение двух-трех суток, а затем резко падали.

Авторами выполнена детальная корреляция разрезов 58 скважин в пределах Мирнинского выступа, которая подтверждает наличие высокой геологической неоднородности коллекторов нижнетолбачанской подсвиты (рис. 1). В пределах подсвиты общая толщина продуктивного пласта меняется от 67 до 83 м, средняя – 77 м, суммарная толщина коллектора – от 2 до 21 м, средняя – 8,5 м, расчлененность – от 2 до 22, средняя – 10,3, коэффициент доли коллектора – от 0,03 до 0,268, средний – 0,11, толщина пропластков коллектора меняется от 0,2 до 5 метров, средняя – 0,8 м. Перекрывает пласт пачка солей, которая является крышкой пласта. Толщина крышки меняется незначительно в пределах 10 – 11 м. Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) низкие, пористость меняется от 9 до 21%, в среднем – 12,8%, проницаемость низкая, меняется в пределах от 0,2 до 33 мД, средняя – 1,5 мД. В связи с низкими ФЕС в пределах Мирнинского выступа притоки нефти небольшие – до 1,5 м<sup>3</sup>/сут в обсаженном стволе.



**Рисунок 1.** Схема детальной корреляции скважин Мирнинского выступа в пределах толбачанской свиты

В связи с малым количеством открытых месторождений, в настоящий момент отсутствует общепринятая индексация продуктивных пластов в пределах межсолевого кембрийского нефтегазоносного комплекса, хотя еще в 1983-1984 гг. в г. Новосибирске было проведено два рабочих совещания специалистов СНИИГГиМСа, ВостСибНИИГГиМСа, ВНИГРИ, ВНИГНИ, ПГО «ВостСибнефтегазгеблогия», «Енисейнефтегазгеология», «Иркутскгеофизика» и «Ленанефтегазгеология», в рамках которых подчеркивалась целесообразность разработки унифицированной буквенно-цифровой системы индексов продуктивных пластов венд-кембрия. Так, межсолевым продуктивным и возможно продуктивным горизонтам кембрия присваивается индекс «А». Внутри групп пластов принята цифровая индексация по правилу «сверху — вниз» арабскими цифрами, например, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> и т. д.

Учитывая все еще недостаточную изученность, индексация пластов группы А в настоящий момент не проведена. Буровой И.А. в 2014 году [1] была предложена схема индексации пластов, в которой для элягинского продуктивного горизонта используется индекс А<sub>6</sub>, а для олекминского А<sub>3</sub>, тем самым сохраняется резерв для

отложений толбачанской свиты (атовского продуктивного горизонта). Учитывая имеющуюся информацию, предлагается для продуктивных пластов толбачанской свиты использовать индекс  $A_5$ . При наличии нескольких продуктивных интервалов, индексировать их  $A_5^1$ ,  $A_5^2$  и т.д., сверху вниз соответственно.

## **Выводы**

По результатам проведенных исследований стоит отметить очень сложное геологическое строение толбачанской свиты в пределах Мирнинского выступа Непско-Ботуобинской антеклизы. Отложения характеризуются высокой макро- и микронеоднородностью, что связано как с условиями формирования и вторичными преобразованиями пород (перекристаллизация, выщелачивание и вторичное минералообразование), так и с геодинамической эволюцией региона. Учитывая вышесказанное, в пределах изучаемого района большое значение приобретает неструктурный фактор формирования залежей углеводородов.

Кроме того, рядом авторов высказывается предположение, что нефтяные залежи в пределах толбачанской свиты могут быть развиты и на северо-восток от Мирнинского выступа в зоне выклинивания терригенных отложений венда, где отложения межсолевой толбачанской свиты могли стать резервуаром, куда могла мигрировать нефть [4].

В связи с отсутствием общепринятой системы индексации кембрийского нефтегазоносного комплекса, для толбачанской свиты рекомендуется использовать индекс  $A_5$ .

## **Библиография**

1. Бузова И.А. Палеогеографические реконструкции венд-нижнекембрийских карбонатных отложений западного склона северной части Непско-Ботуобинской антеклизы. Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2014, Т. 9, №4.
2. Коротченкова О.В., Чиркова Е.П. Особенности микропустотного пространства пород нижнетолбачанской подсвиты кембрия Восточно-Сибирского соленосного бассейна. Горное эхо, 2019, №3 (76)
3. Региональная стратиграфическая схема кембрийских отложений Сибирской платформы. Объяснительная записка: Решения Всероссийского стратиграфического совещания по разработке региональных стратиграфических схем верхнего докембрия и палеозоя Сибири (Новосибирск, 2012) (Кембрий Сибирской платформы) / под ред. С.С. Сухова, Т.В. Пегель, Ю.Я. Шабанова. – Новосибирск, СНИИГГиМС, 2021. – 60 с.
4. Фомин А.М., Моисеев С.А. Перспективы нефтегазоносности и характеристика продуктивных горизонтов кембрийских межсолевых отложений центральной части Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2019, Т.14, №3.
5. Янников А.М. Гидрогеология глубоких горизонтов вмещающих толщ трубки Интернациональная (республика Саха (Якутия)). дисс. канд. геол.-мин. наук., 2019 г.

*Разработка алгоритма с целью автоматизации расчёта прогноза добычи нефти и газа. Русинович Л.Э.\* (Институт морской геологии геофизики ДВО РАН, [larisarusinovich@gmail.com](mailto:larisarusinovich@gmail.com)), Русинович В.В. (Институт морской геологии геофизики ДВО РАН, [rusv-pro@mail.ru](mailto:rusv-pro@mail.ru))*

## Аннотация

В работе описывается алгоритм прогнозирования добычи нефти и газа на разрабатываемых месторождениях, в котором учитываются ограничения береговой инфраструктуры по обработке попутного газа и необходимость снижения дебита в скважинах с высоким значением газового коэффициента. Алгоритм реализован в виде разработанной программы, которая может быть применена к месторождению с аналогичными данными, а те же в дальнейшем адаптирована под её условия. Приведен пример прогнозирования добычи для восьми скважин, но в производственных условиях прогнозировать приходится более 80.

## Ключевые слова

Автоматизация, прогноз добычи нефти и газа, python, информационные технологии

## Теория

Прогнозирование объёмов добычи нефти и газа является одной из важных задач добывающего предприятия. Результаты прогноза используются для многих целей. Например, для экономического прогнозирования и координации взаимодействия с покупателями энергоресурсов, для заключения новых контрактов и планирования бурения скважин, для решений инвестирования проекта и т.д. Эффективность составления прогноза в срок или раньше напрямую влияет на возможности бизнеса быстро и правильно реагировать на меняющиеся условия.

Прогноз добычи углеводородов основан на исходных данных, к примеру, таких как: план добычи углеводородов и воды для каждой из эксплуатируемых скважин, которые предоставляет отдел разработки месторождения. С учетом всех объемов добывающих скважин можно прогнозировать эффективную добычу по месторождению. Однако такой подход не учитывает ограничения наземной инфраструктуры и требования к экологической безопасности, которые запрещают использовать большие объёмы попутного газа в факелах.[2]

Исходя из потребности регулярно составлять точный прогноз, было решено создать программу, которая автоматизирует расчет прогноза добычи, позволит повысить эффективность работы предприятия, уменьшит влияние человеческого фактора и сократит время выполнения работы.

Алгоритм расчета учитывает следующие ограничения:

1) Объемы газа, который обрабатывает наземная инфраструктура. В силу удаленности от рынков сбыта, отсутствует возможность продажи избыточного газа, проблема избыточного газа на практике решается путем его закачки в пласты для поддержания давления.

2) Нежелательная остановка скважин на месторождении, большая часть которых закончена на несколько пластов и осуществляет одновременный отбор. Неоднородность притока приводит к перепадам давления в пластах и в случае полной остановки скважины происходит переток флюидов между пластами, что негативно

сказывается на показателях добычи после ее последующего запуска и усложняет учет ресурсов. [1]

**Описание алгоритма расчёта прогноза добычи**

1) Загрузка входных данных по скважине: 1.1) Обрабатываемый наземной инфраструктурой объем газа (помесячный прогноз) 1.2) Прогноз объемов добычи нефти и газа (в месяц) по каждой из скважин 1.3) Минимальные значения штуцера для каждой скважины. [3]

Пример исходных данных приведен в таблице 1.

Date,	Gas capacity, Mcfd	Well name	Oil, kbd	Gas, Mcfd	GOR	Min Choke, %
15.12.2022	243	Well_1	1,93	21,75	9,81	0,10
15.01.2023	240	Well_1	1,88	21,75	10,06	0,20
15.02.2023	237	Well_1	1,83	21,75	10,32	0,15
15.03.2023	233	Well_1	1,79	21,75	10,58	0,20
15.04.2023	228	Well_1	1,74	21,75	10,86	0,15

*Таблица 1. Пример исходных данных для автоматизации прогноза добычи нефти и газа*

2) Распределение по датам, на которые рассчитывался прогноз добычи:

2.1) Создание таблицы добычи нефти и газа по скважинам по рассчитанной дате, данные отсортированы по значению газового фактора.

2.2.1) В случае суммарной добычи газа всеми скважинами меньше максимальной пропускной способности наземной инфраструктуры, результат записывается в прогнозную таблицу добычи нефти и газа.

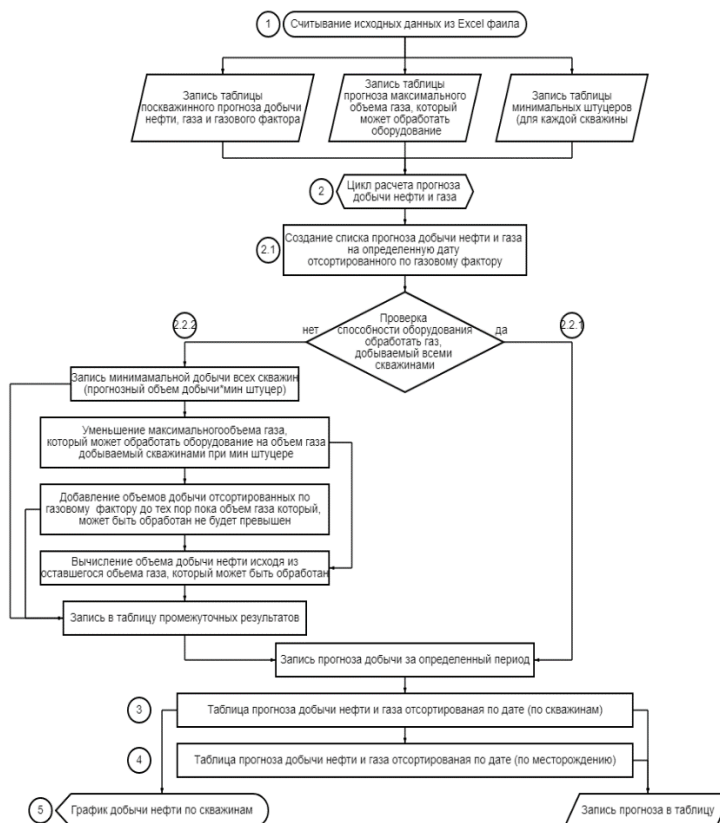
2.2.2) В случае суммарной добычи газа больше пропускной способности, в результат сначала записываются объемы добычи, которые будут добыты при минимальных штуцерах и рассчитывается объем газа, который может быть обработан. Далее рассчитывается объем нефти, который предположительно может быть добыт каждой скважиной до превышения лимитов по газу. Предпочтение отдается скважинам с наименьшим газовым фактором. Данные в результате итерации вводятся в таблицу результатов прогноза. [4]

3) Выведение на экран и запись в файл прогноза добычи нефти по каждой скважине

4) Расчет суммарной добычи нефти и газа. Значения в результате расчета выводятся на экран и записываются в файл

5) Построение графика добычи нефти по каждой скважине. [5]

Алгоритм работы представлен в виде блок-схемы (рис. 1).



**Рисунок 1.** Разработанная авторами блок-схема алгоритма расчета прогноза добычи нефти и газа.

Так же в работе приведены результаты расчета прогноза добычи нефти и газа на тестовых данных. После выполнения расчета сохраняется две таблицы: агрегированный прогноз добычи нефти и газа по месторождению, в которой указывается название скважины с наибольшим газовым фактором (Таблица 2) и дифференцированный прогноз добычи нефти по каждой скважине (Таблица 3).

Date	Oil, kbd	Gas, Mcfd	Marginal GOR	Marginal well
15.12.2022	45,33	244	11,27	Well_6
15.01.2023	44,5	243	11,56	Well_6
15.02.2023	43,52	240	11,86	Well_6
15.02.2023	42,57	237	12,16	Well_6
15.03.2023	41,57	233	12,47	Well_6

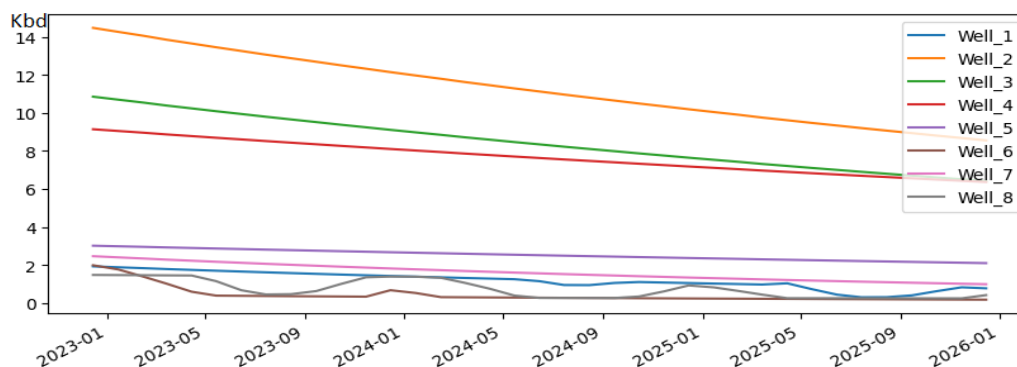
**Таблица 2.** Дифференцированный прогноз добычи нефти и газа по всему месторождению

Date	Well_1	Well_2	Well_3	Well_4	Well_5	Well_6	Well_7	Well_8
15.12.2022	1,93	14,47	10,85	9,14	3,01	1,99	2,46	1,48
15.01.2023	1,88	14,26	10,69	9,05	2,98	1,77	2,40	1,47
15.02.2023	1,83	14,05	10,54	8,96	2,95	1,38	2,34	1,46
15.03.2023	1,79	13,85	10,39	8,87	2,93	1,02	2,28	1,46
15.04.2023	1,74	13,65	10,24	8,78	2,90	0,60	2,23	1,45

**Таблица 3.** Пример прогноза добычи нефти по скважинам



На последнем этапе работы программы выводится график дифференцированного прогноза добычи нефти, в котором можно выделить скважины с ограниченным притоком из-за больших значений газового фактора.[6]



**Рисунок 2.** Результат автоматизации – график дифференцированного прогноза добычи нефти и газа

## Выводы

Результатом разработки данной программы для автоматизации расчета прогноза добычи нефти и газа является график дифференцированного прогноза добычи нефти, на котором можно выделить именно те скважины, в которых ограничивается приток из-за повышенных значений газового фактора. Характеристика данного графика позволит понять, какую скважину нужно будет исключить из категории «эксплуатируемые», а в какой и вовсе заново провести бурение. Также данная программа позволила сократить время работы, трудозатраты, и главное – повысить точность прогнозирования. Алгоритм, использующийся в прогнозе, так же адаптируется по остальным параметрам скважин, и это делает его уникальным и универсальным решением при выполнении задач прогнозирования добычи нефти, газа и газового конденсата на любом месторождении.

## Библиография

1. Баталов Д.А., Хусаинов, А.Т. Методика прогнозирования доизвлечения остаточных запасов на водоплавающих нефтяных залежах находящихся на поздних стадиях - Нефтегазовое дело: электрон, науч. журн. - 2013.
2. Голоднов В.В. Информационные технологии в реинжиниринге бизнес-процессов. - М.: РЭА, 2005. - 168 с.
3. Закиров Э.С. Трёхмерные многофазные задачи прогнозирования, анализа и регулирования разработки месторождений нефти и газа
4. Ковалев В.С. Прогноз разработки нефтяных месторождений и эффективность систем заводнения - М: Недра, 1976. - С.247.
5. Соломатин Г.И. Прогнозирование работы скважин с помощью искусственных нейронных сетей - Нефтяное хозяйство. - 2002. - С.35 - 42.
6. Хусаинов А.Т. Методика оперативного прогнозирования показателей нефтедобычи средствами программного комплекса с аналитическим модулем искусственных нейронных сетей // Нефтегазовое дело: науч.-техн. журн./УГНТУ. - (Уфа). - 2013. - Т. 11

***Геологическое строение, история и проблемы освоения триасовых отложений вала Сорокина. Сагдеев Р.Р. \* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail: r-sagdeev@mail.ru)***

**Аннотация**

В данной работе рассмотрены строение, история и проблемы освоения триасовых отложений на территории Сорокинского вала.

Дана краткая характеристика Наульского, Торавейского, Лабаганского и Варандейского месторождений для выявления проблематик и условий залеганий УВ триасовых отложений вала Сорокина.

**Ключевые слова**

Вал Сорокина, триасовые отложения, побережье, Варандей-Адзввинская зона.

**Теория**

Тимано-Печерский нефтегазоносный бассейн является одним из крупнейших бассейнов мира. Всего в Тимано-Печерской провинции открыто более 180 месторождений нефти, газа и газоконденсата.

В административном отношении находится на территории Ненецкого автономного округа Архангельской области в 220 км северо-восточнее административного центра округа г. Нарьян-Мар. Данный вал включает в себя месторождения: Варандейское, Торавейское, Южно-Торавейское, Наульское и Лабаганское (рис.1)

Расстояние по "зимнику" от г. Нарьян-Мар в среднем составляет 440 км. Ближайший населенный пункт - поселок Варандей расположен в 47 км к северо-западу. В поселке имеется аэродром, морской порт и нефтеналивной терминал Варандей с подводными подводными трубопроводами, обеспечивающими транспорт нефти с месторождений северной части Вала Сорокина (Варандейского и Торавейского) и Варандей-Адзввинской зоны (Тобойско-Мядсейская группа и Перевозное).

По климатической классификации Б.П.Алисова (1964 г.) район относится к арктической зоне и находится в области атлантического влияния.

Территория участка недр относится к зоне сплошного распространения вечномерзлых пород. В Большеземельской тундре мощность мерзлой толщи колеблется в широких пределах – от 50 до 200 м и более.

Разведочные работы и освоение месторождения затруднены природно-климатическими условиями и удаленностью от инфраструктуры:

- многочисленные реки, ручьи и болота образуют непроходимую территорию с июня по октябрь;
- отсутствие дорог в рассматриваемом районе означает, что транспортировка строительных материалов и оборудования возможна только по «зимникам» или воздушным транспортом;
- мощный слой многолетнемерзлых пород может являться причиной отсутствия достаточного количества воды для хозяйственно-промышленных нужд. [1]

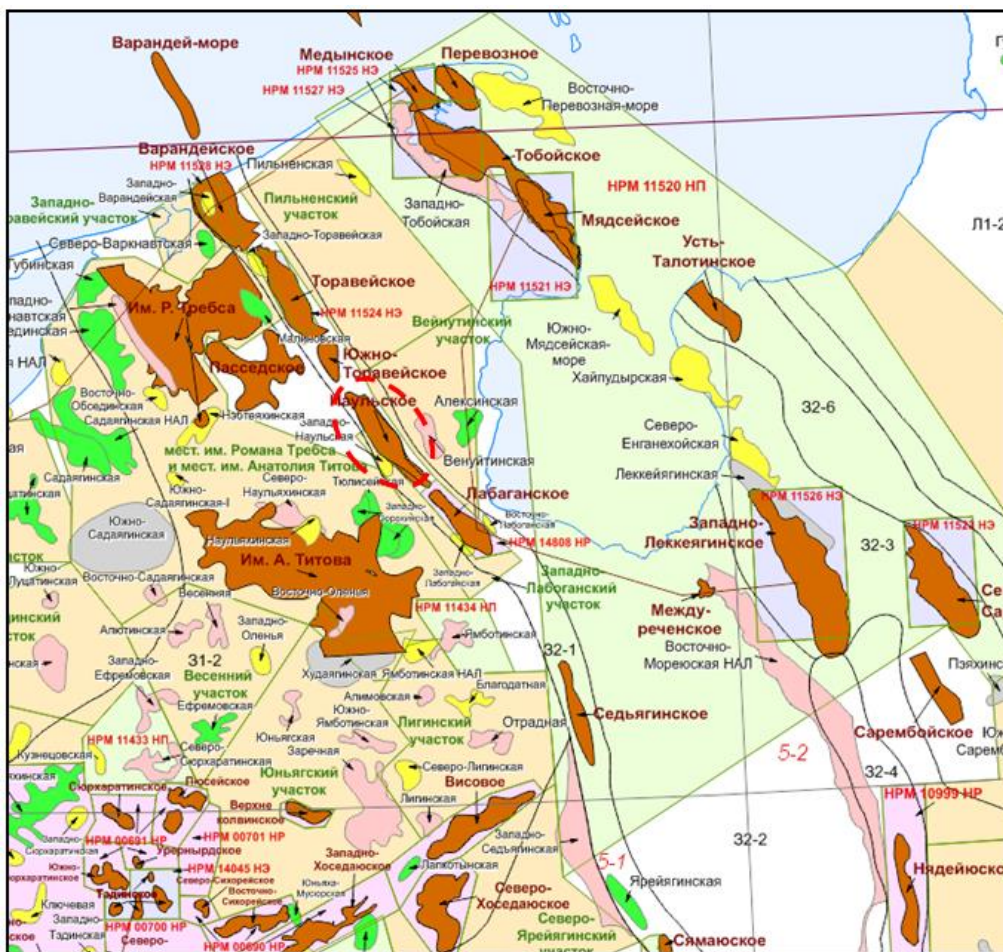


Рисунок 1. – Обзорная схема района

Рассматриваемая территория располагается в северо-западной части Варандей-Адзвинской зоны. Долгое время этот район оставался в геологическом отношении недостаточно изученным. Планомерное изучение этой территории, вначале геофизическими методами, а затем бурением, началось с 60-х годов XX-века.

Наульское нефтяное месторождение открыто в 1979 году, введено в разработку в 2016 году. Недропользователем Наульского нефтяного месторождения является ПАО «НК «Роснефть», действующая на основании лицензии НРМ 00805 НР, выданной 20.03.2017 сроком до 05.05.2036, оператор – ООО «РН-Северная нефть».

Торавейская структура была выявлена в 1971 г, месторождение открыто в 1977 г, введено в разработку в 1999 г. Промышленная нефтеносность установлена в карбонатных отложениях нижней перми и терригенных отложениях триаса. По величине начальных запасов нефти месторождение относится к категории средних, по геологическому строению – к категории сложных.

Лабаганское месторождение характеризуется высокой степенью выработанности начальных ресурсов (по нефти - 93,1%, по газу - 91,7%)

На территории Варандейского месторождения выявлено 2 залежи тяжелой нефти. Поисково-разведочные работы начаты в 1975 году. Промышленная добыча с 1986 года. Разработкой месторождения занимается ООО «Нарьянмарнефтегаз».

Осадочный чехол в пределах Варандей-Адзвинской структурной зоны (ВАЗ) образован породами палеозоя, мезозоя и четвертичными образованиями. Отложения палеозоя залегают на породах фундамента венд-кембрийского возраста и представлены ордовикской, силурийской, девонской, каменноугольной и пермской системами.

Породы фундамента не вскрыты скважинами. Его кровля, по данным сейсмических исследований, залегает на глубинах порядка 6-9 км. [2]

Продуктивные горизонты приурочены к нижнедевонским, нижнекаменноугольным, нижне и верхнепермским и триасовым отложениям.

Диапазон нефтеносности отложений распространен в пределах следующих НГК: среднеордовикско-нижнедевонский карбонатный (пласт D1), доманикового-турнейский карбонатный (пласт C1t), ниже-верхневизейский (пласты C1v1 и C1v2), верхневизейско-нижнепермский карбонатный (пласты P1a-P1s и P1ar), нижнепермско-триасовый терригенный (пласты P1k, P2-T1, T1-2 и T2). [4]

Интересующие нас триасовые отложения представлены нижним, средним отделами, которые по местной схеме делятся на свиты: чаркабожская, харалейская и ангуранская. Разрез чаркабожской свиты представлен переслаиванием песчаников, алевролитов, глин, углей с явным преобладанием глин. Доля коллекторов в разрезе от 7 до 35%, выделяются до 3-10 пластов-коллекторов, корреляция которых затруднена в связи с их сильной литолого-фациальной изменчивостью. Наиболее выдержан по площади базальный пласт, который является региональным репером. Разнофациальный состав пород-коллекторов предопределил формирование трех типов песчаных ловушек: пластовые, рукавообразные и литологически экранированные. Мощность глинистых локальных покрывок изменяется от нескольких метров до 40-50 м.

Ангуранская свита представлена грубым переслаиванием разноокрашенных глин, песчаников и алевролитов. Песчаники, в основном, развиты в нижней части разреза – зеленовато-серые, серые, иногда бурые за счет нефтенасыщенности, мелко- и среднезернистые, полимиктовые, от слабосцементированных до плотных. В разрезе описанной толщи выделяются два относительно хорошо прослеживаемых по площади пласта песчаника – T<sub>2-II</sub> и T<sub>2-I</sub>.

В современном структурном плане вал Сорокина представляет протяженное горстообразное поднятие, ограниченное по бортам на значительном расстоянии тектоническими нарушениями. Вал протягивается в северо-западном направлении от гряды Чернышева до побережья Печорского моря. Длина вала в пределах континентальной части составляет около 200 км, при ширине 8-12 км. [3]

По материалам морских геофизических исследований в шельфовой зоне Печорского моря прослежено продолжение вала Сорокина на расстоянии 50-60 км.

## **Выводы**

На всех месторождениях вала Сорокина наблюдается слабая вовлеченность триасовых отложений в разработку. Это связано в большей степени со слабой изученностью данных слоев и их особенностью геологического строения. И несомненно, проблемы изучения и освоения связаны также в большей степени с неблагоприятными природными условиями и удаленностью изучаемой территории от населенных пунктов и инфраструктуры.

## **Библиография**

1. Сенин Б.В., Шипилов Э.В., Юнов А.Ю. Тектоника арктической зоны перехода от континента к океану. Мурманск: кн. изд-во, 1989. 176 с.
2. Хаин В.Е., Филатова Н.И., Полякова И.Д. (ред.). Тектоника, геодинамика и перспективы нефтегазосности Восточно-Арктических морей и их континентальное обрамление // Труды Геологического института. Вып. 601. 2009. 227 с.

3. Джафаров И.С., Керимов В.Ю., Шилов Г.Я. Шельф, его изучение и значение для поисков и разведки скоплений нефти и газа. - СПб.: Недра, 2005. - 384 с.
4. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Сенин Б.В., Лавренова Е.А. Задачи бассейнового моделирования на разных этапах геолого-разведочных работ // Нефтяное хозяйство. - 2015. - №4. - С. 26-29.

*Изучение взаимодействия гидротермального флюида на кремнисто-карбонатную породу Бавлинского месторождения (эксперимент с участием флюидных включений в кварце). Сеткова Т.В. \* (ИЭМ РАН, setkova@iem.ac.ru), Голунова М.А. (ИЭМ РАН, nov@iem.ac.ru), Бубликова Т.М. (ИЭМ РАН, tmb@iem.ac.ru), Лахова А.И. (КНИТУ, lfm59@mail.ru), Петров С.М. (КНИТУ, petrovsm@fnnh.ru), Балицкий В.С. (ИЭМ РАН, balvlad@iem.ac.ru)*

## Аннотация

В работе приводятся результаты изучения нефтенасыщенности кремнисто-карбонатной породы Бавлинского месторождения методом экстракции. Экспериментально показаны влияние гидротермального флюида на изменение минерального состава породы и характер распределения органического вещества при температурах 300 и 500 °С и давлении 100 МПа. Данные по фазовому составу флюидных включений в кварце свидетельствуют о принципиально различном поведении и фазовых состояниях водно-углеводородных флюидов, сформированных с участием кремнисто-карбонатной породы при температурах 300 и 500 °С.

## Ключевые слова

Битуминозные породы, нефтяные углеводороды, флюидные включения, гидротермальные растворы

## Источники финансирования

Работа выполнена в рамках темы НИР ИЭМ РАН № FMUF-2022-0003.

## Теория

Широко известно, что битуминозные породы могут служить источником нефтяных углеводородов для восполнения истощенных и отработанных нефтегазовых месторождений [1-3]. Способность породы к генерированию нефтяных углеводородов напрямую связана с ее минералогическим составом и содержанием в ней керогена (подвижного органического вещества). Для исследований выбрана кремнисто-карбонатная порода Бавлинского месторождения, относящаяся к верхнему девону и залегающая на глубине 1301.35 м, сложенная преимущественно из кремнисто-карбонатных отложений. Порода характеризуется высоким содержанием кварца и кальцита (рис.1а). В ее состав также входят рассеянные по породе сульфиды – пирит и микропримеси халькозита. Следует отметить, что продуктивными отложениями Бавлинского месторождения являются терригенные пласты-коллекторы девона (Н=1780-1800 м), нижнего карбона (Н=1215 м) и карбонатные породы девона (Н=1235 м) и нижнего карбона (Н=1199 м).

Флюидные включения в кварце, образованные одновременно при взаимодействии гидротермальных растворов с битуминозными породами, являются по существу ультрамикроробами маточной среды (паровой и жидкой), отобранной при фиксируемых термобарических параметрах. В связи с этим исследования, направленные на изучения генерирования нефтяных углеводородов при воздействия гидротермального флюида на битуминозные породы с одновременным выращиванием

кристаллов кварца с флюидными включениями, представляются важными и актуальными.

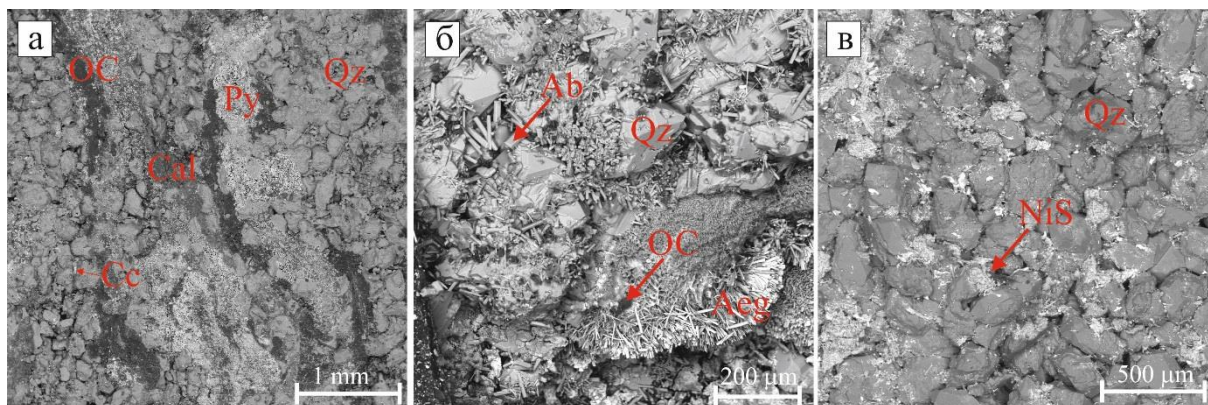
На первом этапе способность породы к генерированию углеводородов была исследована методом экстракции. Экстракция нефтяных углеводородов из породы проводилась в аппарате Сокслета в течении 72 часов с использованием смеси органических растворителей: хлороформа, толуола и изопропилового спирта, взятых в соотношении 1:1:1 по объему, с последующим определением их выхода на вес взятой породы. Далее нефтяные углеводороды разделяли в соответствии с SARA анализом на четыре фракции: насыщенные углеводороды (S), ароматические углеводороды (A), смолы (R) и асфальтены (As). Осаждение асфальтенов из экстрактов было проведено 40-кратным количеством н-гексана. Оставшиеся мальтены были разделены методом жидкостной колоночной хроматографии с использованием оксида алюминия, предварительно прокаленного при 425 °С. В результате из мальтенов были получены насыщенные углеводороды, элюированные н-гексаном, ароматические соединения, элюированные толуолом, и смолы, вытесненные из адсорбента ( $Al_2O_3$ ) смесью бензола и изопропилового спирта в равном соотношении.

В результате изучения исходной породы было установлено, что она характеризуется высокой нефтенасыщенностью, выход экстрагируемых нефтяных углеводородов (экстрактов) составляет 2.33 мас. %. В составе экстрактов присутствуют фракции насыщенных (S) – 22.28 мас. % и ароматических (A) 29.65 мас. % углеводородов, высокое содержание смол (R) – 35.24 мас. % и асфальтенов (As) – 12.83 мас. %, а также отсутствуют карбены и карбониды. По содержанию смолисто-асфальтеновых компонентов углеводородные экстракты относятся к природным битумам класса малт (с содержанием фракций насыщенных и ароматических углеводородов от 40 до 65 мас. % экстракты отличаются высокой коллоидной стабильностью (СИ) – 0.54. Углеводороды, экстрагированные хлороформом из породы Бавлинского месторождения, относятся к типу А<sup>1</sup>.

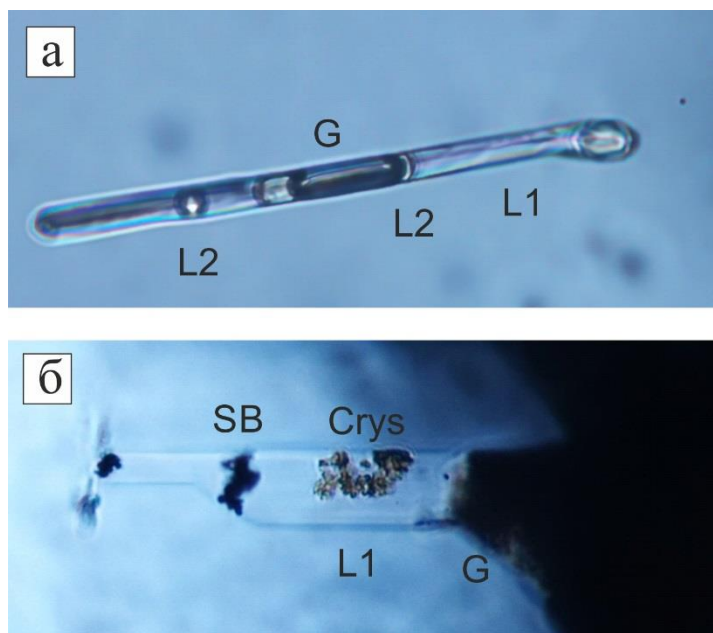
На втором этапе исходную породу подвергли термообработке при температуре 300 и 500 °С и давлении 100 МПа с участием гидротермального флюида с одновременным выращиванием кристаллов кварца с синтетическими флюидными включениями [4]. Эксперименты проводили в жаропрочных автоклавах из хром-никелевого сплава. На дно автоклава помещали брусок породы размером 10x10x20 мм и природный кристаллический кварц в избытке, сверху размещался затравочный кварц. Давление в системе задавали соответствующим коэффициентом заполнения автоклава, раствор – 7 мас. %  $NaHCO_3$ . После окончания экспериментов выращенные кристаллы кварца и морфологию поверхности породы изучали под оптическим (ADF и Nikon) и цифровым сканирующим электронным (Tescan Vega II XMU) микроскопами. Состав исходных и новообразованных минеральных фаз определяли с помощью электронно-зондового микроанализа (Tescan Vega II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450).

Распределение органического вещества по исходной породе характеризуется равномерным полосчатым строением по всему образцу (см. рис.1а). После воздействия гидротермального флюида на породу при температуре 300 °С, происходит агрегация органического вещества на поверхности в виде сфер размером до 30 мкм (рис. 1б). При воздействии сверхкритического флюида (температура 500 °С) органическое вещество полностью вымывается из породы (рис.1в) и осаждается на дне автоклава в виде твердых битумов. Изменение минералогического состава породы зависит от

температурных условий гидротермального воздействия. При температуре 300 °С кристаллы кварца, которыми преимущественно сложена порода, дорастиваются и укрупняются. При этом на поверхности породы также кристаллизуется альбит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) и эгирин ( $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ ) (рис.1б). Такая минеральная ассоциация образуется по причине высокой активности натрия при использовании раствора  $\text{NaHCO}_3$ . При температуре 500 °С помимо органического вещества в раствор из породы также выносятся алюминий и железо, остается устойчив только кварц (рис.1в). Избыточная сера выпадает из раствора в сульфидной форме в виде соединения  $\text{NiS}$ , которое образуется в результате ее взаимодействия со стенками автоклава.



**Рисунок 1.** РЭМ-изображения исходной породы (а) и в результате обработки гидротермальным флюидом (состав 7 мас.%  $\text{NaHCO}_3$ ) при температуре 300 °С (б) и 500 °С (в), давлении 100 МПа. Обозначения: OC-органическое вещество, Qz – кварц, Cal – кальцит, Py – пирит, Cc – халькозит, Ab – альбит, Aeg – эгирин.



**Рисунок 2.** Флюидные включения в кварце, образованные в результате взаимодействия гидротермального раствора с кремнисто-карбонатной породой Бавлинского месторождения при 300 (а) и 500°С (б). Фазы во включениях: L1 – водный раствор, L2 – нефтяные углеводороды, G – газ, SB – твердые битумы, Crys – кристаллическая фаза, предположительно  $\text{NiS}$ .

Фазовый состав образовавшихся в кварце включений зависит от температуры эксперимента. При более низкой температуре (300 °С) формируются включения с



составом фаз  $L1 > G >> L2$  (рис. 2). Во включениях, сформированных при более высокой температуре отсутствует фаза  $L2$  жидких нефтяных углеводородов, они представлены составом  $G \geq L1 \geq SB$  с преобладанием твердых битумов.

## **Выводы**

Таким образом, в результате исследований установлено, что кремнисто-карбонатная порода Бавлинского месторождения характеризуется высокой нефтенасыщенностью, выход углеводородов составляет 2.33 мас.%. Экспериментально показано влияние гидротермального флюида на изменение ее минерального состава и характер распределения органического вещества при температурах 300 и 500 °С. Данные по фазовому составу флюидных включений в кварце свидетельствуют о принципиально различном поведении и фазовых состояниях водно-углеводородных флюидов, сформированных с участием кремнисто-карбонатной породы при температурах 300 и 500 °С.

## **Библиография**

1. Каюкова Г.П., Михайлова А.Н., Насырова З.Р., Вахин А.В. Гидротермальные преобразования органического вещества пород доманиковых отложений Татарстана в сланцевую нефть – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС", 2021. 328 с. ISBN 978-5-89118-840-2.
2. Муслимов Р.Х., Плотникова И.Н. Учёт процессов переформирования нефтяных залежей при длительной эксплуатации и глубинной подпитки при моделировании разработки нефтяных месторождений. Георесурсы. 20(3):186-192, 2018.
3. Balitsky V.S., Setkova T.V., Balitskaya L.V., Bublikova T.M., and Golunova M.A. Phase composition and states of water-hydrocarbon fluids at elevated and high temperatures and pressures (experiment with the use of synthetic fluid inclusions). In *Advances in Experimental and Genetic Mineralogy*, volume 11 of Special Publication to 50th Anniversary of DS Korzhinskii Institute of Experimental Mineralogy of the Russian Academy of Sciences. Litvin Yu.A. Safonov O.G (Editors), New York, 2020. New York.
4. Балицкий В.С., Плотникова И.Н., Балицкая Е.Д., Пиронон Ж., Баррес О., Пентелей С.В., Сеткова Т.В., Голунова М.А., Бубликова Т.М., Балицкая Л.В., Петров С.М., Лахова А.И. Синтетические водно-углеводородные включения в кварце, как свидетельство возможности образования нефти и газа в процессе взаимодействия битуминозных пород с гидротермальными растворами. Нефтяная провинция, 28(4):293–326, 2021.

***Обзор геологического строения Предпатомского регионального прогиба для оценки перспектив нефтегазоносности. Сивков Л.Н.\* (МГРИ, leonidsivkovn@yandex.ru)***

**Аннотация**

Работа заключалась в изучении и анализе геологического строения и нефтегазоносности Предпатомского регионального прогиба (РП) с целью дальнейшего определения на его территории перспективных зон на поиски залежей углеводородов.

**Ключевые слова**

Предпатомский региональный прогиб, Предпатомская нефтегазоносная область, юго-восток Сибирской платформы, перспективы нефтегазоносности

**Теория**

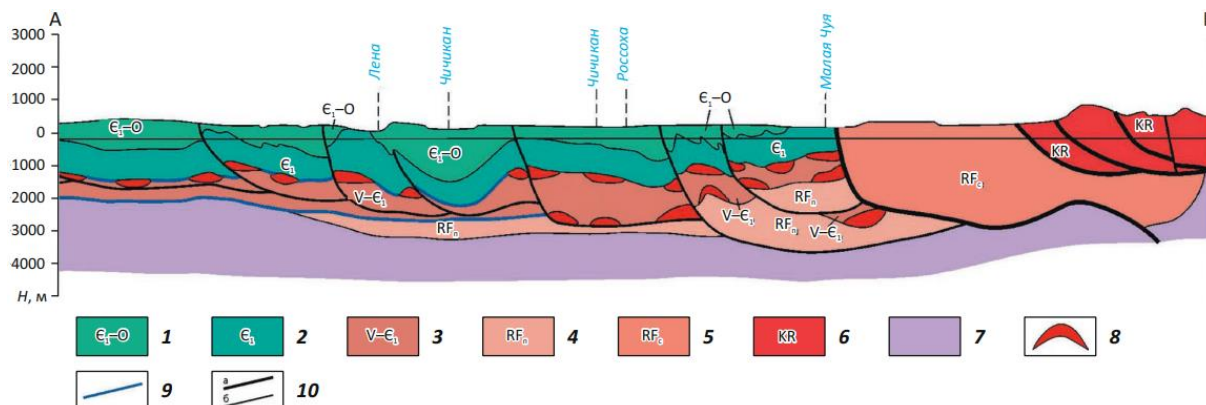
В Предпатомском прогибе и связанной с ним Предпатомской нефтегазоносной области (НГО) доказана промышленная газоносность. Благоприятное инфраструктурное положение (непосредственная доступность нефтегазотранспортной трубопроводной системы) делает эти земли еще более привлекательными для промышленного освоения [3].

Предпатомская НГО Ленго-Тунгкской нефтегазоносной провинции (НГП) по границам совпадает с одноименным прогибом. Предпатомский РП располагается в юго-восточной краевой части Сибирской платформы в зоне ее сочленения с Байкало-Патомской складчатой областью. На юго-западе прогиб граничит с Ангаро-Ленской ступенью; на северо-западе — с Непско-Ботубинской антеклизой; на северо-востоке — с Вилючанской седловиной, Сунтарским сводом и Кемпендяйской впадиной; на востоке — с Алданской антеклизой; на юго-востоке — с Байкало-Патомской складчатой областью [5].

Предпатомский региональный прогиб характеризуется сложным тектоническим строением. Данные бурения единичных глубоких скважин и материалы сейсморазведочных работ указывают на факты наличия взбросово-надвиговых дислокаций. Таким образом Предпатомский РП в тектоническом плане следует рассматривать как область крупного пояса шарьяжно-надвиговых структур, представляющий собой пакет тектонических пластин, последовательно надвинутых друг на друга с юго-востока на северо-запад (рис. 1) [1]. Это подтверждается тем, что во многих скважинах зафиксированы неоднократные (2–5 раз) вскрытия одних и тех же стратиграфических подразделений, в том числе продуктивных пластов [6]. Надвиговые деформации здесь активно проявились в основном в средней и верхней частях осадочного чехла: в верхневендско-нижнекембрийском подсолевом карбонатном, нижнекембрийском солевом и среднекембрийско-девонском надсолевом комплексах. Нижезалегающие терригенные отложения венда практически не подвергались отмеченным деформациям, поскольку составляют автохтонную часть разреза [5].

Степень изученности Предпатомского прогиба геофизическими и буровыми работами весьма низкая. На его обширной территории пробурено лишь 46 глубоких скважин, а объем выполненной сейсморазведки крайне малый [5].

В последние десятилетия сложилась ситуация, когда оцененная как перспективная значительная часть Предпатомской НГО не имеет достаточно обоснованной модели геологического строения. Не установлена глубина погружения кровли кристаллического фундамента под Байкало-Патомское нагорье. Отсутствуют представления о морфологии и числе надвиговых пластин, их толщине и глубинном строении. Слабо изучены масштабы надвигания складчатых образований на осадочный чехол. Отсутствуют данные о глубинном поднадвиговом составе и строении автохтона [3].

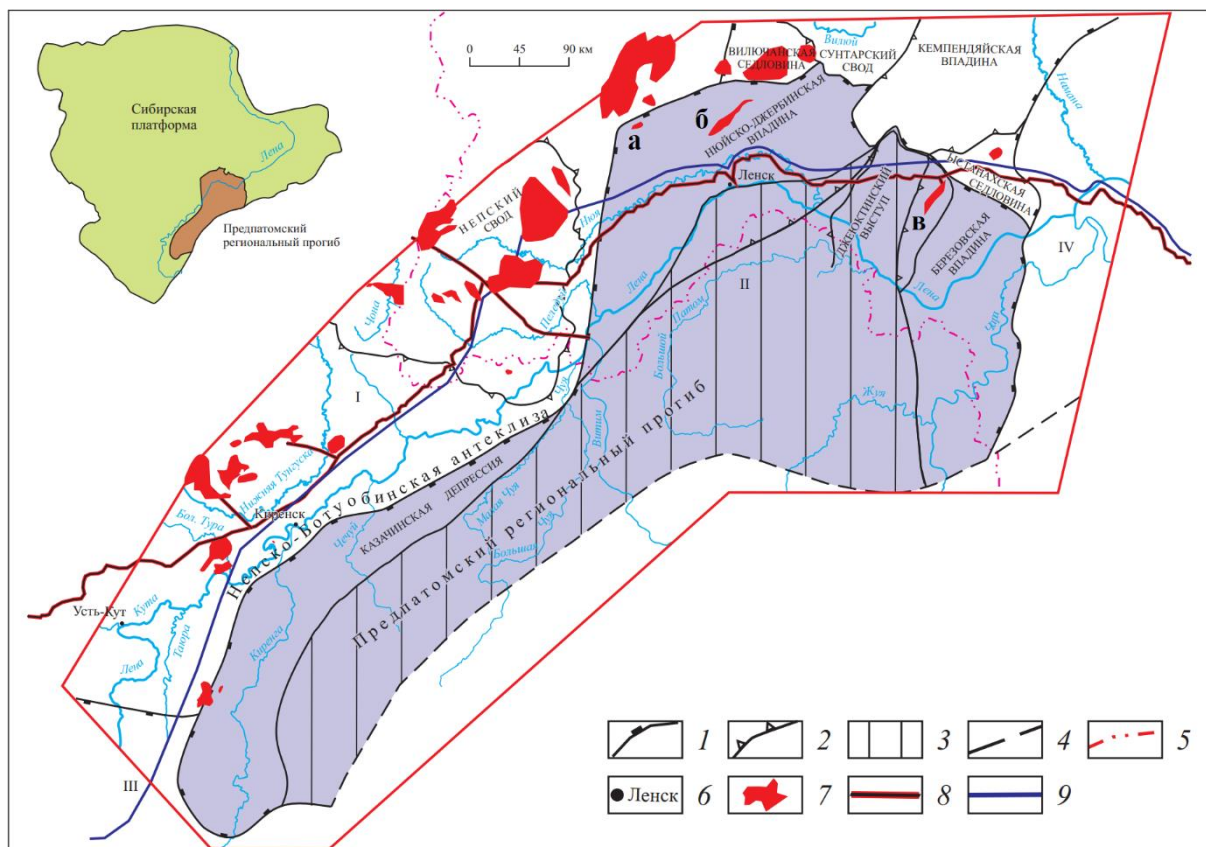


**Рисунок 1.** Фрагмент схематического геологического разреза поперек центральной части Предпатомского РП с элементами прогнозирования нефтегазоносных ловушек (фрагмент приложения к листу геологической съемки О-49, третье поколение, ВСЕГЕИ, 2010 [2]). Условные обозначения: отложения (1–5): 1 — надсоленосные кембрия и ордовика, 2 — соленосные нижнего кембрия, 3 — подсоленосные венда и нижнего кембрия, 4 — рифейские в пределах платформы, 5 — рифейские в пределах складчатой области; 6 — магматические образования карелия; 7 — кристаллический фундамент платформы; 8 — предполагаемые ловушки, связанные с положительными структурами; 9 — немасштабные продуктивные нефтегазоносные горизонты; 10 — разрывные нарушения: а — главные, б — второстепенные.

Предпатомский регилальный прогиб в тектоническом плане включает Нюйско-Джербинскую (на северо-западе) и Березовскую (на востоке) впадины, разделенные Джеюктинским выступом, а также Казачискую депрессию (на юго-западе). В пределах Нюйско-Джербинской впадины открыты два месторождения: Хотого-Мурбайское газовое и Отраднинское газоконденсатное, а в пределах Березовской впадины — Бысахтахское газоконденсатное (рис. 2).

С Предпатомской нефтегазоносной областью связывают лишь 3% всех суммарных начальных геологических ресурсов углеводородов (УВ) Лено-Тунгусской НГП. Область является преимущественно газоносной. Осадочный разрез представлен рифейскими, вендскими и палеозойскими отложениями [1].

Основные перспективы нефтегазоносности Предпатомского РП, как и смежных с ним крупных структур, связаны с вендско-нижнекембрийским подсолевым терригенно-карбонатным мегакомплексом, в котором выделены семь региональных резервуаров нефти и газа: вилючанский, нижненепский, верхненепский, тирский, нижнеданиловский, верхнеданиловский и усольский. Большинство из них распространены повсеместно [6].



**Рисунок 2.** Обзорная карта Предпатомского регионального прогиба (Составил Г. Г. Шемин [4]). Условные обозначения: 1 — контуры надпорядковых структур: I — Непско-Ботуобинская антеклиза, II — Предпатомский региональный прогиб, III — Ангаро-Ленская ступень, IV — Алданская антеклиза; 2 — контуры структур I порядка: сводов, выступов, впадин; 3 — зона складчато-надвигового строения отложений венда-нижнего палеозоя; 4, 5 — границы: 4 — Лено-Тунгусской НГП, 5 — административные; 6 — города; 7 — месторождения УВ: а — Хотогомурбайское (Г), б — Отраднинское (ГК), в — Бысахтахское (ГК); 8 — действующий нефтепровод ВСТО; 9 — строящийся газопровод «Сила Сибири».

## Выводы

Актуальность изучения Предпатомской НГО обусловлена ее доказанной нефтегазоносностью и пространственным расположением вблизи современной транспортной и добывающей нефтегазовой инфраструктуры.

На территории Предпатомского РП открыто всего 3 месторождения, тем не менее он обладает большим потенциалом обнаружения новых залежей УВ, так как имеет сходное строение осадочного разреза с соседней высокопродуктивной Непско-Ботуобинской НГО.

Прогнозируемые скопления УВ связываются с ловушками, приуроченными к блоковым поднятиям различного характера, а также к тектонически экранированным зонам. Также стоит принимать во внимание тот факт, что взбросово-надвиговые деформации могли оказать влияние на перераспределение залежей УВ. Однако для создания адекватной геологической модели Предпатомского РП требуется выполнение новых региональных геологоразведочных работ.

## Библиография

1. Бурова И. А. Карбонатные коллекторы вендско-нижнекембрийского нефтегазоносного комплекса Восточной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т.5. – №2. – [http://www.ngtp.ru/rub/4/23\\_2010.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2010.pdf)
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист О-49 — Киренск. Объяснительная записка / Н.Н. Митрофанова, В.И. Болдырев, Н.К. Коробейников, Г.Л. Митрофанов и др. – 1 : 1 000 000. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 607 с. + 8 вкл.
3. Мигурский Ф. А. Проблемы оценки масштабов и перспектив нефтегазоносности Предпатомской нефтегазоносной области в свете эволюции взглядов на тектоническое строение юго-восточного обрамления Сибирской платформы // Геология нефти и газа. – 2019. – № 2. – С. 39–54
4. Перспективы нефтегазоносности региональных резервуаров Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) / [Г. Г. Шемин и др.]; отв. редактор М. И. Эпов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2018. – 315 с.
5. Шемин Г. Г. Модели строения и количественная оценка перспектив нефтегазоносности региональных резервуаров вендского терригенного макрокомплекса Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. – 2013. – №1(13). – С. 22-39
6. Шемин Г. Г., Фортунова Н. К. Детальная корреляция вендско-нижнекембрийских подсолевых отложений Предпатомского регионального прогиба и смежной территории Небско-Ботуобинской антеклизы (Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. – 2012. – №4(12). – С. 8-25

*Геодинамическая характеристика размещения скоплений углеводородов в мегарезервуарах осадочного бассейна. Сидорчук Е.А. \* (ИПНГ РАН, elena\_sidorchuk@mail.ru), Добрынина С.А. (ИПНГ РАН, dobrinini2002@mail.ru)*

## **Аннотация**

Применение современной геодинамики и на этой основе разработка моделей эволюции осадочных бассейнов приобретает все большее распространение при прогнозе объектов скоплений углеводородов. Локальные геодинамические обстановки находят отражение в особенностях рельефа изучаемой территории, что может быть использовано для прогноза и поиска скоплений углеводородов.

На примере северо-западного обрамления Сибирской платформы рассмотрена геодинамическая характеристика нефтегазоносной территории. Формирование и сохранение нефтегазосодержащих мезо-кайнозойских мегарезервуаров изучаемой территории в значительной степени определено как глобальными геодинамическими процессами, происходящими в результате движения и взаимодействия литосферных плит в этой части земной коры, так и локальными геодинамическими обстановками, создающими напряженно-деформационное состояние отдельных объемов осадочного чехла.

## **Ключевые слова**

Геодинамика, морфоструктурные особенности, мегарезервуары, скопления углеводородов.

## **Источники финансирования**

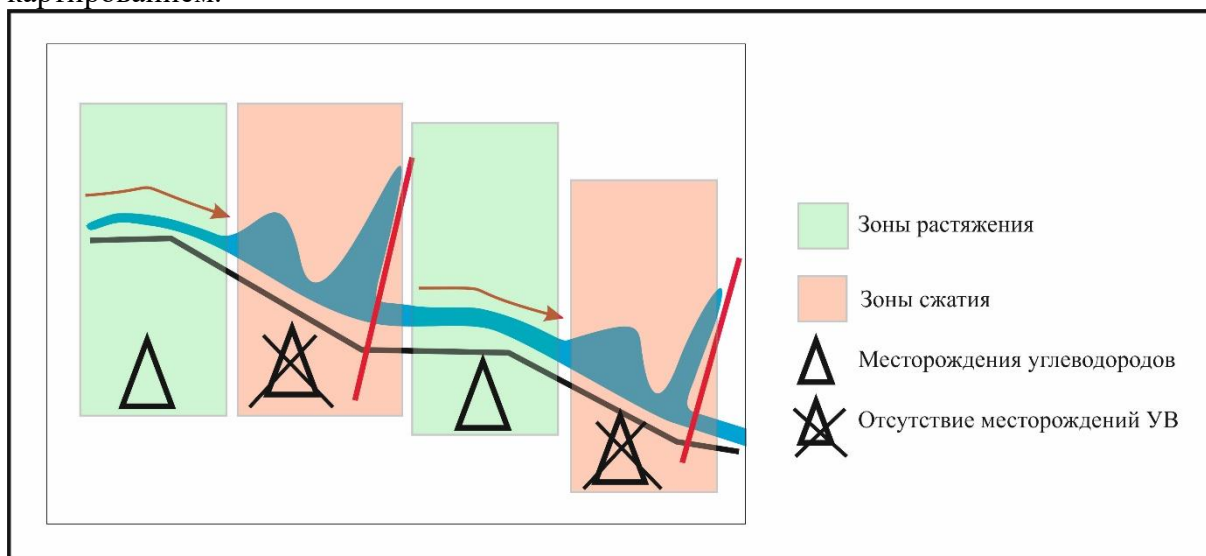
Работа написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла» № 122022800253-3).

## **Теория**

Теоретическое обоснование прогноза скоплений углеводородов, особенно с потенциально крупными и уникальными запасами, находится на стадии разработки новых решений. Это связано с тем, что основным поисковым признаком многие предыдущие годы являлся структурный фактор. В результате высокого процента разведанности тектонических структур и связанных с ними крупных нефтегазовых месторождений появилась потребность в совершенствовании методик или технологий прогноза. Это позволит выполнить более полное изучение истории развития перспективных нефтегазоносных территорий и особенностей их геологического строения. В последнее десятилетие достаточно широким кругом исследователей стали разрабатываться технологии прогноза скоплений углеводородов (УВ) на основе представлений об определяющем влиянии геодинамических процессов на формирование и размещение скоплений УВ в природных резервуарах [2, 3, 5]. Глобальные и локальные геодинамические процессы вызывают перемещение отдельных объемов осадочного чехла. В процессе сдвигового движения периодически возникают, исчезают и вновь возникают условия геодинамического растяжения и

сжатия, формируются области напряженно-деформационного состояния горных пород, создавая локальные геодинамические обстановки. Известно, что скопления УВ имеют приуроченность к зонам разломов или правильнее назвать к зонам нарушенной сплошности (трещиноватости), усиливающиеся в местах пересечения разломов. Такие участки обладают определенными геолого-геофизическими и структурными характеристиками и имеют морфоструктурные особенности, наблюдаемые как в осадочном чехле, так и на поверхности изучаемой территории.

На рисунке 1 показана модель морфоструктурных особенностей перспективных территорий, представляющая из себя ряд квазигоризонтальных ступеней, на которых формируются локальные геодинамические зоны растяжения, соединенные наклонными поверхностями, где формируются зоны локального геодинамического сжатия. По простиранию зоны локальной геодинамики разделяются друг от друга прямолинейными границами, разломная природа которых установлена геологическим картированием.



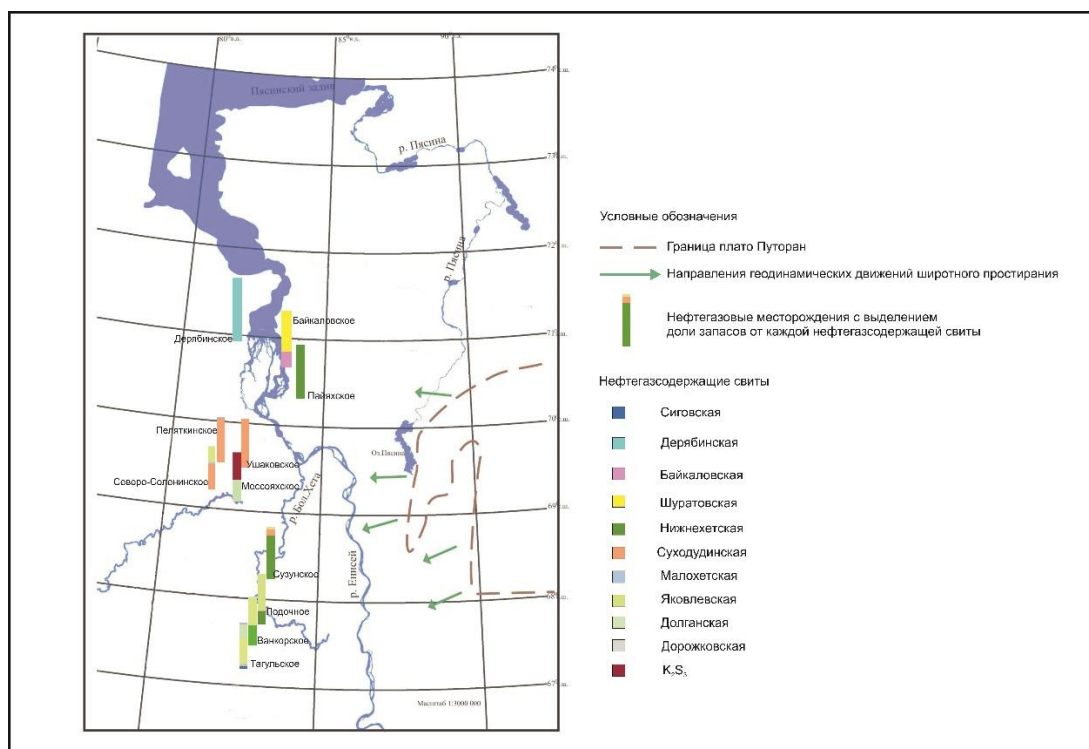
**Рисунок 1.** Схематичная модель морфоструктурных особенностей перспективных территорий на нефть и газ, показывающая приуроченность скоплений углеводородов к зонам растяжения. Зоны сжатия неблагоприятны для сохранения скоплений УВ.

В зоне сочленения Западно-Сибирской плиты (ЗСП) с Сибирской платформой и Енисей-Хатангским региональным прогибом (ЕХРП) значительные перспективы нефтегазоносности связываются с мезозойскими отложениями. Для повышения эффективности поисковых работ в названном районе необходимо модифицировать технологию поисков. В перспективном стратиграфическом диапазоне выделяется семь нефтегазоносных комплексов: доюрский, ниже-среднеюрский, верхнеюрский (келловей-кимериджский), волжско-берриасовый, неокомский клиноформный, аптальб-сеноманский и турон-сантонский. Наибольшее внимание, как перспективным для поисков УВ, уделяется юрско-меловым мегарезервуарам по аналогии с Западно-Сибирским осадочным бассейном.

В поисковом процессе начато использование геодинамических особенностей изучаемой территории. Палеогеографические реконструкции геологического развития северного обрамления Сибирской платформы, в том числе зоны сочленения северо-востока ЗСП и северо-запада Сибирской платформы, отражают последовательность тектонических событий, происходивших в условиях активизации геодинамических процессов [1]. Растяжение и сжатие горных пород в конце юры – начале мела создали

локальные геодинамические напряжения в осадочном чехле, что привело к образованию систем валов и впадин (Рассохинский, Малохетский, Балахнинский и др.). Геодинамическая характеристика изучаемой территории определяется несколькими источниками геодинамических напряжений: возникшие вследствие растяжения (спрединга) в районе хребта Гаккеля, связанные с толщиной траппов Путорана и генерированные в результате «сползания» осадочных толщ [5]. Локальными геодинамическими напряжениями были охвачены разные по размерам объемы осадочного чехла. Индикаторами локальных геодинамических обстановок являются морфологические особенности поверхности территории [2, 3]. Частным случаем локальной геодинамической обстановки сдвига (типа «вытолкнутый блок») является ее определение по характерному рисунку речной сети. Русло реки Енисей в северной части изучаемой территории образует характерную структуру «вытолкнутого» блока, что является морфоструктурным выражением геодинамических напряжений. Совокупность геодинамических процессов в течение геологической истории развития региона изучения привела к определенному размещению природных мегарезервуаров.

Авторами отмечено [4], что геологическими критериями образования месторождений УВ с наиболее крупными по величине запасами являются: мощный источник подпитки УВ и природный мегарезервуар. Мегарезервуар представляется как масштабная ловушка, содержащая коллектор с хорошими характеристиками и надежной крышкой. На рисунке 2 приведено размещение уникальных и крупных месторождений углеводородов на изучаемой территории.



**Рисунок 2.** Схема расположения уникальных и крупных нефтегазовых месторождений зоны сочленения ЕХРП с Западно-Сибирской впадиной с выделением доли запасов от каждой нефтегазосодержащей свиты.

На рисунке 2 также показана доля участия каждого мегарезервуара, которые, по сути, ограничивают нефтегазосодержащие свиты. На каждом из месторождений наибольший вклад в величину запасов вносят одна или несколько из этих свит:



дорожковская, долганская, яковлевская, малохетская, суходудинская, нижнехетская. Детальное рассмотрение геологического строения изучаемых месторождений показывает, что стратиграфически нефтегазонасыщенные мегарезервуары на этих месторождениях в основном относятся к меловому возрасту. В районе Ванкорского, Тагульского и Восточно-Мессояхского месторождений наибольшие эффективные мощности и площадь распространения имеют коллекторы яковлевской свиты.

## **Выводы**

Изучение размещения мегарезервуаров с уникальными и крупными месторождениями нефти и газа в зоне сочленения Западно-Сибирской плиты с Сибирской платформой и Енисей-Хатангским региональным прогибом показало, что определяющим фактором, влияющим на крупность скоплений УВ, является характерное распределение геодинамических напряжений.

Особенности ландшафта территории рассматриваются как локальные геодинамические обстановки, которые могут быть индикаторами глубинных геологических объектов.

Наличие значительных по площади распространения с высокими коллекторскими свойствами природных мегарезервуаров повышает возможности для крупномасштабного газо- и нефтенакпления.

## **Библиография**

1. Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В., Бордунов С.И., Луговая О.В., Чикишев А.А., Яковишина Е.В. Тектоника и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена // Геотектоника. 2016. № 2. С. 23-42.
2. Голованов К.С., Харченко В.М., Волошина Т.В., Зенин Д.И. Теоретические основы и технология выявления зон аномально высоких давлений (АВПД) (на примере объектов Азово-Кубанской, Кумо-Маньчской впадин и зоны сочленения Прикаспийской впадины и кряжа Карпинского) // Наука, инновации, технология. 2016. №1. С.107-120.
3. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Формирование залежей углеводородов на больших глубинах с позиций нелинейной геодинамики // В сборнике: Новые идеи в геологии нефти и газа. Сборник научных трудов. / Ответственный редактор Ступакова А.В. – М.: изд-во Перо, 2019. С.200-204.
4. Сидорчук Е.А., Добрынина С.А. Влияние характеристик коллектора на крупность запасов углеводородов в природных резервуарах // Socar Proceedings. 2022. Спецвыпуск 2. С. 23-29.
5. Ульмасвай Ф.С., Сидорчук Е.А., Добрынина С.А. Геодинамические напряжения как проявление тектонических механизмов нефтегазонакопления на больших глубинах // Актуальные проблемы нефти и газа. № 3(22). 2018. 8 с. Режим доступа – <http://oilgasjournal.ru>.

**Статистические особенности распределения фильтрационно-емкостных свойств в отложениях дельтового комплекса. Потемкина Е.Л. (potemkinael@mail.ru), Потемкин Г.Н.\* (МГРИ, potemkingn@mgri.ru)**

### Аннотация

В рамках работы рассмотрены детальные различия в микронеоднородности высокопродуктивного осадочного тела, сформировавшегося в дельтовых обстановках. Объект изучения – отложения ванденской свиты меловой системы одного из крупных месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

На основе статистической обработки результатов исследований керна установлено, что коллекторы кажущегося относительно однородным осадочного тела обладают значимыми различиями в пористости и проницаемости, что позволяет учитывать данный факт при настройке алгоритмов моделирования и при проектировании разработки.

### Ключевые слова

Микронеоднородность, дельтовые отложения, геостатистика, критерий Колмогорова, коллектор.

### Теория

Объектом исследования является терригенный нефтеносный пласт АВ<sub>2</sub>, приуроченный к ванденской свите, на одном из месторождений Широкого Приобья. На основе изучения керновых данных было установлено, что для рассматриваемых отложений характерны дельтовые обстановки осадконакопления. Наиболее высокими коллекторскими свойствами обладают зоны развития дельтовых каналов, которые могут существовать как в надводной, так и в подводной частях дельты. При этом следует отдельно отметить, что положение береговой линии определяется в значительной степени условно, в том числе из-за ее нестационарного положения.

В дельтовых каналах формировались высококачественные песчаные коллекторы [1, 2, 4], которые обычно рассматривались как однородные тела при составлении петрофизической основы и распределении свойств в геологической модели. На первый взгляд, различия в коллекторских свойствах по мере удаления от береговой линии действительно несущественны. Для подводной части пористость коллекторов изменяется в диапазоне от 10 до 27 % при среднем значении 23 %, а для надводной – от 14 до 32 % при среднем значении 22,6 %. Проницаемость для образцов, отнесенных к более удаленной от береговой линии зоне, находится в диапазоне  $1,2 - 5535 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, а для надводной части – в диапазоне  $1,1 - 2394 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, средние значения составляют 636 и  $301 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> соответственно.

Для изучения обоснованности объединения рассматриваемых обстановок проведено детальное исследование микронеоднородности с помощью статистических инструментов. Для каждой фациальной зоны построены отдельные распределения пористости и проницаемости. Можно отметить некоторое увеличение доли высокопористых и высокопроницаемых образцов для отложений подводной части.

Величины среднеквадратичного отклонения и дисперсии, рассчитанные для выборки пористости и логарифма проницаемости, свидетельствуют о несущественном превышении рассеяния относительно среднего (абсолютной неоднородности распределения) для отложений авандельты как по пористости, так и по проницаемости.

Более объективно неоднородность может быть охарактеризована с помощью коэффициента вариации, который представляет собой отношение среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию [3]. Для пористости этот параметр указывает на высокую степень однородности распределений для обеих фациальных зон при незначительном превышении для подводной части дельты (9,6 % против 8,4 % в надводной части дельты).

Распределение логарифма проницаемости в целом имеет более высокие значения коэффициента вариации, величины которых сопоставимы (29 % и 31 % соответственно).

Степень совместимости распределений аналитически можно оценить на основе сравнения дисперсий по критерию Фишера (F):

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \text{ при } s_1^2 > s_2^2, \quad (1)$$

где  $s_1^2$  и  $s_2^2$  – оценки дисперсий значений нормально распределенных случайных величин.

Таким образом, величина критерия F для рассматриваемых совокупностей пористости составит 1,37, а для логарифма проницаемости – 1,39.

Критическое значение критерия  $F_{кр}$  (ниже которого распределения считаются совместимыми) зависит от количества степеней свободы  $k_1$  и  $k_2$ , причем  $k_1 = n_1 - 1$ , а  $k_2 = n_2 - 1$ , где  $n_1$  и  $n_2$  – объемы первой и второй выборок соответственно. Для рассматриваемых совокупностей  $k_1 = 209$  и  $k_2 = 432$ , поэтому критическое значение критерия Фишера для уровня значимости 0,05 составляет 1,21.

Сравнение полученных величин критерия F с критическим значением указывает на то, что разница дисперсий распределений параметров как для пористости, так и для проницаемости является существенной для рассматриваемых выборок.

Одним из наиболее простых и объективных методов сравнения рядов распределений является критерий согласия  $\lambda$  А.Н. Колмогорова, сущность которого заключается в сравнении кумулятивных кривых. Критерий определяется по формуле:

$$\lambda = D_{max} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}, \quad (2)$$

где  $D_{max}$  – максимальная разность в каком-либо классе между накопленными частотами сравниваемых рядов распределения;  $n_1$  и  $n_2$  – объемы сравниваемых совокупностей.

Для распределений пористости максимальное расхождение кумулятивных кривых  $D_{max}$  отмечается в классе 24 – 25 % (рисунок 1) и составляет 0,142, а для

распределений проницаемости максимальная разность установлена в классе  $562 - 1000 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$  (рисунок 2) и равна 0,2.

Рассчитанное по распределениям пористости значение критерия Колмогорова составляет 1,69, а по распределениям десятичного логарифма проницаемости – 2,41, что существенно превышает табличную величину критического значения при уровне значимости 0,05, равную 1,37. Таким образом, анализ кумулятивных кривых с помощью критерия Колмогорова также указывает на значимые различия распределений фильтрационно-емкостных свойств в рассматриваемых фациальных зонах.

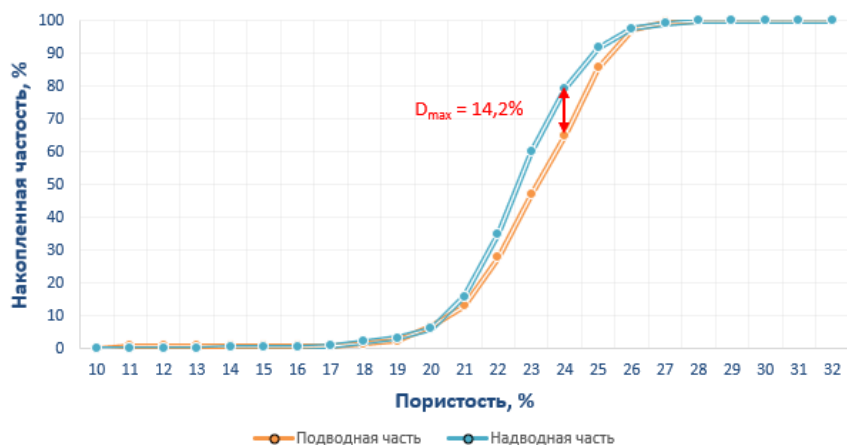


Рисунок 1. Кумулятивные кривые распределений пористости по керну для отложений пласта АВ<sub>1-2</sub>

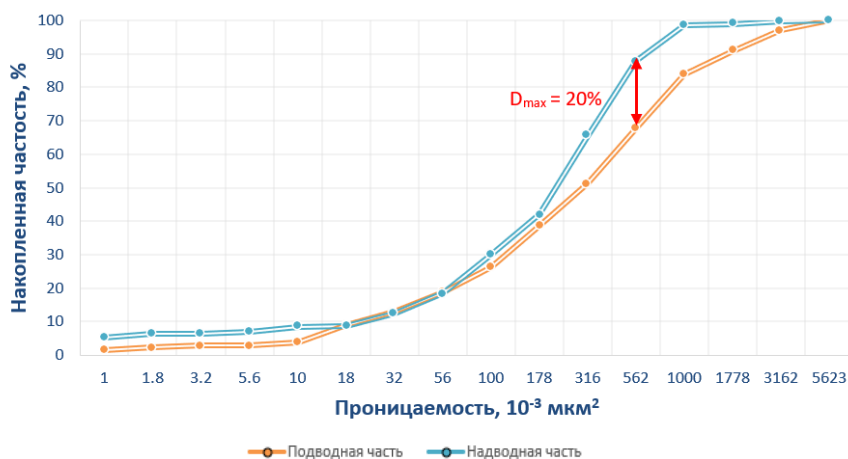


Рисунок 2. Кумулятивные кривые распределений проницаемости по керну для отложений пласта АВ<sub>1-2</sub>.

Стоит отметить, что ввиду нестационарного положения границы надводной и подводной частей дельты, можно говорить только об условной преимущественной палеогеографической привязке исследуемых скважин, принимая во внимание полифациальный состав разрезов.

Следует обратить внимание и на вертикальную неоднородность рассматриваемых песчаных тел. Анализ изменения проницаемости с глубиной в пределах песчаного тела дельтового генезиса проведен на основании результатов

исследований керна в одной из скважин с наибольшим выносом, вскрывшей отложения подводной части дельты. Было установлено, что проницаемость циклично меняется с глубиной в интервале значений  $130 - 900 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, возрастая внутри циклов. Также просматривается общая тенденция к увеличению фильтрационных свойств вверх по разрезу.

### **Выводы**

Несмотря на близость параметров фильтрационно-емкостных свойств отложений надводной и подводной частей дельтового канала, статистический анализ показывает, что пористость и проницаемость подводных частей канала имеют более высокие абсолютные значения, при этом распределения чуть более неоднородны, чем в надводных частях. В то же время, распределения в двух рассматриваемых обстановках имеют значимые различия, что дает основание применять отдельные подходы к моделированию их свойств.

Описанные различия, в первую очередь, следует связывать с текстурными особенностями отложений. В подводной части дельты, незначительно удаленной от береговой линии, энергия речного потока не успевала существенно снизиться и обеспечивала привнос достаточно крупнозернистого песчаного материала. В свою очередь, осадочный материал, попадая в иную гидродинамическую среду, подвергался более интенсивной сортировке при дифференцированной седиментации, чему также могла способствовать различная волновая активность моря.

Таким образом, однородное по данным ГИС литологическое тело на основе детального изучения лабораторных анализов керна таковым не является. Выявленная микронеоднородность важна для понимания распределения фильтрационных характеристик в разрезе песчаного тела с целью эффективной разработки пласта, поскольку прослой с проницаемостью выше на порядок от перекрывающих и подстилающих отложений, как правило, дренируются в первую очередь, а затем становятся единственным путем фильтрации закачиваемой жидкости, что, в конечном счете, является причиной низкой выработки запасов.

### **Библиография**

1. Арефьев С.В., Потемкина Е.Л. Уточнение флюидных моделей нефтяных залежей в отложениях алымской и ванденской свит Ватьеганского месторождения на основе новых представлений о строении природных резервуаров. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2020, № 4, С.44-50.
2. Барабошкин Е.Ю. Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном. - Тверь: ООО "Изд-во ГЕРС", 2011. – 152 с.
3. Гутман И.С., Балабан И.Ю. Геостатистика в промыслово-геологических исследованиях: Учебное пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 154 с.
4. Потемкина Е.Л. Реконструкция условий формирования отложений пласта АВ1-2 Ватьеганского нефтяного месторождения. Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова, 2016, т.1, С. 399-401.

*Характеристика состава углеводородных флюидов в резервуарах нефтегазоносных бассейнов. Пуланова С.А. (Институт проблем нефти и газа РАН, [spulanova@gmail.com](mailto:spulanova@gmail.com))*

**Аннотация**

Проанализировано влияние геохимического фактора на свойства нефтидов, насыщающих комбинированные ловушки в различных нефтегазоносных бассейнах (НГБ) мира. С позиции теории онтогенеза нефтидов показана возможность прогнозировать физико-химические свойства, углеводородный состав, металлогеническую специализацию и фазовое состояние флюидов, заполняющих природные резервуары различного морфологического типа.

**Ключевые слова:** природные резервуары, ловушки, микроэлементы нефти, прогноз состава нефтей, зоны гипергенеза, катагенез, фундамент.

**Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках плана НИР ИПНГ РАН (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла», номер государственной регистрации 122022800253-3).

**Теория**

*О ловушках комбинированного типа*

Оценка перспектив нефтегазоносности невозможна без выявления характера и структуры ловушек. О значении оценки характера (типа) ловушек и их перспективности с точки зрения ресурсов свидетельствуют многолетние исследования, проведенные группой специалистов [6]. Авторы показывают значимость в мировых запасах УВ сырья открытия месторождений в ловушках различного типа с конца 1800-х годов и до наших дней. Утверждается, что объёмы ресурсов УВ стратиграфических ловушек (не антиклинальных) в 1990-ых годах стали составлять 15% от объёмов ресурсов УВ значимых бассейнов, что выше, чем 10%-показатель на всём историческом протяжении до этого. Наибольшая концентрация гигантов выявлена на Ближнем Востоке, в Северной Америке и России, но почти каждый работающий нефтяной бассейн имеет потенциал для гигантских месторождений, в которых в настоящее время открываются залежи в сложных ловушках комбинированного типа. Характерной особенностью подобных ловушек является сочетание структурной, литологической, стратиграфической, а также дизъюнктивной составляющих.

*Прогноз качества нефтей в природных резервуарах*

При поисках и оконтуривании ловушек нетрадиционного неантиклинального характера обязательно встает вопрос о прогнозе как типа нефти, заполняющего природный резервуар, так и фазового состояния флюидов.

В докладе представлены результаты изучения закономерностей состава нефтей (микроэлементный (МЭ) состав, физико-химические свойства) при формировании различного типа резервуаров месторождений нефти и газа в различных условиях онтогенеза.

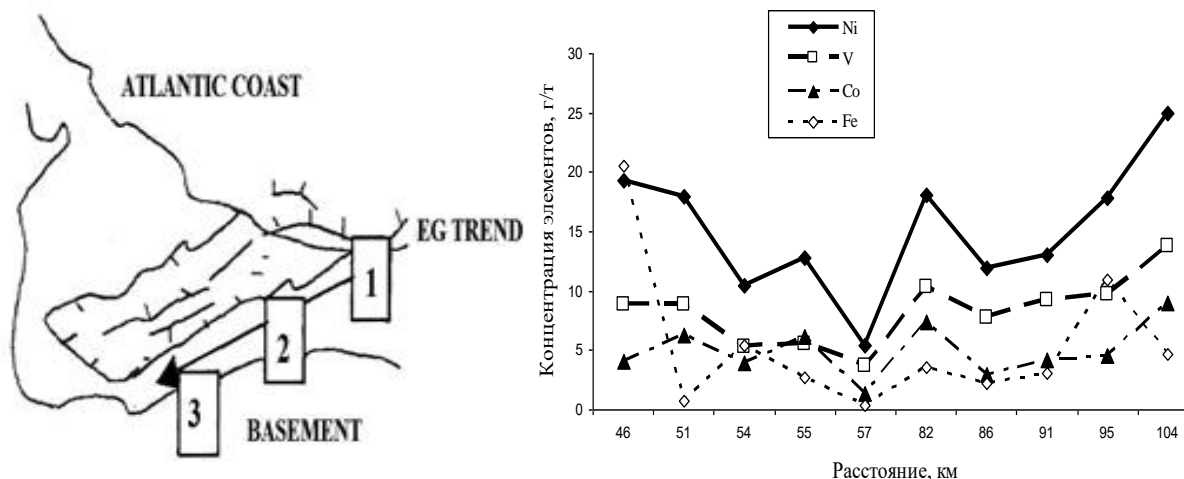
Химический состав нефтей, их физические свойства и содержание МЭ функционально связаны с геологической историей развития региона и в каждом типе

бассейнов будет специфическим и отвечать вертикальной зональности флюидогеохимической модели нефтегазообразования осадочного бассейна (Н.Б. Вассоевич, Ал. А. Петров, С.Г. Неручев, О.К. Баженова, В.Ю. Керимов и др.). Учитывая это, можно трактовать наличие нефтей определенного генетического типа, определенных физико-химических свойств в ловушках, закартированных в нефтегазоносных регионах на определенном уровне этой зональности. Однако этот постулат будет справедлив, если ловушки заполнялись в одно время (период), и тогда нефти должны быть одного генетического типа согласно своему онтогенезу. Если геологическая история формирования ловушек более сложна, и их образование происходило в разные геологические эпохи, и источники нефти были разными, то тогда можно констатировать многофазное заполнение ловушек нефтью нескольких генераций. В таких ситуациях возможна дополнительная миграция УВ в уже сформировавшуюся ловушку, которая имеет, как правило, комбинированный, осложненный тип (несколько фаз процессов нефтеобразования).

На конкретных примерах рассматриваются особенности нефтей, сконцентрированных в комбинированных ловушках, приуроченных: на малых глубинах к зонам гипергенеза; на больших глубинах в жестких термобарических условиях к зонам высокой стадии катагенеза; к регионам с возможно дополнительным притоком УВ и многостадийной заполняемостью; к разуплотненным массивам кристаллического фундамента осадочных бассейнов [4].

В нефтях Афгано-Таджикской депрессии, Бузачинского свода Западного Казахстана, некоторых месторождений Тимано-Печорского НГБ, бассейна Потигуар Бразилии проявляются характерные свойства флюидов, заполняющих *комбинированные ловушки* в зонах гипергенеза на небольших глубинах – как правило *литологически и стратиграфически ограниченные, ловушки эрозионных врезов*. Основной фактор изменения нефтей – процессы гипергенного их преобразования и сорбционных проявлений при миграции. Это тяжелые нефти, недонасыщенные газом, с высоким содержанием асфальто-смолистых компонентов, содержащие, как правило, высокие концентрации V, Ni, Mo, Co, Cr и некоторых других элементов (вплоть до промышленных), ассоциированных с тяжелыми высокомолекулярными фракциями нефтей [3, 4, 7].

Характер изменения нефтей месторождений бассейна Потигуар несет влияние процессов миграции и биодеградаци [7]. На рисунке 1 показано изменение нефтей месторождений, расположенных по линии тренда на различном расстоянии от источника УВ. По составу УВ фракций, биомаркерам, содержанию V и Ni выделяются две группы нефтей: первая группа – нефти слабо и среднедеградированные (положение 1 и 2 на тренде – 46 км и 57 км) с изменением в распределении *n*-алканов от (*n*-C<sub>5</sub>–*n*-C<sub>38</sub>) до (*n*-C<sub>13</sub>–*n*-C<sub>38</sub>), и вторая группа – нефти сильно деградированные (положение 3 на тренде – 104 км), характеризующиеся более высокой плотностью, увеличением содержания V и Ni и полным отсутствием *n*-алканов и изопреноидов. Можно предположить, что вторая группа нефтей связана с *осложненными ловушками выклинивания и эрозионных врезов*. Изменение хода кривых содержаний МЭ на графике наглядно иллюстрирует последовательное проявление влияния процессов миграции и деградации. Так, до 57 км происходит уменьшение концентраций МЭ в результате сорбции на породах асфальто-смолистых компонентов и связанных с ними МЭ, а далее до 104 км по линии тренда содержание элементов возрастает параллельно значительному утяжелению нефтей в результате гипергенных процессов.



**Рисунок 1.** Распределение МЭ в нефтях месторождений НГБ Потигуар вдоль линии тренда 1 – 2 – 3 (по аналитическим данным [7])

На примере месторождений Волго-Уральского НГБ, Предкавказья, Паннонского бассейна (Венгрия) в зоне повышенного катагенеза в *тектонически и литологически экранированных ловушках* выявлены нефти химических типов А-1 (сверхзрелая) и А-2 (зрелая). Нефти легкие и очень легкие ( $\rho = 0,80-0,85$  г/см<sup>3</sup>), малосернистые ( $S = 0-0,2\%$ ), парафинистые и высокопарафинистые (7-40%), малосмолистые (0,3-10%), с высоким выходом светлых фракций (НК-300°C) от 50 до 100%. В групповом составе фракций НК-430°C доля алкановых УВ может достигать 90%. Во фракции 200-430°C *n*-алканы (5-25%) доминируют над изопреноидными УВ (0,05-6,0%), содержание циклоалканов изменяется от 15 до 45%, а ароматических УВ от 10 до 70%. Благоприятный прогноз для обнаружения при жестких термобарических условиях газоконденсатных и нефтегазоконденсатных скоплений. Нефти, как правило, никелевой металлогении, значительно обедненные МЭ, в особенности теми, что связаны с тяжелыми компонентами и обогащены МЭ, ассоциированными с более легкими масляными фракциями [5, 10].

Если геологическая история формирования ловушек более сложна, и их заполнение происходило в разные геологические эпохи вплоть до настоящего времени, то источники нефти могли быть разными, и можно на примере многопластового месторождения Ромашкино Татарстана констатировать многофазное заполнение ловушек нефтью нескольких генераций [1]. Об этом свидетельствуют и более высокие коэффициенты корреляции МЭ состава нефтей с составом глубинных частей земной коры, отмеченные нами [9]. В таких ситуациях возможен дополнительный приток УВ в уже сформировавшуюся ловушку из более глубоких горизонтов, либо из зон, более прогретых, подверженных значительным гидротермальным и деструктивным процессам в зонах усиления геодинамического влияния. В подобных условиях картируются *нетрадиционные ловушки*, как правило, это *неструктурные залежи сложного комбинированного типа с образованием поднадвиговых ловушек выклинивания, литологического замещения и тектонически-экранированных*. Нефти содержат набор МЭ, в котором преобладают миграционно способные (As, Hg, Eu, La, Nb), характерные для глубинных растворов. Их содержания не коррелируются с концентрациями биогенных элементов, таких как V, Ni, Mo, Co.



Особенности нефтей, локализованных в разуплотненных порово-кавернозных выступах кристаллического фундамента, в трещиноватых гранитных блоках-коллекторах сложного типа, *тектонически экранированных*, рассмотрены на месторождениях Белый Тигр (Вьетнам), Мара, Западная Мара (Венесуэла), месторождениях Красноленинского свода Западной Сибири. Основным источником нефти в залежах кристаллического фундамента является органическое вещество нефтематеринских осадочных толщ, облекающих выступы фундамента. Именно поэтому, геохимические особенности флюидов месторождений фундамента не являются оригинальными, а подчиняются тем же закономерностям, что и нефти, залегающие в осадочных толщах. И в осадочном обрамлении кристаллического массива всегда имеются нефтематеринские свиты – источники УВ в фундаменте [2, 8].

### Выводы

Таким образом, с позиции теории онтогенеза нефтидов показана возможность прогнозировать физико-химические свойства, УВ состав, металлогеническую специализацию и фазовое состояние флюидов, насыщающих природные резервуары различного морфологического типа на определенных уровнях вертикальной зональности флюидогеохимической модели нефтегазообразования.

### Библиография

1. Бочкарев В.А., Остроухов С.Б. Восполняемые и невосполняемые запасы как следствие многоэтапного формирования месторождений // Нефтепромышленное дело. 2012. № 7. С. 4-10.
2. Керимов В.Ю., Леонов М.Г., Осипов А.В. и др. Углеводороды в фундаменте шельфа Южно-Китайского моря (Вьетнам) и структурно-тектоническая модель их формирования // Геотектоника. 2019. № 1. С. 44-61.
3. Нукенов Д., Пунанова С.А., Агафонова З.Г. Металлы в нефтях, их концентрация и методы извлечения. М.: ГЕОС. 2001. 77 с.
4. Пунанова С.А. О характерных особенностях нефтидов в связи с процессами формирования залежей // Георесурсы. 2021. № 4 (23). С. 107-115.
5. Пунанова С.А., Добрынина С.А. Трансформация состава микроэлементов и металлопорфириновых комплексов нефтей в зоне катагенеза // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 12. С. 35-39.
6. Dolson John, He Zhiyong, Horn Brian W. Advances and Perspectives on Stratigraphic Trap Exploration-Making the Subtle Trap Obvious. Search and Discovery. Article #60054, 2018. 67 p. [http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2018/60054dolson/ndx\\_dolson.pdf.html](http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2018/60054dolson/ndx_dolson.pdf.html)
7. Duyck C., Miekeley N., Fonseca T.C.O., Szatmari P., Neto E.V. Trace element distributions in biodegraded crude oils and fractions from the Potiguar Basin, Brazil // Journal of the Brazilian Chemical Society. 2008. V. 19. № 5. P. 978-986.
8. Koning T. Exploring in Asia, Africa and the Americas for oil & gas in naturally fractured basement reservoirs: best practices & lessons learned // Georesources. 2019. T. 21. № 4. P. 10-18.
9. Punanova S.A., Rodkin M.V. Comparison of the contribution of differently depth geological processes in the formation of a trace elements characteristic of caustobiolites. Georesursy = Georesources. 2019. V. 21. No 3. P. 14-24.
10. Sajgo Cs., Olsen S.D., Fekete J. Distribution of the trace metals in petroleum of different maturity levels // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2009. 73. 13. P. A. 1147. (Goldschmidt 2009 – Challenges to our Volatile Planet. Davos. Switzerland).

**Нефтяные системы и классификации резервуаров. Пунанова С.А. (Институт проблем нефти и газа РАН, [ripanova@gmail.com](mailto:ripanova@gmail.com))**

## Аннотация

Проведен обзор и анализ существующих классификаций резервуаров углеводородов (УВ) в нефтегазоносных регионах. На основании аналитических исследований и критического анализа литературных источников рассматриваются пути развития классификационных основ упорядочения неантиклинальных ловушек мегарезервуаров. Отмечается при этом некоторый избыток классификационных определений и понятий, используемый исследователями как для описания универсальных схем, так и для конкретных нефтегазоносных бассейнов (НГБ), что приводит в конечном итоге к укрупнению типов и подтипов ловушек. При новом подходе к классификационным атрибутам резервуаров показана возможность объединения их в три основные класса: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные).

**Ключевые слова:** нефтяные системы, классификации ловушек, неантиклинальные ловушки, мегарезервуары, нефтегазоносные бассейны.

## Источники финансирования

Работа выполнена в рамках плана НИР ИПНГ РАН (тема «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла», номер государственной регистрации 122022800253-3).

## Введение

Анализ опубликованных исследований и критический их обзор показал, что расширение классификационных атрибутов не привело к однозначности и однотипности определения тех или иных ловушек, встречающихся в НГБ различного строения и различного в связи с этим онтогенеза УВ в этих бассейнах. Некоторый избыток классификационных определений и характеристик ловушек, используемый исследователями как для описания универсальных схем, так и для конкретных НГБ, и их частое при этом разночтение обоснованно приводят в конечном итоге к укрупнению типов и подтипов ловушек.

## Теория

### *Основные типы ловушек*

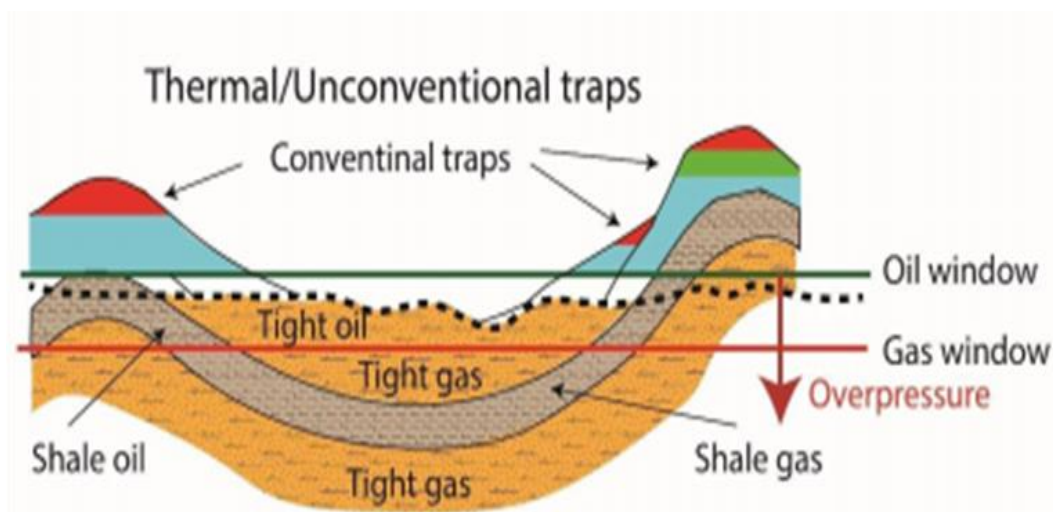
В современном мире основной тренд поисков и добычи нефтегазовых ресурсов «связан в основном уже не с антиклинальными структурами, а со сложными геологическими объектами литолого-стратиграфического и дизъюнктивно-экранированного типов. Поиск неструктурных ловушек в мировой практике – это одна из самых трудных задач, и решается она только на основе применения инновационных разработок в методике геолого-разведочных работ на нефть и газ» [1, стр. 10]. Отмечается, что при всем разнообразии ловушек за основу преимущественно берутся генетический и морфологический признаки, и под неструктурными обычно понимаются три вида ловушек – литологического, стратиграфического и тектонического экранирования (и комбинированного типа. При этом, обосновываются методы поиска и выявления ловушек УВ неструктурного типа, приводится обзор

строения ловушек по нефтегазоносным комплексам основных НГБ России (Западно-Сибирскому, Волго-Уральскому, Тимано-Печорскому и др.) и мира [2-3, 4, 7].

### Нефтегазовые системы

В настоящее время намечается тенденция привязки различных генетических и морфологических типов ловушек к особенностям нефтегазовых систем (НС) и объединению их в три основных класса скоплений: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные) [8-10]. В этих и других зарубежных исследованиях также основной приоритет развития нефтегазопоисковой геологии отдается именно строению и морфологии ловушек – аккумуляторам нефти и газа. За основу классификации НГБ по характеру и типу УВ систем приняты именно особенности резервуаров. В каждом НГБ существуют три основных типа НС в соответствии с тремя основными типами резервуаров – вместителями нефтяных УВ. Последние характеризуются качеством резервуара и морфологией ловушек в сочетании с соответствующими показателями миграции и накопления УВ. Подробное описание этой классификации нами приведено в предыдущих работах [5, 6].

В соответствии с основными типами резервуаров представлены следующие нефтяные системы с их характерными особенностями онтогенеза УВ: нефтематеринская (или исходная) НС (*source-rock petroleum system SPS*) с непрерывными резервуарами (*continuous*); нефтяная и/или газовая НС в плотных низкопроницаемых породах (*tight petroleum/gas system TPS*) с квазинепрерывными резервуарами (*quasi-continuous*) и традиционная (обычная) пластовая НС (*conventional petroleum system CPS*) с прерывистыми (дискретными) резервуарами (*discontinuous*). На рисунке 1 проиллюстрирована принципиальная схема распределения в НГБ традиционных и нетрадиционных резервуаров, а в таблице 1 нами проведена сравнительная оценка нефтяных систем: исходной нефтематеринской, плотных низкопроницаемых коллекторов и традиционной (модифицировано из [9]).



**Рисунок 1.** Схема распределения в осадочном разрезе традиционных ловушек (*Conventional traps*) – выше пунктирной линии вверх от нефтяного окна (*Oil window*) и нетрадиционных ловушек (*Unconventional traps*) – ниже пунктирной линии, вниз от нефтяного окна (*Oil window*); пунктирная линия – граница, разделяющая плотные низкопроницаемые коллектора от традиционных [10]

**Таблица 1.** Сравнение нефтяных систем: исходной нефтематеринской, плотных низкопроницаемых коллекторов и традиционной (модифицировано автором из [9])

Типы нефтяных систем (НС)	Нефтематеринская (или исходная) НС <i>SPS</i>	Нефтяная и/или газовая НС в плотных низкопроницаемых коллекторах <i>TPS</i>	Обычная (традиционная) пластовая НС <i>CPS</i>
<b>Основные элементы</b>			
Нефтематеринская порода	Сланцы, карбонаты, угли	Сланцы, карбонаты, угли	Сланцы, карбонаты, угли
Коллектора	Нефтематеринская порода	Низкопроницаемые песчаники и карбонаты	Традиционные коллектора
Покрышки	Самоуплотняющиеся сланцы	Самоуплотняющиеся аргиллиты, карбонаты	Аргиллиты, карбонаты и др.
Ловушки	Исходные породы, коллектора-ловушки не требуются	Часто неантиклинальные, очень редко антиклинальные	Обязательны, различные
<b>Основные процессы</b>			
Генерация	Происходит одновременно в породах-источниках и ловушках	После того, как резервуар станет плотным	До или одновременно с формированием ловушки
Миграция	Первичная: незначительная или на короткие расстояния	Первичная и вторичная, в основном на короткие расстояния; поток, управляемый избыточным давлением	Первичная и вторичная значительны; поток, управляемый плавучестью или избыточным давлением
Аккумуляция	Непрерывная и не имеет четких границ	Квазинепрерывная, реже прерывистая	Прерывистая
Сохранность	Обычно отличная	От умеренной до превосходной	Иногда характеризуется как критическая
Резервуары	Непрерывные	Квазинепрерывные, вторично прерывистые	Географически дискретны, прерывистые
Типичное накопление	Сланцевая нефть и газ ( <i>Shale oil and gas</i> )	Плохопроницаемые коллектора с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа ( <i>Tight oil and gas</i> )	Традиционный резервуар ( <i>Conventional</i> )

Обобщив достаточно обширный и научно-обоснованный материал по классификационным особенностям ловушек нефти и газа различного типа и строения на примерах разнообразных НГБ (безусловно многое осталось за рамками доклада), мы пришли к выводу о необходимости нового подхода к квалификационным атрибутам скоплений углеводородных ресурсов в осадочном чехле.

## Выводы

Целесообразно переходить, как это сделано в цитируемых выше работах, к укрупнению типов и подтипов ловушек, к объединению их в три основные группы скоплений, выделяя надклассовые классификационные элементы: непрерывные и квазинепрерывные (нетрадиционные) и прерывистые (традиционные). Т.е.

унифицированная классификация ловушек, приемлемая для различных НГБ, должна быть максимально простой и доступной, основанной на характере НС осадочных бассейнов. При этом НС могут содержать как единый источник, так и несколько источников УВ и с позиции их формирования и распространения быть между собой генетически связаны, т.е. присутствовать в каждом бассейне как части единого целого. Поэтому, чтобы максимизировать эффективность поиска и разведки на всех этапах геологоразведочных работ, необходимы всесторонние исследования и различные стратегии, но с учетом принятия парадигмы целостности НГБ с точки зрения онтогенеза УВ скоплений, их общности и различий (в плане исходных нефтематеринских свит, процессов миграции, формирования ловушек и разрушения скоплений).

### **Библиография**

1. Варламов А.И., Шиманский В.В., Танинская Н.В., Петрова Ю.Э., Раевская Е.Г. Состояние проблемы поисков и перспектив выявления неструктурных ловушек углеводородов в основных нефтегазоносных провинциях России // Геология нефти и газа. 2019. № 3. С. 9-22.
2. Леворсен А. И. Геология нефти и газа. М.: «Мир», 1970. 640 с. (Levorsen, A. (1967) *Geology of Petroleum*. 2nd Edition, W.H. Freeman and Company, San Francisco, CA.).
3. Поляков А.А., Колосков В.Н., Фончикова М.Н. и др. К вопросу о классификации залежей нефти и газа. Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. 10(1). [http://www/ngtp.ru/rub/6/7\\_2015/pdf](http://www/ngtp.ru/rub/6/7_2015/pdf) 2015
4. Пунанова С.А. Актуальность картирования неантиклинальных ловушек и особенности их классификаций // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 3(30). С. 13-25. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-30.art2>
5. Пунанова С.А. О классификационном разнообразии ловушек нефти и газа и геохимических критериях продуктивности сланцевых формаций // SOCAR Proceedings Special Issue. 2021. No. 2 С. 1-15. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200538>
6. Пунанова С.А. Мегарезервуары углеводородов – аккумуляторы гигантских по запасам скоплений нефти и газа // SOCAR Proceedings, 2022. No. 2. С. 039-051. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2022SI2>
7. Шиманский В.В., Танинская Н.В., Раевская Е.Г. Выявление структурно-литологических ловушек в юрских и нижнемеловых отложениях Западной Сибири на основе палеогеографических реконструкций // Геология нефти и газа. 2019. № 3. С. 39-46.
8. Dolson J., He Zhiyong, Horn Brian, W. Advances and Perspectives on Stratigraphic Trap Exploration-Making the Subtle Trap Obvious // Search and Discovery. 2018. Article 60054, 67 p.
9. Jing-Zhou Zhao, Jun Li, Wei-Tao Wu, Qing Cao, Yu-Bin Bai, & Chuang Er. ().The petroleum system: a new classification scheme based on reservoir qualities // Petroleum Science, 2019. 16. P. 229-251.
10. Sonnenberg, S.A., & Meckel, L. Our Current Working Model for Unconventional Tight Petroleum Systems: Oil and Gas. Search and Discovery Article #80589. Adapted from poster presentation given at AAPG. 2017. Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas.

*Литологическая характеристика и фильтрационно-емкостные свойства карбонатных пород франского яруса (девон, восточная окраина Восточно-Европейской платформы). Рязанов А.Р.\* (МГРИ, [aleksandr\\_w9ke@list.ru](mailto:aleksandr_w9ke@list.ru)), Агафонова Г.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия, [agafonovagalina@inbox.ru](mailto:agafonovagalina@inbox.ru))*

## Аннотация

В работе рассматривается строение карбонатных коллекторов франского яруса, дается их литологическая характеристика, анализируются петрофизические свойства выделенных литологических типов, установлена зависимость между структурой и фильтрационно-емкостными свойствами пород-коллекторов.

## Ключевые слова

Литология, карбонатные породы, франский подъярус, Оренбургская область, фильтрационно-емкостные свойства, коллекторы, каверны, поры.

## Теория

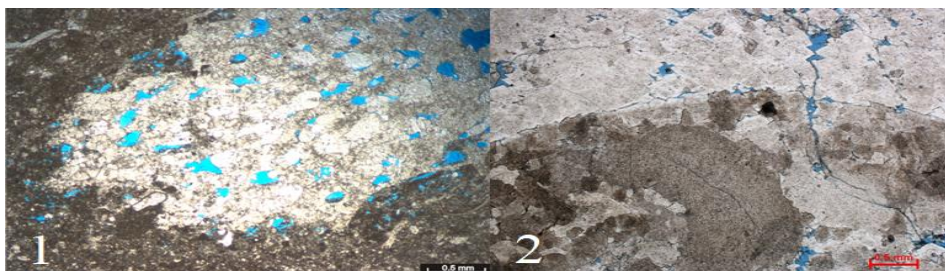
В данной работе основным объектом изучения является карбонатные породы верхнефранского подъяруса на Волостновской площади, Оренбургской области, Волго-Уральской НПП.

Отложения представлены неравномерным переслаиванием известняков и вторичных доломитов. Породы серые, светло-серые, прослоями темно-серые; характеризуются биогермными, обломочными, органогенно-обломочными, детритовыми, пелитоморфными и реликтовыми структурами, массивными и слоистыми текстурами. Реликтовые структуры связаны с образованием вторичных доломитов по биогермным известнякам. Карбонатные породы в различной степени пористые, кавернозно-пористые, трещиноватые, сильно измененные вторичными процессами [2].

Основными методами исследования были макро и микроскопическое описание керн продуктивных скважин, вскрывших верхнефранские отложения, а также анализ петрофизических данных. В отложениях верхнего франа в результате интерпретации ГИС и керн скважин выделяются 3 фациальные зоны: биогермное ядро, закрыто-шельфовая и рифовая склоновая [1].

В каждой фациальной зоне выделены литологические типы пород:

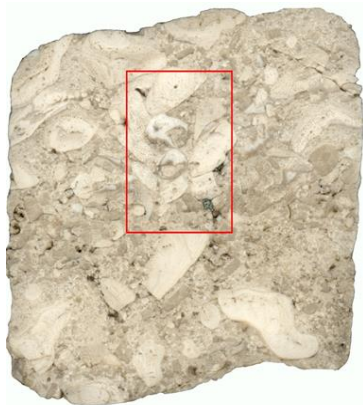
- Фация биогермного ядра представлена шестью литологическими типами



известняков и доломитов биогермных (Рисунок 1-2).

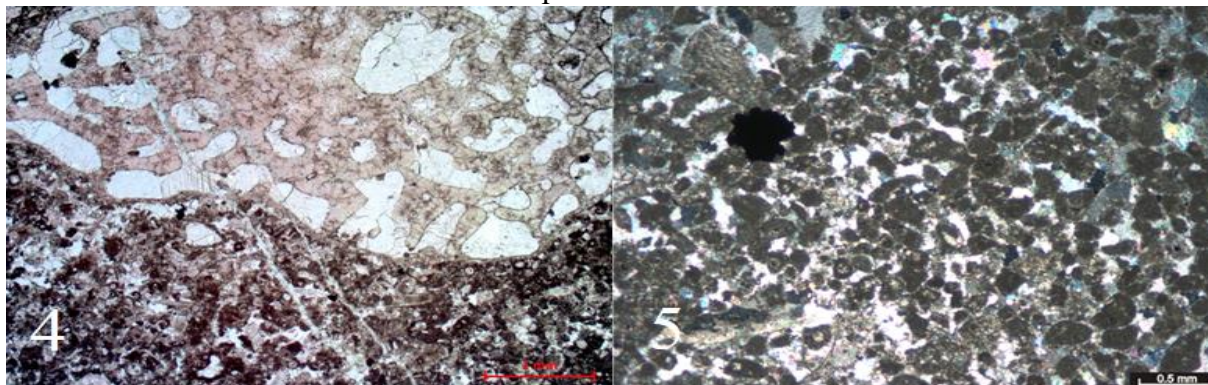
**Рисунок 1-2.** Известняк биогермный с неправильными изометричными порами, приуроченными к колонии строматопоры (1) и доломит биогермный разнокристаллический, перекристаллизованный, трециновато-кавернозно-пористый (2).

- Закрыто-шельфовая фация представлена тремя литологическими типами известняков детритовых и биоморфно-детритовых.



**Рисунок 3.** Известняк биоморфно-крупнодетритовый. Порода сложена фрагментами строматопор, их неокатанными обломками и многочисленными остатками члеников криноидей, сцементированных яснокристаллическим кальцитом.

- Склоновые фации, обрамляющие рифы, представлены тремя литологическими типами известняков органогенно-обломочных и комковатых.



**Рисунок 4-5.** Известняк органогенно-обломочный разномелкозернистый строматопоровый (4) и известняк комковатый мелкозернистый с яснокристаллическим кальцитовым цементом (5).

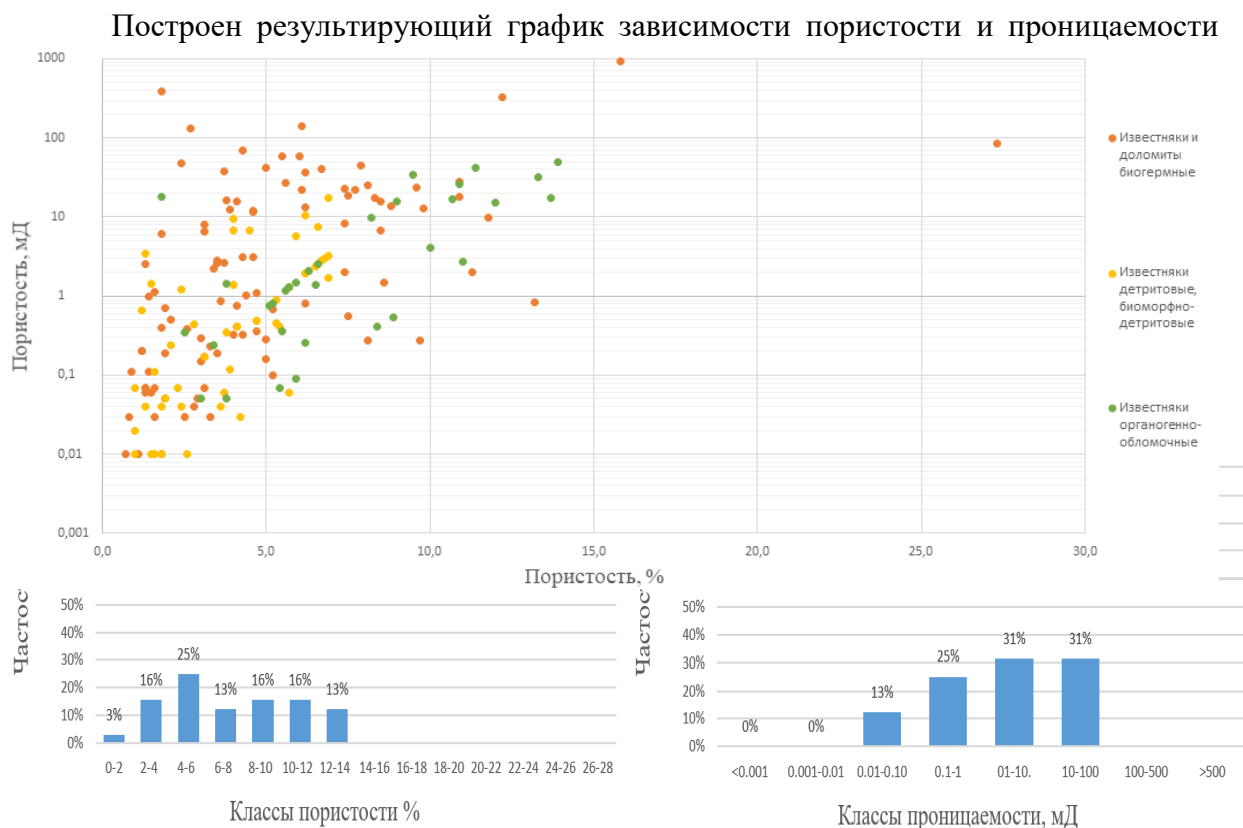
На рисунках 6-11 представлены гистограммы распределения фильтрационно-емкостных свойств по 12 литологическим типам внутри 3-х разных фаций.



**Рисунок 6-7.** Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков и доломитов биогермных (фашия биогермного ядра).

**Рисунок 8-9.** Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков детритовых и биоморфно-детритовых (фашия закрыто-шельфовая).

**Рисунок 10-11.** Гистограммы распределения пористости и проницаемости известняков органогенно-обломочных (фашия склона органогенной постройки.)



всех 12 литологических типов (Рисунок 7).

**Рисунок 12.** Сопоставление пористости и проницаемости литологических типов карбонатных пород фашиальных зон верхнефранского подъяруса.

Анализ фильтрационно-емкостных свойств показал: проницаемость 98% от всех образцов попадает в диапазон от 0,01 до 100 мД, что по классификации А.А Ханина соответствует IV (пониженная), V (низкая) и VI (весьма низкая) классу коллектора. Оставшиеся 2% попадают в диапазон от 100 до 1000, что соответствует III (средняя) и II (высокая) классу коллектора [3].

## Выводы

Карбонатные коллекторы верхнефранского подъяруса Волостновской площади характеризуются сложным строением с ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами, что необходимо учитывать при разработке залежей для обеспечить прироста геологических запасов нефти, в также продления сроков эксплуатации скважин [4].



### **Благодарность**

Хочу выразить благодарность Агафоновой Галине Валентиновне, за помощь, наставление и терпение в процессе выполнения данной работы.

### **Библиография**

1. Макарова С.П. Новые данные по стратиграфии и литологии девонских отложений юга Оренбургской области. – М., ВНИГНИ, 1983. – Вып. 248
2. Максимов Е.М. Литология природных резервуаров нефти и газа. (Учебное пособие, 2008. – С. 252.)
3. Ханин А. А. Породы-коллекторы нефти и газа нефтегазоносных провинций СССР. М., «Недра», 1973. – С.23.
4. Шакиров В.А, Вилесов А.П, Чертина К.Н, Истомина Н.М. Распределение запасов нефти в сложно построенных трещинных коллекторах франских рифов Волостновского участка Оренбургской области // Поиски и разведка. – 2019. – № 5 (329). – С. 13–21.

*Гагаты в отложениях средней юры юго-восточного Крыма: углепетрография и палеоботаника. Стукалова И.Е. \* (ГИН РАН, МГРИ, e-mail: iestukalova@mail.ru), Садчикова Т.А. (ГИН РАН, e-mail: tamara-sadchikova@yandex.ru), Наугольных С.В. (ГИН РАН, e-mail: naugolnykh@rambler.ru), Чепалыга А.Л. (ИГ РАН, e-mail: tchepalyga@mail.ru)*

#### **Аннотация**

Изучены отложения копсельской свиты бат-келловейского яруса средней юры в районе г. Судак, Крым. Изученные гагаты являются самыми молодыми в разрезе юрских отложений Крыма, по сравнению с известными ранее в этом регионе. По петрографическому составу гагаты относятся к гумусовой группе, они представлены микрокомпонентом - структурным витринитом. Палеоботанические исследования позволили определить вид растений-углеобразователей, относящихся к семейству хвойных. Литологический анализ разреза, представленного чередованием песчаников и алевролитов, с фауной, растительными остатками и линзами углей (гагатов), позволил выделить прибрежно-морские и лагунные обстановки осадконакопления.

#### **Ключевые слова**

Гагаты, Крым, средняя юра, Араукариевые растения

#### **Источники финансирования**

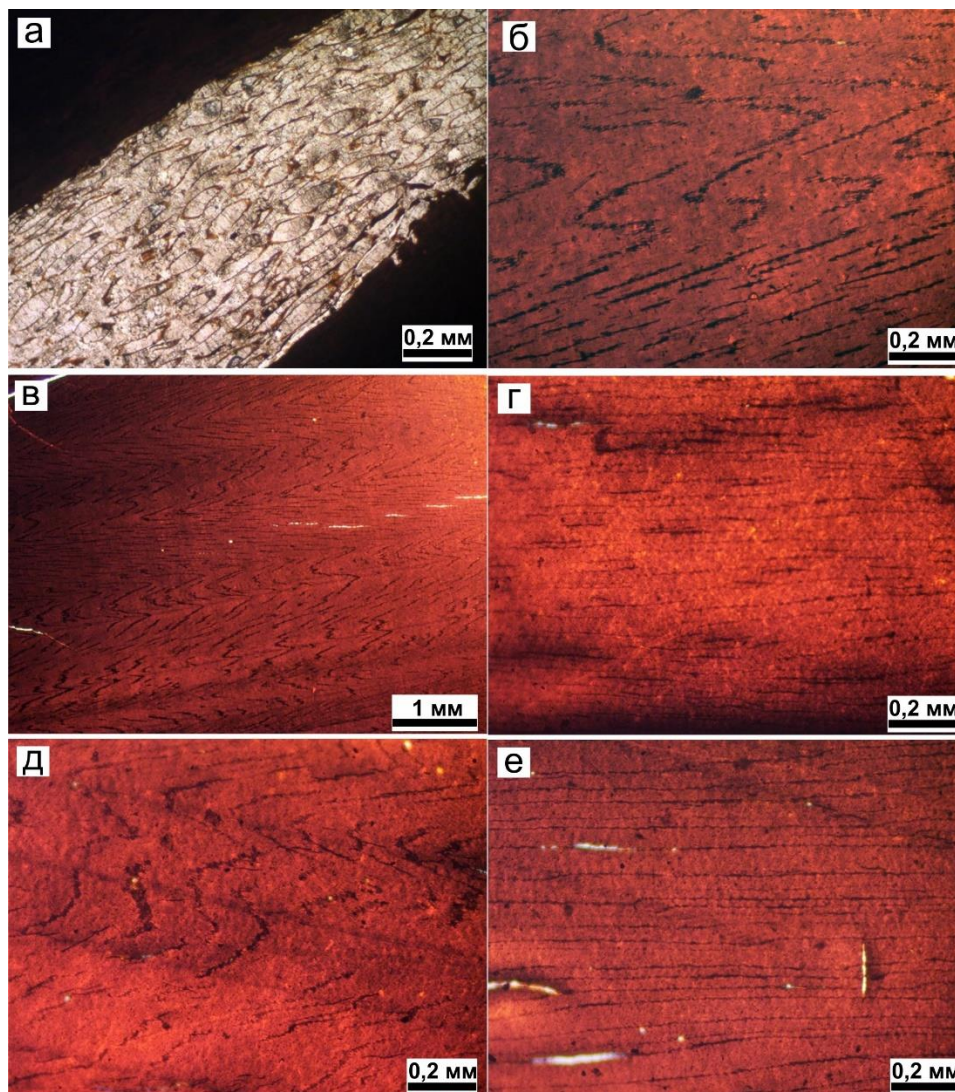
Работа выполнена в рамках темы Госзадания ГИН РАН и Госзадания ИГ РАН.

Объектом исследования являются угленосные отложения средней юры (бат-келловейский ярус, копсельская свита), изученные в естественных обнажениях долины р. Копсель в районе г. Судака (Крым). Интерес для исследования представляет наличие в этих отложениях линз и прослоев бурого угля – гагата [3]. Многие исследователи (Н.И. Андрусов, А.А. Борисьяк, М.А. Михельсон, А.С. Моисеев, В.А. Обручев и др.) отмечали в разных районах п-ва Крым наличие ископаемых углей в отложениях средней юры [1,4]. Но изучение распространения, состава и условий образования этих углей было проведено недостаточно. Наиболее изученным является Бешуйское месторождение гагатов в Бахчисарайском районе, где велась добыча углей для местных нужд.

В ходе полевых работ в сентябре 2021 г. были описаны два обнажения копсельской свиты средней юры, относимой к батскому-келловейскому ярусам, расположенные около 1 км от устья р. Копсель и берега Черного моря. Это обнажения 24/21 и 25/21. В целом в разрезе наблюдается терригенный комплекс, представленный чередованием слоев разнозернистых песчаников, алевролитов (последние – с многочисленными конкреционными образованиями) и оползневых отложений с линзовидными пропластками и линзами углей. Гагаты изучены макроскопически (формы и условия залегания в разрезе) и микроскопически (углепетрографическими методами): в двусторонне-полированных шлифах в поляризационном микроскопе (рисунок 1), а также в сканирующем микроскопе VEGA3 TESCAN. Выполнен микроанализ химических элементов на приставке к микроскопу ULTM MAX (ГИН), (рисунок 2). Проведены палеоботанические исследования углефицированных растительных остатков. Исследование в электронном сканирующем микроскопе фрагментов ископаемой древесины позволило изучить её анатомическое строение.

При исследовании шлифов в проходящем свете (увел.  $100\times$ – $200\times$ ) видно, что уголь состоит из крупных фрагментов структурного витринита и гелефицированной основной массы. Структурный витринит красно-коричневого цвета, с сохранившимися

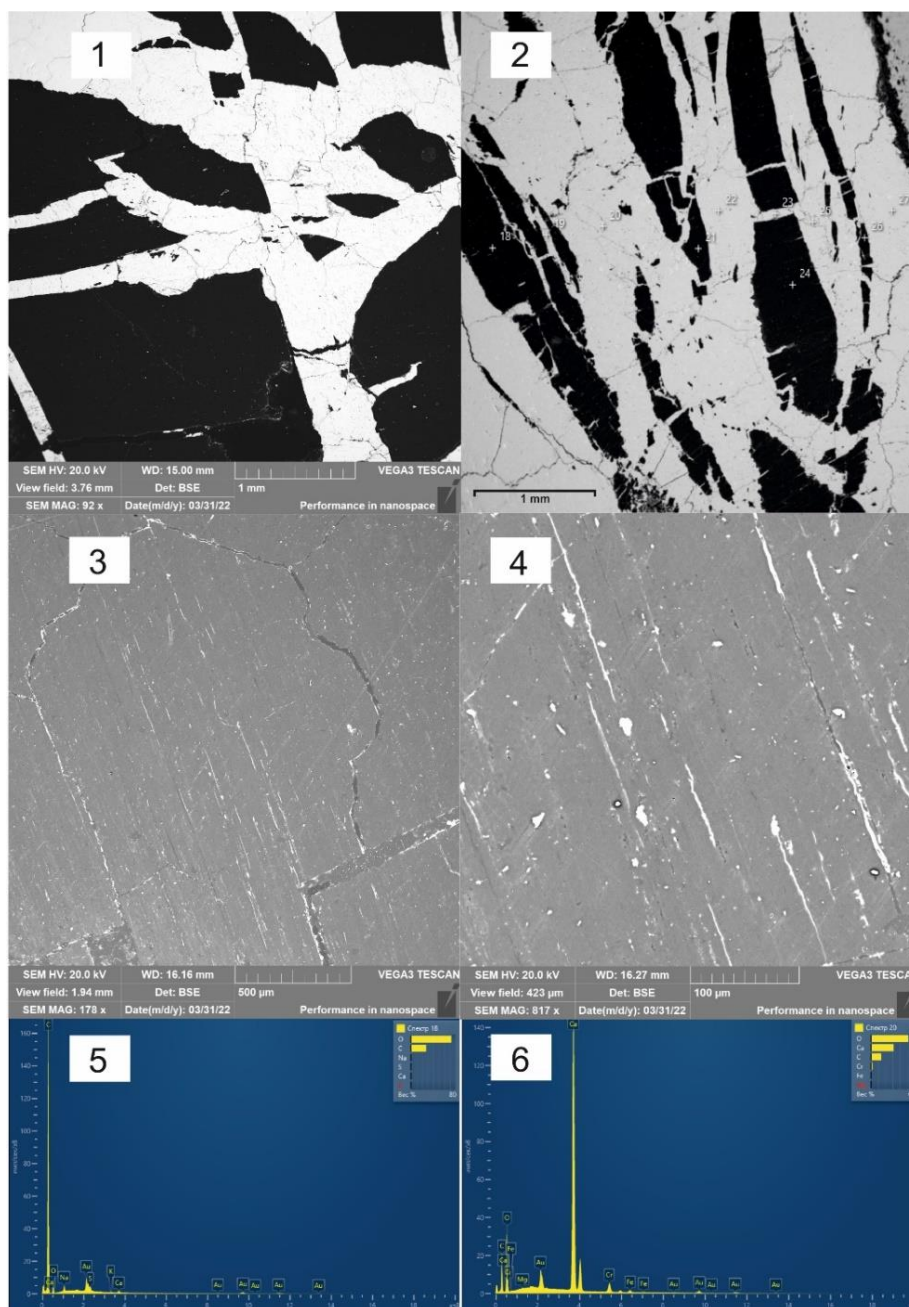
проводящими каналами растительной ткани, более темными, чем основная масса. Гелефицированное вещество красно-коричневого цвета, полуразложенное, иногда в нем наблюдаются сохранившиеся годовичные кольца древесины.



**Рисунок 1.** Гагат из юрских отложений обнажения Копсель. Проходящий свет, увел. 100×–200×. Двустороннеполированные шлифы. а – шлиф непокрытый. Минерализованный прожилок в гагате, видно клеточное строение растительной ткани; б – шлиф непокрытый. Видна клеточная структура растительной ткани, годовичные кольца, проводящие каналы; растительное вещество однородное, красно-бурого цвета, представленное микрокомпонентом структурным витринитом, увел. 200×; в – тот же шлиф, увел. 100×; г – шлиф покрытый петрографический. Видны проводящие каналы, подчеркнутые более темным цветом, расположенные вдоль растительной ткани; д – шлиф покрытый петрографический. Годовичные кольца, проводящие каналы; е – шлиф покрытый петрографический. Волнистые проводящие каналы, подчеркивающие клеточное строение, расположены параллельно.

Под сканирующим микроскопом при увеличениях от 200× до 2000× отчетливо проявляется блоковая структура гагата в прослое 9 обнажения 25/21, обр.25/21-3с. В образце наблюдается угольное углеродистое вещество (темное поле) и крупные трещины (светлое поле), заполненные кальцитом (рис. 2-1). На снимке проявляется мелко блоковое строение гагата в образце 25/21-3а. Наблюдается характерное для

однородного витринитового вещества строение с внутренними трещинами усыхания (рис.2-2).



**Рисунок 2.** Микрофотографии структуры гагатов в сканирующем микроскопе и данные химического анализа: 1 – блоковая структура гагата (слой 9, обн. 25/21): крупные трещины, заполненные кальцитом (светлое) и угольное вещество (темное); 2 – то же, мелко блоковое строение: характерное для однородного витринитового вещества строение с внутренними трещинами усыхания; 3 – однородное вещество гагата с микротрещинами, заполненными кальцитом; 4 – то же, при большом увеличении: видна терригенная примесь в виде редких мелких зерен кварца и пирита; 5 – элементный состав в точке 18 (гагат); 6 – элементный состав в точке 20 (кальцит).

Точки замеров химических анализов на темном поле показывают преобладающее содержание углерода, на светлом поле – кальция. Вторичные изменения выражаются в пропитке органической массы гагатов карбонатными

растворами, возможно при повышенной температуре, так как вещество становится оптически непрозрачным. Мы также наблюдаем большое количество трещин, по которым развит кальцит, это макротрещины, мелкие трещины и наннотрещины (различаемые в сканирующем микроскопе), (рис.2-3, 2-4).

В результате изучения углефицированной древесины в электронном сканирующем микроскопе были получены данные об ее анатомическом строении: древесина пикноксильная, сложенная трахеидами с однорядной поровостью; поля перекреста с многочисленными порами круглых и овальных очертаний. Средний диаметр трахеид меняется в пределах от 20 мкм до 30 мкм. Наблюдается слабо развитая паренхимная ткань. Поры на стенках трахеид окаймленные, обычно округлых или продольно-вытянутых овальных очертаний. Средний диаметр пор вместе с окаймлением составляет от 8 до 10 мкм. Поры, расположенные на полях перекреста трахеид и сердцевидных лучей образуют компактные группы из 7–8 пор. Наблюдается довольно большое сходство изученных древесин с древесинами рода *Araucarioxylon* Kraus 1870, emend. Maheshwari 1972 [5].

### Выводы

Углететрографические исследования позволили определить микрокомпонентный состав юрских углей и отнести их к гумусовой группе. Палеоботанические исследования подтвердили отнесение исследованных углей к разновидности гагатов, так как в основном они сложены остатками растений семейства Араукариевых или близких к ним таксонов.

Исходя из общегеологических данных [2], среднеюрская растительность Крыма занимала, преимущественно, низменные участки морского побережья, возможно, сезонно подтопляемые, что создало благоприятные условия для формирования залежей торфа, позднее преобразовавшегося в уголь. Наличие в составе флоры многочисленных термофильных элементов (глейхениевые и матониевые папоротники) со всей определенностью свидетельствует в пользу жаркого и влажного гумидного климата. Значительное количество остатков цикадофитов, разнообразных беннетиттов и хвойных, хорошо адаптированных к относительно сухим и хорошо дренируемым ландшафтам, указывает на то, что в непосредственной близости от мест формировавшихся танатоценозов располагались возвышенности, на которых произрастали палеофитоценозы с доминировавшими хвойными и цикадофитами. Возможно, именно остатки хвойных, включая араукариевые, и давали основную массу для образования торфяников.

### Библиография

1. Геология СССР. Т. VIII. Крым. Полезные ископаемые. 1974. М.: Недра, 1974. 205с.
2. Пчелинцев В.Ф. Киммериды Крыма. Л.: Наука, 1966. 127 с.
3. Стукалова И.Е., Садчикова Т.А., Чепалыга А.Л., Наугольных С.В., Латышева И.В. Угли (гагаты) в отложениях плейстоценовых черноморских террас Юго-Восточного Крыма. Литология и полезные ископаемые, 2021, № 6, с.553-564.
4. Шнюков Е.Ф., Кутний В.А., Рыбак Е.Н. Камень ночи. Изд. 2-е, допол. Киев: ОМГОР НАНУ, 2009. 64 с.
5. Brea M. Una nueva especie del genero *Araucarioxylon* Kraus 1870, emend. Maheshwari 1972 del Triasico de Agua de la Zorra, Uspallata, Mendoza, Argentina // *Ameghiniana* (Rev. Asoc. Paleontol. Argent.). 1997. Vol. 34. No. 4. P. 485–496.

*Особенности учета условий неопределенности и рисков при проведении геологоразведочных работ на углеводородное сырье. Титова А.А.\* (Санкт-Петербургский горный университет, [alina.dorofieva@mail.ru](mailto:alina.dorofieva@mail.ru)), Меткин Д.М. (Санкт-Петербургский горный университет, [vvashe2002@yandex.ru](mailto:vvashe2002@yandex.ru)).*

## **Аннотация**

В данной статье представлен краткий обзор основных вкладов, сделанных на этапах разведки и добычи, рассмотрены наиболее значимые виды инвестиционных рисков и неопределенности при оценке инвестиционных проектов геологоразведки. Даны рекомендации по учету факторов неопределенности и риска при оценке эффективности геологоразведочных инвестиционных проектов с целью использования максимальной информации об условиях реализации проектов.

## **Ключевые слова**

Углеводородные ресурсы, нефтегазовые проекты, геологоразведочные работы, технико-экономические риски, неопределенность

## **Теория**

Добыча и реализация природных ресурсов на сегодняшний день является основой экономики Российской Федерации. Однако, с течением времени разведанная минерально-сырьевая база нефти и газа постепенно сокращаются, новые открытия зачастую приходится на мелкие и мельчайшие месторождения. Вместе с этим запасы углеводородного сырья традиционных, уникальных месторождений истощаются, и вектор добычи постепенно смещается в сторону в т.ч. и трудноизвлекаемых запасов. Таким образом, возникает острая необходимость в проведении эффективных мероприятий поисков и разведки новых объектов, содержащих нефть и природный газ, с целью обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы углеводородов.

Целесообразность проведения геологоразведочных работ на нефть и газ определяется значением показателей геологической и экономической эффективности проведения этих работ. Однако, принятая на практике методика проведения оценки эффективности ГРП не обеспечивает должный учет неопределенностей и рисков, возникающих в процессе их проведения, что свидетельствует о необходимости уточнения методов технико-экономической оценки прогнозных объектов на всех этапах и стадия геологического изучения недр.

Геологические концепции имеют неопределенность в отношении структуры, уплотнения пласта и заряда углеводородов. С другой стороны, экономические оценки имеют неопределенность в отношении затрат, вероятности нахождения и добычи экономически жизнеспособных пластов, технологии и цен на нефть. Даже на этапе разработки и добычи инженерные параметры несут в себе высокий уровень неопределенности относительно своих критических переменных. Эти неопределенности, вытекающие из геологических моделей и объединенные с экономическими и инженерными моделями, предполагают сценарии принятия решений с высоким уровнем риска без гарантии успешного обнаружения и разработки углеводородных ресурсов.

Геологоразведка – это процесс поиска коммерчески жизнеспособных минеральных ресурсов, целью которого является их обнаружение в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами. Кратко описано развитие технологии геологоразведки на протяжении столетия, а также новые вызовы для геологоразведки. Описывается разработка подхода к разведке и многочисленные виды деятельности в рамках цикла разведки. Важными составляющими успешной разведки являются: выбор подходящей геологической местности, оптимальный уровень финансирования, соответствие современным технологиям разведки [3].

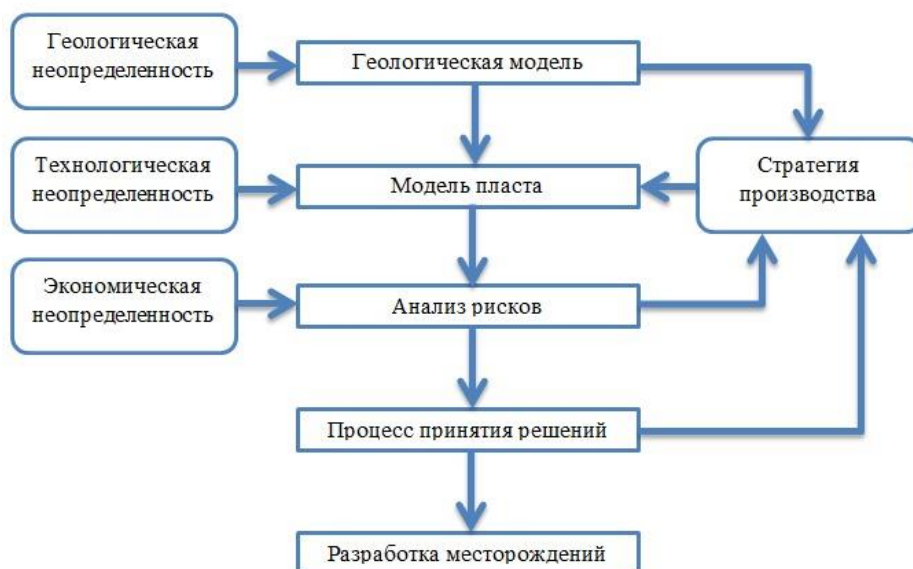
За последние четыре десятилетия в литературе был разработан широкий спектр качественных и количественных методов поддержки принятия решений (DMS), призванных помочь участникам нефтегазовой отрасли лучше понять характеристики пласта, смоделировать работу месторождения, разработать низкоуглеродные технологии добычи и принять обоснованные бизнес-решения, касающиеся разведки, разработки и добычи [5].

Проведение геологоразведочных работ определяется их геолого-экономической эффективностью. В настоящее время не существует общепринятой методологии оценки технико-экономического потенциала в целом, а также потенциала нефтегазовой отрасли в частности. Эффективная количественная оценка и управление разведочными рисками и связанными с ними неопределенностями остается ключевой задачей для нефтегазовой отрасли. Оценка геологической вероятности успеха является одним из ключевых этапов процесса разведки, который при правильном управлении приведет к увеличению стоимости проекта, а также к улучшению управления портфелем и принятию решений по разведке.

Инвестиции в нефтегазовые проекты, а именно в геологоразведочные работы, связаны с большими рисками и неопределенностью, чем в других отраслях. Это связано, прежде всего, со спецификой отрасли, в которой существуют риски, связанные с неподтвержденными запасами полезных ископаемых, определенными в результате геологоразведки; ухудшением горно-геологических условий в процессе добычи; снижением содержания полезных компонентов в добываемом сырье.

Наиболее значимыми инвестиционными рисками и неопределенностью является: риск нестабильности экономического законодательства; возможность возникновения экономического и финансового кризиса в стране; внешнеторговые риски для организаций, осуществляющих внешнеэкономическую деятельность, связанные с возможностью введения ограничений на поставку товаров; политические риски; колебания рыночных цен и курсов валют и т.д. [2].

Группа исследователей из Канады углубились в изучение широкого спектра неопределенностей геонауки, способов их потенциальной количественной оценки или определения их характеристик, а также того, как это влияет на риск и эффективность проекта. Согласно их исследованию, улучшение характеристики геологоразведочной неопределенности окажет значительное и благоприятное воздействие на риски, связанные с разработкой месторождений. На рисунке 1 представлена блок-схема, показывающая типичные пути разработки месторождений, включая взаимосвязь между неопределенностью и риском.



**Рисунок 1.** Типичные пути разработки месторождений, включая взаимосвязь между неопределенностью и риском [6]

В исследовании были сделаны следующие выводы. Во-первых, неопределенность широко распространена в геологоразведке. Ее не следует игнорировать. Во-вторых, геологические модели обычно скрывают степень и характер неопределенностей в данных и модели, поэтому типичная геологическая модель обычно широко воспринимается как более определенная, чем она есть на самом деле. В-третьих, для борьбы с проблемой неопределенности важно генерировать несколько реализаций модели для отражения неопределенности и визуализировать неопределенность данной модели [6].

Российские исследователи Череповицын А., Меткин Д., Гладилин А. в своей работе «Алгоритм принятия управленческих решений о целесообразности инвестирования в геологическое изучение прогнозных ресурсов углеводородов» разработали алгоритм принятия управленческих решений на основе экономической оценки. Были разработаны программные системы «EVA-анализ рисков» и «EVA-экономическая оценка проектов разработки нефти и газа», которые позволяют оценить целесообразность инвестиций в малоизученные нефтегазовые объекты в условиях волатильности цен [1].

Предлагается также применение методологического подхода к экономической оценке ГРП, включающего модели бинарного дисконтирования, реверсивного ценообразования и оценки реальных опционов. Таким образом, модель дисконтирования, которая разрабатывается благодаря их комбинации, позволяет корректно учитывать риски обоих типов. Обоснованный выбор ставки дисконтирования притоков, с учетом снижения волатильности цен на нефть, позволяет получить более корректные значения дисконтированных притоков и повысить экономическую эффективность проекта разработки нефтегазовых месторождений [4].

Кроме того, учет рисков должен осуществляться с помощью комплекса методов: помимо применения сценарного подхода и вероятностной оценки сырьевого потенциала, необходимо добавить премию за риск к базовой ставке дисконтирования, а также провести анализ чувствительности. Последний метод позволяет оценить



основные факторы влияния на результаты экономической оценки и степень их воздействия

## Выводы

Неоспоримо, что область разведки постепенно расширяется, а прогресс в теоретических знаниях и технологиях играет все более важную роль. В будущем, учитывая общую тенденцию ухудшения качества мировых углеводородных ресурсов, а также в условиях низких мировых цен на нефть, улучшение теоретического понимания и технологического прогресса имеет большое значение для экономической выгоды проектов. Нефтегазовые проекты характеризуются высокой капиталоемкостью, высокими рисками и разнообразием контрактов. Поэтому для того, чтобы помочь лицам, принимающим решения, принимать более обоснованные решения в условиях неопределенности, необходимо измерить риски нефтегазовых проектов.

Существующие методологические подходы к оценке экономической эффективности геологоразведочных работ требуют использования вероятностных характеристик, которые не всегда могут быть обоснованы для проектов на стадии ГРП, поэтому необходимо совершенствовать модели оценки и использоваться методы анализа риска. Для любого типа риска и количественной оценки неопределенности управление риском требует использования различных методов, технологий и, в большинстве случаев, специальных инструментов. Они специфичны и должны быть адаптированы к особенностям каждой ситуации.

## Библиография

1. Cherepovitsyn, A., Metkin, D., Gladilin, A. (2018). An algorithm of management decision-making regarding the feasibility of investing in geological studies of forecasted hydrocarbon resources. *Resources*, 7(3), 47. <https://doi.org/10.3390/resources7030047> (Дата обращения 08.11.2022)
2. Frolova, V., Dolina, O., Shpilkina, T. (2019). Investment risk management at mining enterprises. *E3S Web of Conferences*, 105, 01054. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501054> (Дата обращения 10.12.2022)
3. LaCosta, W.C.P., Milkov, A.V. (2022). Petroleum exploration portfolios generated with different optimization approaches: Lessons for decision-makers. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 214, 110459. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110459> (Дата обращения 24.11.2022)
4. Ponomarenko, T., Marin, E., Galevskiy, S. (2022). Economic Evaluation of Oil and Gas Projects: Justification of Engineering Solutions in the Implementation of Field Development Projects. *Energies*, 15(9), 3103. <https://doi.org/10.3390/en15093103> (Дата обращения 27.11.2022)
5. Shafiee, M., Animah, I., Alkali, B., Baglee, D. (2019). Decision support methods and applications in the upstream oil and gas sector. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 1173-1186. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.050> (Дата обращения 16.11.2022)
6. Witter, J.B., Trainor-Guiton, W.J., Siler, D.L. (2019). Uncertainty and risk evaluation during the exploration stage of geothermal development: A review. *Geothermics*, 78,

233-242. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.12.011> (Дата обращения 03.11.2022)

***Особенности строения месторождения "Мустакилликнинг 25 йиллиги".  
Турсунова А. А. (Ташкентский государственный Технический университет имени  
Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан, [aziza.tursunova.tdtu@gmail.com](mailto:aziza.tursunova.tdtu@gmail.com))***

## **Аннотация**

Статья посвящена рассмотрению перспектив поиска УВ на месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги». Месторождение «Мустакилликнинг 25 йиллиги» расположено в пределах инвестиционного блока «Узбекистон мустакиллиги» (УЗМ). В административном отношении изучаемый участок приурочен к Байсунскому району Сурхандарьинской области Республики Узбекистан. Районный центр – г. Байсу – расположен в 20 км к юго-востоку от исследуемого участка.

В орографическом отношении площадь представляет собой овражно-балочный рельеф. Общий наклон поверхности обращен к югу. На юго-западе площади имеются овраги Кунь-Кумаз и Шурсай, по которым протекают воды Кафрунся. На северо-востоке протекает речка Пуль-Хаким. На площади имеются родники и колодцы с пресной водой, пригодной для питья. Имеются ирригационные сооружения, каналы и адыры. В районе доминирует засушливый полупустынный климат, и оазисы жизни сосредоточены в речных долинах. В строении рельефа важную роль играет литологический состав неогеновых отложений [1]. Плотные песчаники больджуанской и кафирниганской свит слагают бронирующие поверхности, а в местах распространения более рыхлых пород образуют глубокие промоины и долины с крутыми бортами. Часть района работ находится в долине, на относительно спокойной местности, в пределах которой заложение скважин затруднено из-за наличия пашен, неглубоких оврагов и системы каналов.

## **Ключевые слова**

Формирование углеводородов, нефтегазоносный регион, геологоразведочные работы, Сурхандарьинский регион.

## **Теория**

Проведенные в предыдущие годы сейсморазведочные работы 2D выявили сложное геологическое строение месторождения «Мустакилликнинг 25 йиллиги». При этом данные материалы из-за сложных поверхностных условий и слабой технической оснащённости проведенных работ характеризуются относительно невысоким качеством.

В результате работ сейсморазведкой 3D уточнена модель месторождения, что дало возможность оптимизировать размещение скважин эксплуатационного бурения в условиях сильно расчленённого рельефа дневной поверхности.

Юго-Западный Гиссар расположен на западном фланге Памирского синтаксиса и представляет собой довольно высокую (до 4000 м) горно-складчатую страну, сложенную в основном мезозойскими и кайнозойскими образованиями. В его строении

сочетаются противоречивые геологические особенности, а разрез охватывает многокилометровую толщу пород от раннего докембрия до квартера. [2, 3]

Палеозойские (главным образом каменноугольные) образования в пределах Байсунского района палеозойские отложения в обнажениях представлены на севере и северо-востоке Гиссарского хребта и в Байсун-Кугитангаутской антиклинория. Они представлены сильнометаморфизованными отложениями кембрийско-каменноугольного возраста, сложены кварцитами, мрамором, метаморфическими сланцами, конгломератами. Отмечалось присутствие в них больших масс гранитоидов и различного типа эффузивных пород допермского периода [4, 5].

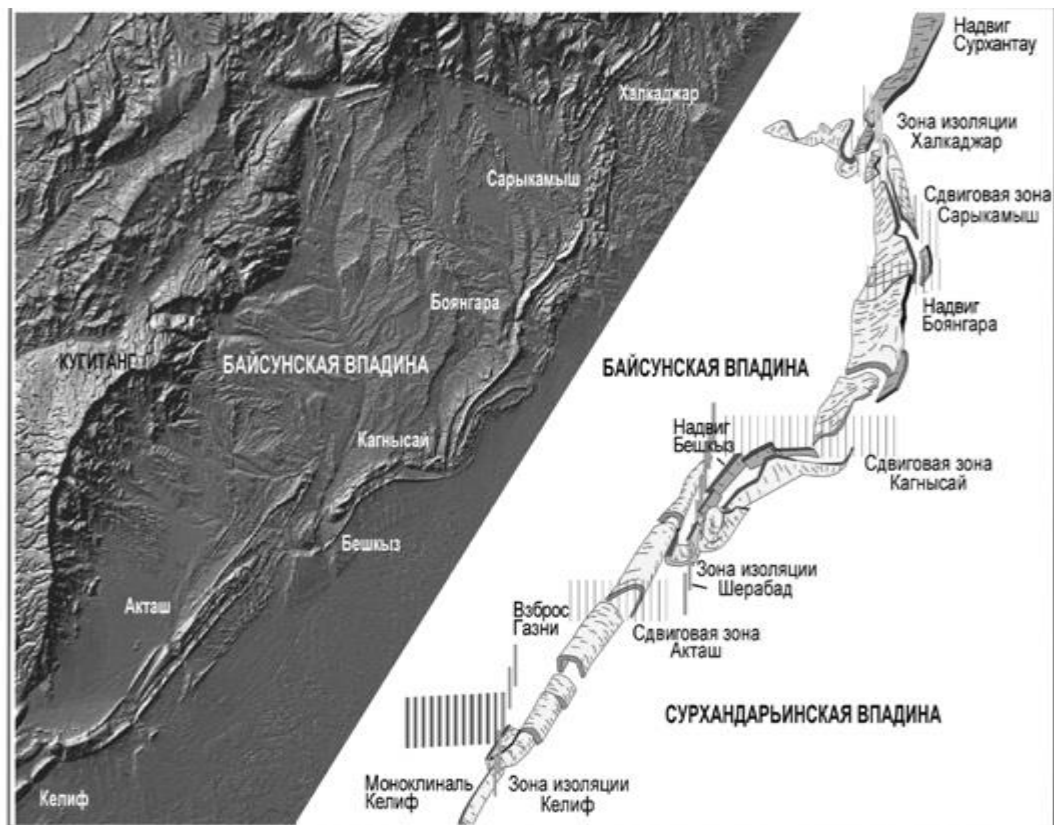
Палеозойские породы были вскрыты рядом скважинам на участках, прилегающих к Сурхандарьинской Мегасинклинали, таких как Ангот, Ширам, Боянгур (Северо-Афганский Блок), Андиген, Шаамбары и Комсомольская (Предгиссарский прогиб). В структуре Ангот (Афганистан) палеозойские породы вскрыты скважинами на глубинах 1421 м и 1473 м. Верхняя часть разреза представлена пирокластическими туфами с брекчиями, нижняя - серыми гнейсовыми кварцитами. В структуре Боянгур эффузивные породы, представленные порфиритами, были вскрыты в скважине Боянгур-2.

Мезозойские (юрские и меловые) отложения залегают на размытой поверхности палеозойских отложений и отличаются от последних отсутствием метаморфизма и выдержанностью отдельных горизонтов. В пределах рассматриваемой территории мезозойские отложения представлены породами юрского и мелового возраста.

Кайнозойская эра. Палеогеновые отложения широко развиты как в юго-западных отрогах Гиссара, так и на территории Сурхандарьинской нефтегазоносной области. Обнажаются на западном склоне хребта Бабатаг, на Келиф-Ширабадской и Ширабад-Сарыкамышской грядях. Кроме того, вскрыты многочисленными буровыми скважинами на площадях Амударья, Кокайты, Актау, Ляльмикар, Кошчека, Миршади, Хаудаг, Аширхан, Учкызыл, Джейранхана и на площади Баянгора - «Мустакилликнинг 25 йиллиги». Отложения олигоцена в Сурхандарьинской впадине и юго-западных отрогах Гиссара отсутствуют. Это связано, по-видимому, с преднеогеновой денудацией. Палеогеновые отложения представлены карбонатными, гипсово-ангидритовыми, глинистыми и терригенными песчано-алевролитовыми породами лагунно-морского генезиса. На территории Сурхандарьинской нефтегазоносной области неогеновые отложения имеют широкое развитие, обнажаясь довольно широкой полосой вдоль ее окраин и в центральной части (Хаудаг, Актау). Кроме того, они вскрываются многочисленными буровыми скважинами под маломощным чехлом четвертичных отложений [6].

Келиф-Сарыкамышская складчато-разрывная зона длиной около 120 км является наиболее эффективной и впечатляющей структурой всего Западного Тянь-Шаня. Складки этой граничной зоны прямо выражены в рельефе, имеют разную конфигурацию и вергентность и четко сопряжены со складчатыми разрывами различной кинематики, которые контролируют морфологию складчатых структур. Самый северо-восточный сегмент складчатой зоны представлен Сарыкамышской присдвиговой антиклиналью, связанной с движениями по одноименному меридиональному левому сдвигу (рис. 1). В свою очередь Сарыкамышский сдвиг на юге сочленен с крупным Боянгоринским надвигом юго-восточной вергентности, по которому породы основания Байсунской впадины, смятые в асимметричную Боянгоринскую антиклиналь, надвинуты в юго-

восточном направлении (с доказанной амплитудой не менее 10 км) на неоген-четвертичные комплексы Сурхандарьинской впадины. Южный край надвига постепенно выкручивается в субширотном направлении, и разрыв переходит в Кагнысайский правосторонний сдвиг примерно такой же амплитуды, сопряженный с серией присдвиговых складок волочения с вертикальной ориентировкой шарнира.



**Рисунок 1.** Рельеф и модель деформаций мел-палеоценовых отложений краевого Тагам-Аманатинского антиклинального поднятия. Изображены деформации рельефообразующих отложений палеоцена и сеноманского яруса верхнего мела. Наиболее перспективны здесь поднадвиговые ловушки Пачкамарской площади.

Складчатые структуры Юго-Западного Гиссара имеют главным образом северо-восточное простирание и обладают отчетливо выраженной продольной зональностью. На северо-западе региона краевая Тагам-Аманатинская антиклинальная система состоит из четырех кулисно подставленных антиклинальных складок сложного строения. Их внешние крылья, прилежащие к Бешкентскому прогибу, сложены палеогеновыми отложениями, резко воздымающимися в сторону орогена. Келиф-Сарыкамышская складчато-разрывная зона длиной около 120 км является наиболее эффективной и впечатляющей структурой всего Западного Тянь-Шаня (рис. 1). Складки этой граничной зоны прямо выражены в рельефе, имеют разную конфигурацию и вергентность и четко сопряжены со складчатыми разрывами различной кинематики, которые контролируют морфологию складчатых структур. Самый северо-восточный сегмент складчатой зоны представлен Сарыкамышской присдвиговой антиклиналью, связанной с движениями по одноименному меридиональному левому сдвигу. В свою очередь Сарыкамышский сдвиг на юге сочленен с крупным Боянгоринским надвигом юго-восточной вергентности, по которому породы основания Байсунской впадины, смятые в асимметричную Боянгоринскую антиклиналь, надвинуты в юго-восточном направлении (с доказанной амплитудой не менее 10 км) на неоген-четвертичные

комплексы Сурхандарьинской впадины. Южный край надвига постепенно выкручивается в субширотном направлении, и разрыв переходит в Кагнысайский правосторонний сдвиг примерно такой же амплитуды, сопряженный с серией присдвиговых складок волочения с вертикальной ориентировкой шарнира.

## **Выводы**

Мы предполагаем, что более адекватной в данном случае можно проводить термогеохимической съёмки. Методом термогеохимической съёмки можно найти новые выявления аномальных зон проявления каналов ГТМП. Этот метод считается наиболее оптимальным и дает очень точные результаты при его комплексном проведении с геофизическими методами разведки при поиске перспективных месторождений нефти и газа. [5] Исследования, проведенные с использованием этого метода, показывают, что электроразведочные работы методом МТЗ на участках, выявленных термогеохимической съёмкой, с большой достоверностью подтверждают наличие каналов ГТМП на основе различий электропроводности в геологическом разрезе (в случае исследуемого региона до глубины 14 км). [6]

## **Библиография**

1. Абидов А.А., Долгополов Ф.Г. Принципиальная модель микстгенетической схемы природного синтеза углеводородов. // Доклады Российской Академии наук. 2014. Т.396. №3.
2. Арк. В. Тевелев, Б.В. ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 4. ГЕОЛОГИЯ.2015 .№6 “Георгиевский Деформационная история и нефтегазоносность Юго-Западного Гиссара (южный Узбекистан)”
3. Козлов Е.А. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ-ОГТ (при работах на нефть и газ). Москва, 2014г.
4. Козлов Е.А. Модели среды в разведочной сейсмологии.
5. Отдельные главы из отчёта по подсчёту запасов месторождения «М-25», 2019 г.
6. Проведение полевых 2D сейсморазведочных работ в пределах инвестиционного блока «Узбекистан мустакиллиги» [Отчёт] / «BGP Inc., CNPC» (PRC), ООО «Surhan Gas Chemical Operating Company» - Ташкент, 2019 г.

*Химический состав газов нижнемеловых отложений на месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги». Турсунова А. А.\* (Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан, [aziza.tursunova.tdtu@gmail.com](mailto:aziza.tursunova.tdtu@gmail.com))*

### Аннотация

Статья посвящена рассмотрению проведенный газохроматографический анализ проб газов из меловых отложений (XIV горизонт, валанжин) скважин №1V-R и №4V-R месторождения «Мустакиллик 25 йиллиги» («М-25»). Образцы на газохроматографический анализ (поступили в металлических контейнерах (объем 20 л) и в стеклянных бутылках (объем 0,5 л). Всего 6 проб.

### Ключевые слова

«Мустакилликнинг 25 йиллиги», Сурхандарьинская область, углеводород, аналитические методы, газохроматографический анализ, хроматограф.

### Теория

В административном отношении месторождение располагается в пределах Байсунского района Сурхандарьинской области Республики Узбекистан. В орографическом отношении площадь представляет собой овражно-балочный рельеф. Общий наклон поверхности обращен к югу. На юго-западе площади имеются овраги Кунь-Кумаз и Шурсай, по которым протекают воды Кафрунса. На северо-востоке протекает речка Пуль - Хаким. На площади имеются родники и колодцы с пресной водой, пригодной для питья. Имеются ирригационные сооружения, каналы и холмы. В районе доминирует засушливый полупустынный климат, и оазисы жизни сосредоточены в речных долинах [4].

Определение углеводородных компонентов (от C1 до C6) и не углеводородных (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>) газов осуществляется на хроматографе марки «Кристалл люкс 4000M» (Россия) с пламенно-ионизационным детектором и программным обеспечением. (рис. 1) Колонка (d = 0,3 см, длина 3 м) заполнена активированной окисью алюминия (зернение 0,25-0,50 мм). Режим работы: температура - от 80 до 180 0С, скорость повышения температуры - 170С/мин., время анализа 25 минут, газ-носитель – гелий. Определение не углеводородных компонентов (водород, гелий): Режим работы: температура - от 50 до 1500С, скорость повышения температуры - 150С/мин., время анализа 20 минут, расход газа-носителя – аргон. Относительная погрешность определения не превышает 3% [1].

Для расчета калибровочных коэффициентов используется градуировочная смесь (баллон № SD12-4, вместимость 10 дм<sup>3</sup>) ГП «Центра по оказанию метрологических услуг» агентства «Узстандарт» (ноябрь 2019г).

Определение содержания сероводорода в газах изучаемых месторождений осуществлялось с предписаниями государственных стандартов - ГОСТа 22387.2-83 (устанавливающего аналитический метод определения сероводорода в природных газах), с учетом методик исследований газоконденсатных объектов для определения

H<sub>2</sub>S, разработанных в Опытно-методической партии. Стандартные аналитические методы включают в себя определение основных солевых компонентов (ионов хлорида, сульфата, карбоната, гидрокарбоната, кальция, магния, натрия) и микрокомпонентов (йода, брома, бора), позволяющих определить группу и тип воды. Определение кальция и магния производится трилонометрическим методом, который применим для вод с различной жесткостью [2].



*Рисунок 1. Хроматограф марка «Кристалл люкс 4000М» (Россия) с пламенно-ионизационным детектором и программным обеспечением.*

В процессе испытания скважины 1-О на месторождении «Мустакилликнинг 25 йиллиги» осуществлялась операция по отбору газа и воды из продуктивных верхнеюрских и нижнемеловых отложений. Проведен газохроматографический анализ проб газов из верхнеюрских (XV и XVa горизонтов) и нижнемеловых отложений скважина №1-О месторождения «Мустакилликнинг 25 йиллиги» и скважина № 11 Гаджак[3]. Газохроматографический анализ это, физико-химическое разделение вещества, которое находится в газовой фазе и проходит вдоль нанесенной на твердый сорбент нелетучей жидкости. Такая хроматографическая методика сегодня считается наиболее перспективной. Перспективность данного хроматографического метода обусловлена возможностью исследования близких по составу компонентов сложной смеси, даже если их температура кипения отличается на десятые доли градуса. На

проведение анализа обычно требуется небольшое количество вещества и всего несколько минут. Для исследования смеси методом газожидкостной хроматографии применяется современный хроматограф. По этим методам образцы газов были отобраны из устья и сепаратора (в металлические контейнеры объемом 20 литр, а также в стеклянные бутылки объемом 0,5 литр). Всего 21 проба газов [6].

В составе нижнемеловых газов скважин 1V-P и 4V-P месторождения «Мустакилликнинг 25 йиллиги» в составе преобладают метан. Характерным для этих газов является крайняя объединенность гомологами метана (C<sub>2</sub>+высшие) и высокое содержание углекислого газа. По общепринятой классификации газы являются сухими, низко сернистыми, углекислыми, азотными (скв.1V-P) и низкоазотными (скважина 4V-P). Воды по физико-химическим параметрам имеют различный генетический тип: хлоркальциевый (ХК), хлоридно-магниевый (ХМ) и сульфатно-натриевый (СН).

Воды скважин №1V-R из интервала 2674-2656 м представляет собой кондиционную воду со смесью незначительным количеством пластовой (проба №1) и техническую с примесью пластовой (проба № 2); из интервала 2656-2674 м - пластовую (пробы № 3, № 4) и техническую (проба № 5) вод.

Воды скважины №2V-R (пробы № 3 и № 4) из интервала 451-442 м представляет собой техническую воду инфильтрационного генезиса (проба № 1) и техническую воду со смесью пластовой (проба № 2); из интервала 2473,50-2495 м (пробы № 3, 4) - пластовую воду с выщелачиванием солей [5]. Воды скважины № 4V-R представляют собой пластовую воду. Отобранная проба воды из источника представляет собой техническую воду (поверхностная вода).

## **Выводы**

В качестве рекомендации для повышения достоверности и качества гидрогеологической информации, при поисково-разведочных исследованиях на углеводороды, предлагается проведения отбор проб пластовых вод, с помощью глубинного пробоотборника, замер пластового давления и температуры, замер статического уровня подошвенной воды. В целом, газы скв. 4V-P отличается от газов скв. 1V-P повышенным содержанием метана, сероводорода и меньшим гелия. В свою очередь, отличаются от одноименной площади ранее проанализированных газов скв. 1-О (валанжин) повышенным содержанием углекислого газа.

Газы скв.4V-R месторождения «М-25» являются сухими, низкосернистым, углекислыми и низкоазотными.

## **Библиография**

1. Кушниров И.В., Хуршудова Е.С., Шамсутдинова А.Р. Методика исследования газоконденсатных объектов для определения содержания сероводорода и результаты внедрения её на месторождениях Бухаро-Хивинского региона. Реф.сб. «Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений». - М., Вып.1., 2000.- С.8-15.
2. Нарижная В.Е. Некоторые методы исследования газа в полевых условиях. / В кн.: Методическое пособие по отбору и анализу проб природных газов. - Л.: Недра, 2014. -С.76-84.
3. Нарижная В.Е. Природные газы Средней Азии. -М.: Недра, 1976. – 232с.



4. Старобинец И.С., Стадник Е.В., Зорькин Л.М. Геохимия природных газов нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 2012. – С.88-89.
5. Соколов В.А., Бестужев М.А., Тихомолова Т.В. Химический состав нефтей и природных газов в связи с их происхождением. -М.: Недра. 1972.- 276 с.
6. Царев Н.И., Царев В.И., Катраков И.Б. "Газовая хроматография". - Барнаул, 2000.

***Результаты анализа промыслово-геофизических исследований скважин и  
определение фильтрационно-ёмкостных свойств коллекторов  
месторождения Чордарбаза. Холмуродов И.З.\* (ГУ «ИГИРНИГМ» г.Ташкент.  
isroil.kholmurodov@mail.ru)***

**Аннотация**

В данной статье рассмотрены материалы геофизических исследований скважин (ГИС) и приведены их комплексной интерпретации по поисково-разведочным скважинам №№ 1, 2, 3 месторождения Чордарбаза. Определено фильтрационно-ёмкостных свойств юрских отложений и обосновано положение газо-водяной контакт (ГВК) в продуктивных объектах месторождения. Предлагаемый подход основан на результатах анализа керна и кривых, в геофизических исследованиях скважин (ГИС).

**Ключевые слова**

Месторождение, коллектор, углеводород, горизонт, геофизических исследований скважин (ГИС), свойства породы, залежь, каротаж.

**Теория**

В административном отношении месторождение Чордарбаза, расположено на территории Мубарекского района Кашкадарьинской области Республики Узбекистан, в тектоническом отношении в пределах Чарджоуской ступени, юго-восточной части Испанлы-Чандырского поднятия.

Месторождение Чордарбаза открыто в 2018 году по результатам бурения и испытания поисковой скважины №1, где во время опробования скважины в открытом стволе получен приток промышленного газа, дебитом 14,88 тыс. м<sup>3</sup>/сут и приток нефти дебитом 21,311 м<sup>3</sup>/сут на 5 мм штуцере. Всего на месторождении Чордарбаза пробурено три поисковые скважины. Суммарный метраж глубокого бурения составил 8384 м. Промыслово-геофизические исследования в продуктивных юрских отложениях проводились в скважинах, заполненных глинистыми буровыми растворами со следующими параметрами: удельный вес 1,17-1,28 г/см<sup>3</sup>; вязкость 50-60сек; водоотдача 6-9 см<sup>3</sup>/30мин; удельное сопротивление 0,2 Ом. Номинальный диаметр скважин составлял 0,140-0,299м. [2]

Обработка и комплексная интерпретации материалов ГИС осуществлялась с помощью последней версии программного комплекса "INGEF-W". Показания различных геофизических методов при помощи функциональных преобразований приводятся к одинаковой чувствительности по отношению к искомому свойству породы, а затем производится их сравнительный анализ. По набору используемых геофизических кривых, расположенных в определенной системе, устанавливается вещественный состав, оценивается общая и открытая пористости, содержание связанной воды и углеводородное насыщение пород-коллекторов.

Выделение эффективных толщин в разрезе юрских карбонатных и терригенных отложений осуществлялось по материалам комплекса ГИС масштаба 1:200, включающего замеры ДС, БК, БКЗ, ИК, ГК или НГК, АК по наличию следующих качественных признаков как Уменьшение или увеличение значений на кривых БК, Отрицательные амплитуды кривых ГК, Пониженные (для терригенных отложений) и повышенные (для карбонатных отложений) значения на кривых АК относительно

вмещающих пород (для терригенных отложений), Наличие приращений на кривых микрозондов при значениях  $\rho_k^{MGZ} \geq 2\rho_c > \rho_p^{MGZ} 1,5 \rho_c$ , Наличие глинистой корки. [1]

В результате обработки материалов ГИС системой “INGEF-W” по всем перечисленным выше скважинам получены количественные определения следующих параметров: коэффициентов глинистости  $K_{ГЛ}$ , открытой пористости  $K_{П}$ , газонасыщенности  $K_{Г}$ , произведено выделение эффективных толщин коллекторов и разделение их по характеру флюидонасыщения.[3]

Оценка  $K_{ГЛ}$  по всем скважинам производилась по кривым ГК.

Значения  $K_{П}$  определялись в комплексе по методам НГК и АК.

Определения коэффициента газонасыщенности ( $K_{Г}$ ) производился по боковому каротажу. (Рис.1)

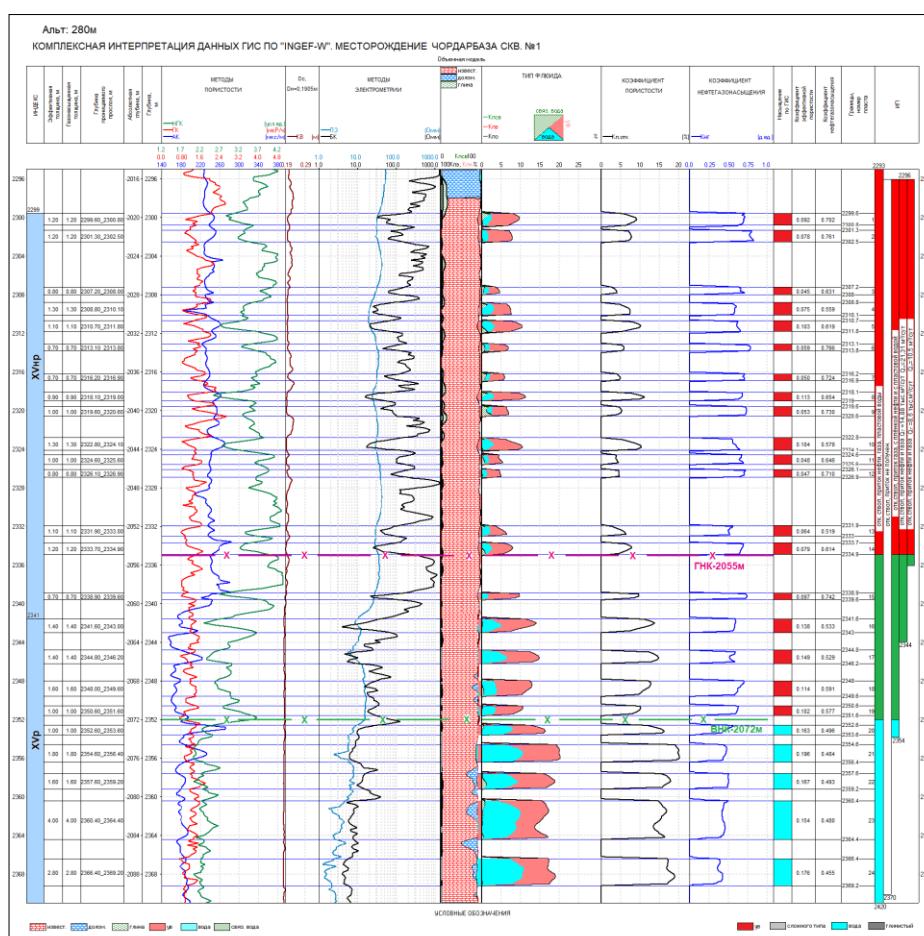
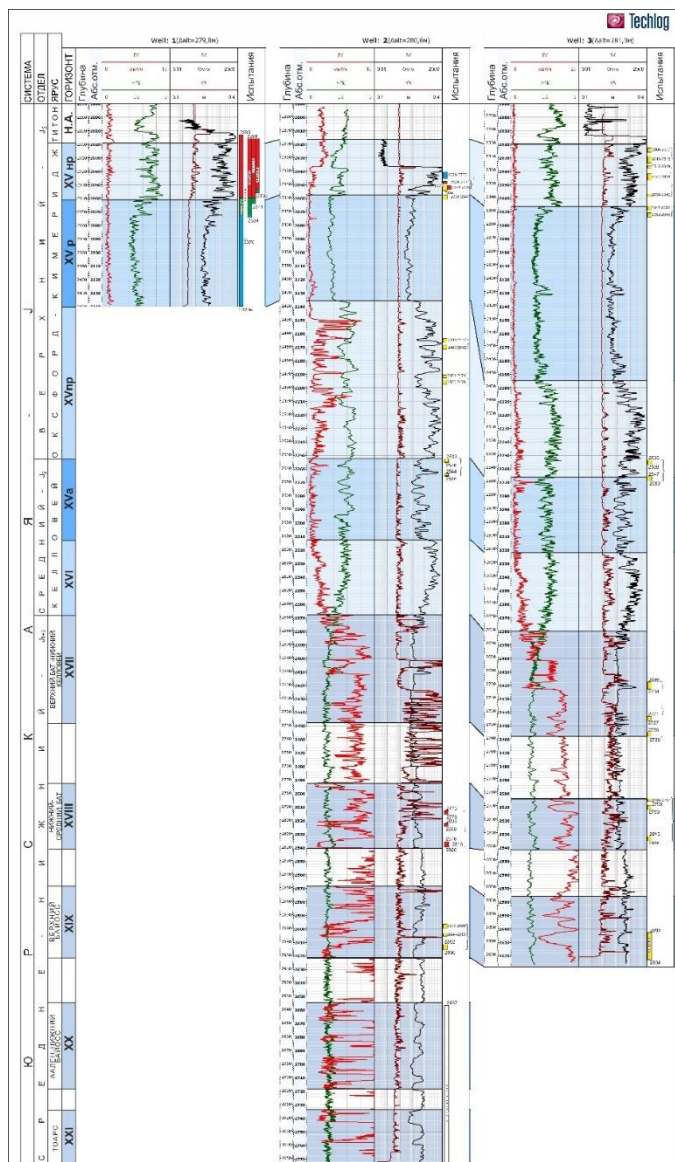


Рисунок 1. Комплексная интерпретация данных ГИС скв. №1 месторождение Чордарбаза.

Почти во всех представленных скважинах проводился полный комплекс ГИС. Присутствие полного комплекса материалов ГИС, позволило определить литологический состав пород-коллекторов и более надежно определить фильтрационно-емкостные параметры коллекторов. По всем скважинам составлены планшеты. [4] (Рис.1) На месторождении Чордарбаза промышленная газонасыщенность связана с XV<sub>нр+р</sub> и XVIII горизонтами юрских отложений, промышленная

нефтеносность с XVnr+r горизонтами верхнеюрских отложений. По всем поисковым скважинам была выполнена корреляция разрезов. [3] (Рис.2)



**Рисунок 2.** Схема корреляции терригенных и карбонатных горизонтов юрских отложений.

Для подсчета запасов значения коэффициентов пористости и газонасыщенности приняты по материалам ГИС. Ниже приводится обоснование параметров пористости и газонасыщенности по всем продуктивным горизонтам и скважинам. [5]

XVnr горизонт – значения коэффициента пористости в пределах месторождения изменяются от 7,5 % (скв. № 1) до 11,4 % (скв. № 2), к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента пористости равное 8,9 %. Значения коэффициента газонасыщенности изменяются от 60 % (скв. № 2) до 74 % (скв. № 3), к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента газонасыщенности равное 68 %.

XVr горизонт – к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента

пористости равное 14,3 %, в пределах месторождения значение этого параметра изменяется от 10,6 % (скв. № 3) до 18,7 % (скв. № 2). Коэффициент газонасыщенности изменяется от 58% (скв. №№ 1, 2) до 61 % (скв. № 3), к подсчету принято, как средневзвешенное значение равное - 59 %.

XVIII горизонт – к подсчету принято средневзвешенное значение коэффициента пористости равное 9,8 %, в пределах месторождения значение этого параметра изменяется от 9,2 % (скв. № 3) до 10,3 % (скв. № 2). Коэффициент газонасыщенности изменяется от 52% (скв. № 3) до 54 % (скв. № 54), к подсчету принято, как средневзвешенное значение равное - 53 %.

## **Выводы**

В соответствии с принятой геологической моделью, а также результатами сопоставления материалов ГИС и опробования в пределах месторождения Чордарбаза выделяются нефтегазовые залежи в XV<sub>nr</sub>, XV<sub>p</sub> и XVIII горизонтах. В залежах XV<sub>nr</sub> и XV<sub>p</sub> горизонтов приняты газонефтяные контакты (ГНК), положение которых обосновано следующим образом: положение ГНК, для газовой залежи XV<sub>nr</sub> и XV<sub>p</sub> горизонтов, принято на абс. отм. минус 2055 м по подошве последнего газонасыщенного коллектора на глубине 2339,6 м в скважине № 1. Приняты водонефтяные контакты (ВНК) на абс. отм. минус 2072 м, по подошве нефтинасыщенного коллектора XV<sub>p</sub> горизонта на глубине 2351,6 м в скважине № 1, что не противоречит испытанию в скважине № 2, где в интервале 2296-2344 м (открытым стволе) получен приток нефти дебитом 22,311 м<sup>3</sup>/сут. и газа дебитом 14,88 тыс.м<sup>3</sup>/сут.

В залежах XVIII горизонта газоводяной контакт (ГВК) принято на абс. отм. минус 2540 м, по нижней дыре перфорации на глубине 2820 м и уточнено по подошве продуктивного коллектора на глубине 2620,5 м скважины №2.

## **Библиография**

1. Итенберг С.С. «Изучение нефтегазоносных толщ промыслово-геофизическими и геологическими методами» Москва. Недра. 1967г.
2. Мамиров Ж.Р. «Оперативный подсчет и пересчет запасов нефти, газа и конденсата по находящимся в разведке месторождениям АО «Узбекнефтегаз», Ташкент-2021г. 174 с.
3. Мамиров Ж.Р. «Подсчет запасов УВ-сырья месторождения Шортак», Ташкент-2022г. 65с.
4. Холмуродов И.З., Хожиев Б.И. «Фильтрационно-ёмкостные свойства продуктивных коллекторов отложений юрской системы кандымского поднятия». Журнал «ВЕСТНИК НУУз» Ташкент, 2022г. – 31/1, – 303с.
5. Холмуродов И.З., Муратова С.Ф., Мехмонов Ш.М. «Эффективность выделения терригенных коллекторов в северо-западной части чарджоуской ступени (на примере газоконденсатные месторождения Андакли)» Журнал «ВЕСТНИК НУУз» Ташкент, 2021г. – 3□2/1, – 186с.

***Методика и результаты литолого-фациального анализа продуктивного горизонта Ю<sub>2</sub>. Шакиров Р.Р. (ООО «НОВАТЭК НТЦ», Ravil.Shakirov@novatek.ru)***

**Аннотация**

Объектом исследования настоящей работы является продуктивный горизонт Ю<sub>2</sub> одного из месторождений севера Западно-Сибирской НПП. В предшествующих научных работах обоснованы высокие перспективы нефтегазоносности рассматриваемого объекта в северных районах Западной Сибири [2, 4]. Проведенные в пределах месторождения поисково-разведочные работы полностью подтвердили ранее полученные выводы – подтверждена продуктивность пластов Ю<sub>2</sub><sup>1</sup>, Ю<sub>2</sub><sup>2</sup>. Вместе с тем геологоразведочные работы выявили крайне высокую геологическую изменчивость резервуаров.

Конечной целью исследования является разработка рекомендаций по повышению эффективности поисково-разведочных и эксплуатационных работ на объекте Ю<sub>2</sub>. Для достижения поставленной цели на первом этапе необходимо решить задачу разработки литолого-фациальной основы для последующего трехмерного цифрового геологического моделирования.

**Ключевые слова**

Фация, фациальный анализ, фациальное моделирование, юрские отложения, поисково-разведочные работы.

**Теория**

**Результаты фациального анализа керна**

В соответствии с существующими представлениями формирование горизонта Ю<sub>2</sub> происходило в континентальных и прибрежно-морских условиях [1, 3]. Проведенные исследования позволили детализировать данные представления для района работ.

Формирование пласта Ю<sub>2</sub><sup>2</sup> в пределах лицензионного участка происходило в континентальных условиях. Песчано-алевролитовые отложения связаны в основном с аллювиальной системой меандрирующих русел, за пределами которой накапливались алеврито-глинистые и глинистые пойменные и озерно-болотные фации.

Пласт Ю<sub>2</sub><sup>1</sup> формировался на трансгрессивном этапе развития бассейна и характеризуется многообразием фациальных типов. С юга на север наблюдается постепенная смена континентальных фаций на прибрежно-морские. Так нижняя часть пласта сложена типично континентальными фациями речных русел, пойм и заболачивающихся озер. Верхний, прибрежно-морской комплекс формировался в условиях приливно-отливного (ваттового) и заливно-лагунного побережья, рассеянного сетью дельтовых каналов с влиянием приливных процессов. Наиболее выдержанные песчаные прослои связаны с отложениями прибрежно-морского генезиса.

## Методика количественного прогноза эффективной мощности пластов

Атрибутное прогнозирование эффективной мощности пластов осуществлялось с использованием специализированного программного продукта Hampson Russell. Исследование включало выбор самых информативных атрибутов, расчёт уравнений регрессии и построение прогнозных карт.

С целью повышения достоверности прогноза была использована комбинация из нескольких относительно независимых атрибутов, поскольку ни один геофизический параметр отдельно не обеспечивал приемлемого уровня ошибки прогноза.

Схема прогноза эффективной мощности в межскважинном пространстве включала следующую последовательность операций:

На основе послойной интерпретации данных ГИС были подготовлены данные по эффективной мощности пластов в скважинах.

Во временном интервале изучаемого пласта по амплитудному сейсмическому кубу, кубам упругих параметров были рассчитаны карты различных атрибутов.

В программе ISMap пакета Hampson-Russell выполнена оценка корреляционных связей полученных динамических атрибутов с эффективной мощностью пластов. На основе валиодальной оценки результатов выбиралось оптимальное количество наиболее информативных атрибутов, затем на их основе выполнялось построение карт прогноза эффективной мощности.

## Методика и результаты фациального моделирования Методика фациального моделирования предполагает:

1. Выбор концептуальной модели объекта исследования;
2. Разбиение его на фации в соответствии с выбранной концептуальной моделью;
3. Картирование пространственного распространения и взаимоотношения фаций по комплексу сейсмических и скважинных данных.

В качестве концептуальной модели объекта на основании имеющегося регионального опыта [1-4] была выбрана модель переходной зоны между континентом и морем (рис. 1), включающая прибрежную аллювиальную равнину и эстуарий с интенсивным влиянием приливно-отливных процессов [5].

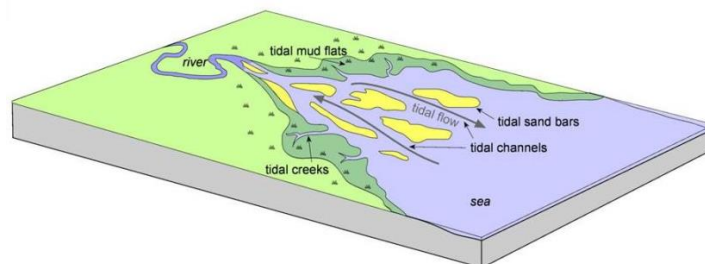


Рисунок 1. Концептуальная модель объекта исследований [5]

В соответствии с принятой концептуальной моделью продуктивный пласт Ю<sub>2</sub><sup>2</sup> по имеющимся керновым данным представлен комплексом фаций, сформированных в обстановках прибрежной аллювиальной равнины. Коллекторы, в основном, связаны с отложениями песчаных речных русел. Соответственно продуктивный пласт Ю<sub>2</sub><sup>1</sup> представляет собой комплекс фаций, сформированных в обстановках переходного типа. Коллектора, в основном, ассоциируются с прибрежно-морскими песчаными фациями.

Картирование пространственного распространения фаций выполнено на основе принятой концептуальной модели, результатов фациального и сейсмофациального анализа.

В пласте Ю<sub>2</sub><sup>2</sup> в центральной части площади выделен комплекс аллювиальных фаций системы меандрирующих русей, который по латерали замещается на алевритоглинистые отложения слабопроточной поймы. Наилучшие коллекторы связаны с фациями речных русел. Коллекторы более низкого качества - с песчано-алевритовыми отложениями проточной поймы (Рис. 2).

В пласте Ю<sub>2</sub><sup>1</sup> в южной части площади выделен комплекс преимущественно глинистых отложений лагун – мелководных заливов. В северной части площади - комплекс песчаных фаций прибрежно-морского генезиса и разделяющих их преимущественно глинистых фаций мелководных заливов (Рис. 3). Наилучшие коллекторы связаны с песчаными фациями прибрежно-морского генезиса (устьевые бары).

В результате фациальных реконструкций создана литологическая основа для последующего трехмерного цифрового геологического моделирования.

## **Выводы**

В результате анализа фаций, карт сейсмических атрибутов, карт эффективных толщин продуктивных пластов установлено, что снос материала происходил с юга и юга-востока, что не противоречит ранее проведенным исследованиям.

Продуктивный горизонт Ю<sub>2</sub> представляет собой геологическое тело весьма сложного строения, сформированное в период постепенной трансгрессии бассейна:

1. Продуктивный пласт Ю<sub>2</sub><sup>2</sup> был сформирован в обстановках прибрежной аллювиальной равнины. Коллекторы наилучшего качества связаны, в основном, с отложениями речных русел;
2. Продуктивный пласт Ю<sub>2</sub><sup>1</sup> образовался в обстановках переходного типа. Коллекторы, в основном, связаны с песчаными фациями прибрежно-морского генезиса.
3. Полученные результаты рекомендуется использовать при трехмерном геологическом моделировании объекта, оценке ресурсов и рисков, планировании ГРП.



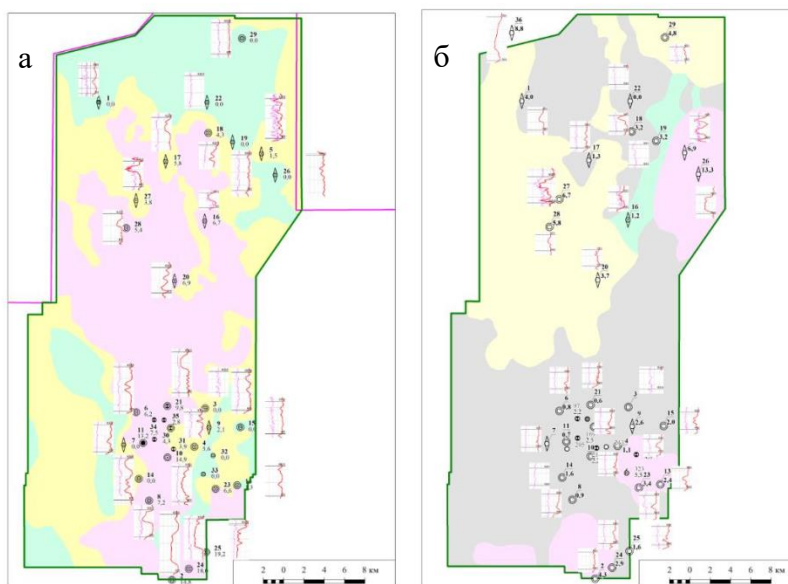


Рисунок 2. Фациальные карты пластов: а) Ю<sub>2</sub><sup>2</sup> б) Ю<sub>2</sub><sup>1</sup>

### Библиография

1. Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины. Под редакцией И.И. Нестерова. – Тюмень, ЗапСибНИГНИ. – 1976 г. – 85 с.
2. Карташов, А.А. Геологическое строение и нефтегазоносность батского регионального резервуара Надым-Тазовского междуречья: Западная Сибирь: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12 / Карташов Алексей Анатольевич. – Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 2004. – 18 с.
3. Конторович, А. Э. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде / А. Э. Конторович, В. А. Конторович, С. В. Рыжкова и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 8. – С. 972-1012.
4. Шемин, Г.Г. Строение и перспективы нефтегазоносности с выделением крупных объектов нефтепоисковых работ батского регионального резервуара севера Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции / Г.Г. Шемин, Н.В. Первухина // Геология нефти и газа. - 2009 г. - № 1. - С.13-19.
5. Nichols, G.J. (2012). Sedimentary and stratigraphy. – 2nd ed. Wiley-Blackwell, Chichester; pp. 419.

***Методические подходы к оценке геологических рисков на примере отложений тюменской свиты восточного борта Уренгойского месторождения. Шакиров Р.Р. (ООО «НОВАТЭК НТЦ», Ravil.Shakirov@novatek.ru)***

### **Аннотация**

Приводится детальное описание использования методических подходов к оценке геологических рисков для формирования стратегии геологоразведочных работ с целью поиска и разведки залежей нефти и газа в интервале тюменской свиты восточного борта Уренгойского месторождения.

### **Ключевые слова**

Геологоразведочные работы, риск, вероятность, юрские отложения, ранжирование.

### **Теория**

Выполнена работа по уточнению оценки ресурсного потенциала юрских отложений. С учетом неопределенностей геологической модели и статистики по месторождениям окружения выполнена вероятностная оценка ресурсного потенциала на. Было выделено 34 перспективных ловушки в интервале пластов Ю<sub>2</sub> и Ю<sub>3-4</sub>.

При проектировании геологоразведочных работ используют такие взаимосвязанные понятия, как «вероятность» и «риск». Эти термины означают возможность наступления или не наступления каких-либо событий. Эти величины являются взаимобратными и измеряются в долях от единицы [9, 12].

Было выделено 5 факторов, влияющих на успех открытия новых залежей [5, 11]:

1. Изученностью участка сейсморазведочными работами;
2. Наличием структуры;
3. Наличием коллектора, способного вмещать углеводороды;
4. Наличием покрышки (экрана), удерживающей углеводороды;
5. Возможностью заполнения ловушек углеводородами.

Изменение геологических рисков по площади распространения исследуемых горизонтов отображается на так называемых вероятностных картах. В зависимости от изменения параметров производится раскраска наиболее перспективных или рискованных зон. Суммирование вероятностных карт дает итоговую карту риска, сравнение которой со структурной основой позволяет делать выводы о перспективах нахождения залежей углеводородов в изучаемом районе.

Вероятность по изученности определяется анализом информации по наличию 2D/3D сеймики, плотности сети наблюдений, количеству сейсмопрофилей на площади, анализу плотности поисково-разведочного и эксплуатационного бурения. По результатам обработки и интерпретации 3D сейсморазведочных работ получены данные по среднеквадратичным ошибкам ( $\sigma$ ) структурных построений на кровлю тюменской свиты (ОГ Т) [6]. Далее были определены значения вероятности наличия

структуры как отношение амплитуды ловушки ( $H_{\text{ловушки}}$ ) к среднеквадратичной ошибке ( $\sigma$ ):

$$P_c = \begin{cases} \text{если } H_{\text{ловушки}} > \sigma, \text{ то } 100\% \\ \text{если } H_{\text{ловушки}} < \sigma, \text{ то } H/\sigma \end{cases}$$

Вероятность наличия покрышки определяется мощностью и литологическим составом региональной глинистой толщи (пачки) над резервуаром. Построены карты толщин покрышек для пластов Ю<sub>2</sub> и Ю<sub>3-4</sub>.

Вероятность наличия коллектора определяется по анализу палеофациальной модели. При создании палеофациальной модели использовались динамический анализ данных сейсморазведки, анализ сейсмических атрибутов. результате проведенного анализа было установлено, что обстановка осадконакопления пласта Ю<sub>2</sub> является мелководно-морской. Выделены зоны баровых тел. Обстановка осадконакопления пласта Ю<sub>3-4</sub> является континентальной, речной. Выделены русловые тела и границы речных долин. [8].

По матрице наличия коллектора [11] обстановкам осадконакопления заданы перцентили вероятности. Вероятность заполнения ловушек УВ определяется наличием собственной термически зрелой нефтематеринской породы и миграцией УВ.

На основании данных по месторождениям окружения была построена карта регионального тренда ВНК (ГВК), по которой определялся риск по заполнению исходя из гипсометрического положения относительно тренда контакта. Рассчитана вероятность заполнения по формуле:

$$P_c = \begin{cases} \text{если } H > \text{ВНК}, \text{ то } 1 - (H - \text{ВНК}) / (H_{\text{max}} - \text{ВНК}) \\ \text{если } H < \text{ВНК}, \text{ то } (H - \text{ВНК}) / (\text{ВНК} - H_{\text{max}}) \end{cases}$$

Карты вероятности геологического успеха для пластов Ю<sub>2</sub> и Ю<sub>3-4</sub> представляют собой произведение геологических факторов (изученность, структура, покрышка, коллектор, заполнение) (рис. 1) [9].

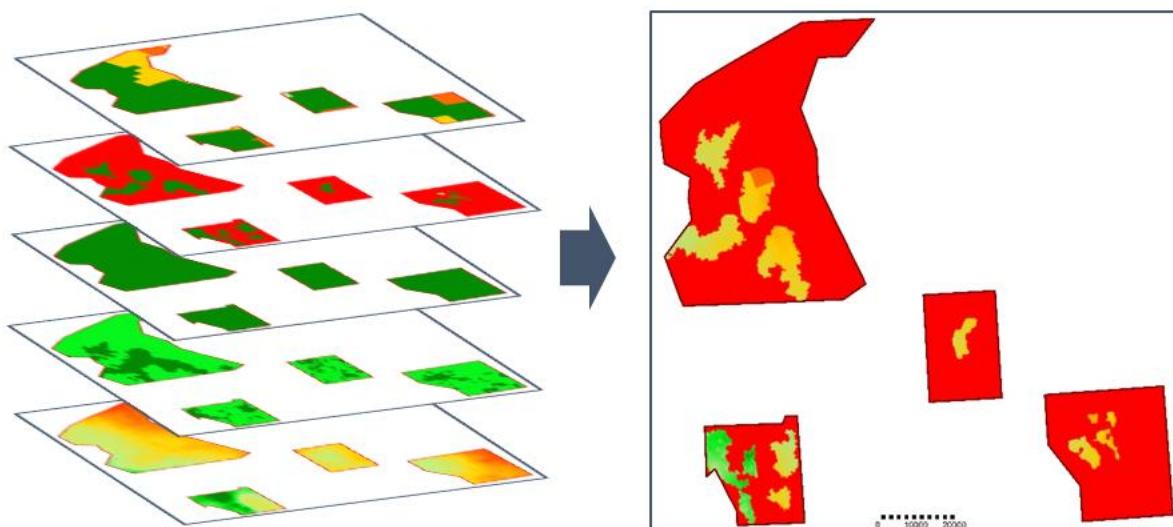


Рисунок 1. Карта вероятности геологического успеха пласта Ю<sub>2</sub>

Для каждого объекта составлена программа геологоразведочных работ. Выполнены расчеты проектных уровней и темпов падения добычи, стартовые дебиты. В конечном итоге рассчитана экономическая эффективность геологоразведочных работ для каждого поискового объекта.

## **Выводы**

В итоге проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Оценен ресурсный потенциал отложений тюменской свиты восточного борта Уренгойского месторождения;
2. Построена карта вероятности по геологическим факторам, представляющая собой произведение всех факторов (изученность, структура, коллектор, покрышка, заполнение);
3. Выделены первоочередные объекты для постановки поискового бурения.

## **Библиография**

1. Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины в масштабе 1:5000000 / Под ред. И. И. Нестерова. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1976.
2. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 295 с., ил. 116.
3. ГОСТ Р 50779.10—2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
4. Конторович А. Э., Конторович В. А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 972—1012.
5. Методические рекомендации по анализу рисков геологоразведочных проектов. ПАО «НК «Роснефть».
6. Отчет по теме «Создание сейсмогеологической модели осадочного чехла Западно-Сибирской геосинеклизы в пределах северных районов ЯНАО». ООО «ЛНТНГ «Петрограф», 2007.
7. Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. Вып. 35. 48 с. (МПР РФ, РАН, Роснедра, ВСЕГЕИ, МСК России).
8. Реддинг Х. Г., Коллинсон Дж.Д., Аллен Ф. А., Эллиотт Т., Шрейбер Б. Ш. Обстановки осадконакопления и фации: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Х. Реддинга. М.: Мир, 1990. 332 с.
9. Роуз Питер Р. Анализ рисков и управление нефтегазопроисковыми проектами. М. — Ижевск: НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 304 с.
10. Шемин Г. Г. Региональные резервуары нефти и газа юрских отложений севера Западно-Сибирской провинции / Г. Г. Шемин; отв. редакторы М. И. Эпов, Н. П. Запи-валов. Ин-т нефтегазовой геол. и геоф. им. А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. 362 с.
11. Committee for Coordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas (CCOP), 2001. 12. Megill R.E, Introduction to risk analysis, Petroleum Publishing Company, Tulsa, OK, 1977.

***Построение аналитической модели трещиноватости Киринского лицензионного участка. Шатыров А.К. \* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», e-mail: [anar.shatyrov@mail.ru](mailto:anar.shatyrov@mail.ru))***

### **Аннотация**

В данной работе рассмотрена аналитическая модель трещиноватости Киринского лицензионного участка.

Данный этап моделирования выполняется с помощью специального программного обеспечения (Create Fracture Model), который позволяет использовать тренды (зависимости), полученные в результате геомеханического моделирования. Расположение трещин можно достаточно надежно прогнозировать, используя независимые геолого-структурные параметры.

### **Ключевые слова**

Киринский, трещины, тренды, модели, подгоризонт.

### **Источники финансирования**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

### **Теория**

С помощью геомеханической модели, построенной методом граничных элементов, удалось установить восемь параметров, определяющих появление новых или изменение степени раскрытости существующих трещин. [4]

Аналитическая модель трещиноватости Киринского лицензионного участка была построена с использованием следующих параметров:

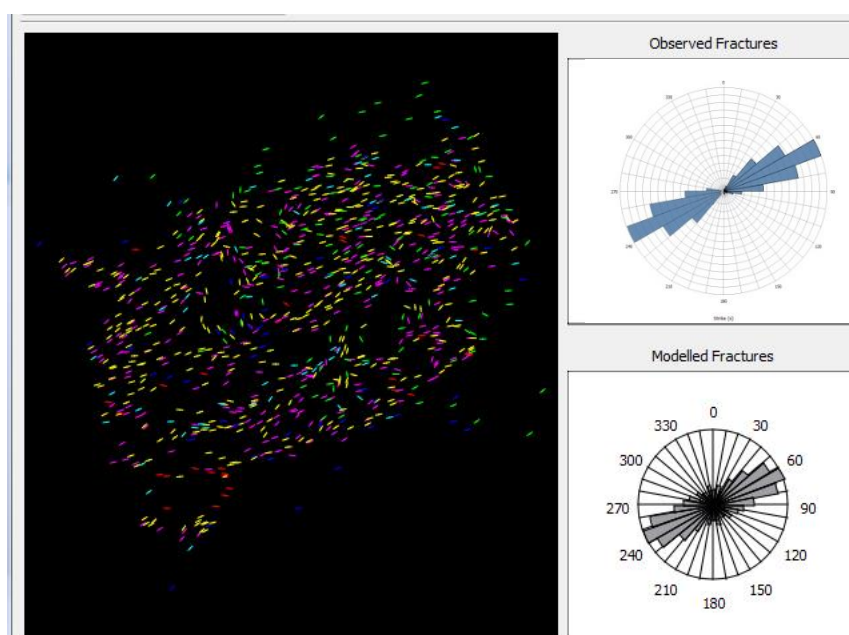
- 1) кривизна структурной поверхности (антиформы), ориентировка трещин – MaxCurvatureDirection;
- 2) кривизна структурной поверхности (синформы), ориентировка трещин – MaxCurvatureDirection.
- 3) близость к разломам (FaultProximity). Ориентировка трещин – FaultStrike;
- 4) близость к концам разломов (FaultTipProximity), ориентировка трещин – FaultStrike;
- 5) величина горизонтального смещения (DisplacementX), ориентировка трещин – FaultStrike;
- 6) вероятность появления новообразованных трещин (FractureLike), ориентировка трещин – Shmaxdir.

В программе Create Fracture Model трещины генерируются случайным распределением “затравок”. Трещины создаются согласно плотности рассчитанных трендов и данных об их ориентировках. При пересечении с трещиной из другого семейства учитывается их взаимодействие. Трещины “выращиваются” до тех пор, пока не будет достигнута требуемая плотность. [1]

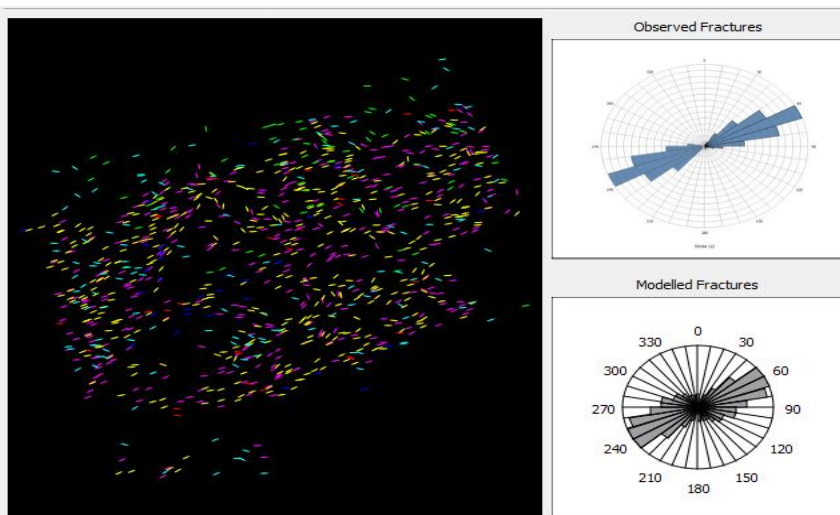
Следующий шаг моделирования – это оценка влияния длины и изменчивости параметров трещин. Необходимо добиться наилучшего соответствия сети трещин с производительностью скважин. После чего можно оценить сообщаемость полученной сети разломов и перейти к гидродинамическому моделированию, используя метод двойного пространства (двойной пористости и проницаемости). [3]

В результате проведенных исследований были построены прогнозные аналитические модели трещиноватости Киринского лицензионного блока месторождений, для следующих горизонтов: даехуриинского горизонта (P32) (Рис.1), нижнедагинского подгоризонта (N11-2dg1) (Рис.2), среднедагинского подгоризонта (N11-2dg1-2) (Рис.3), верхнедагинский подгоризонта (N11-2dg3) (Рис.4).

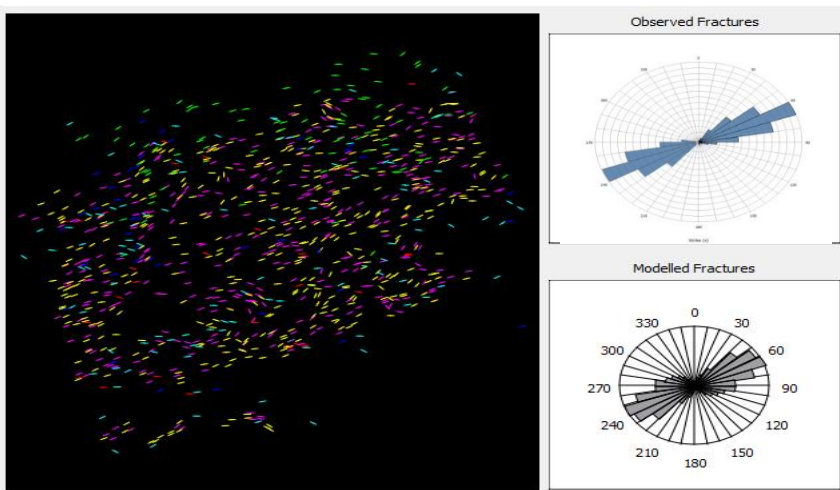
Все модели были построены по шести параметрам. Цветом показаны системы трещин, построенные с помощью разных трендов.



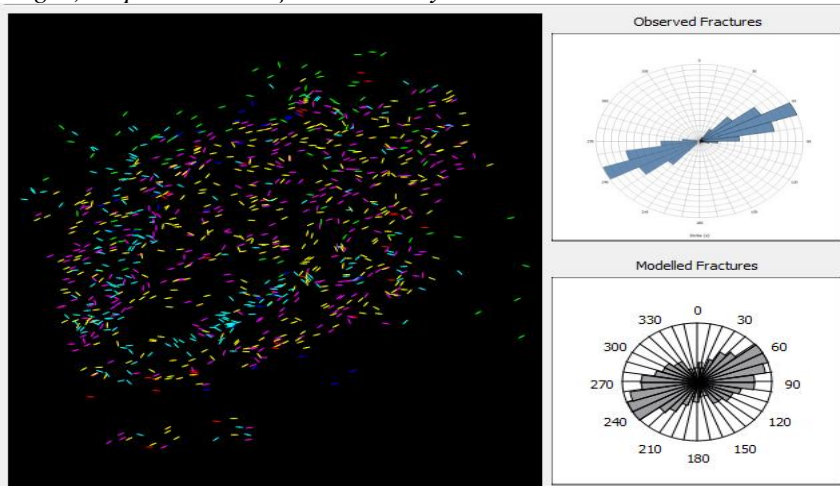
**Рисунок 1.** Характер распределения прогнозной трещиноватости для даехуриинского горизонта ( $P_3^2$ ) Киринского лицензионного участка.



**Рисунок 2.** Характер распределения прогнозной трещиноватости для нижнедагинского подгоризонта ( $N_1^{1-2}dg_1$ ) Киринского лицензионного участка.



**Рисунок 3.** Характер распределения прогнозной трещиноватости для среднедагинского подгоризонта ( $N_1^{1-2}dg_{1-2}$ ) Киринского лицензионного участка.



**Рисунок 4.** Характер распределения прогнозной трещиноватости для верхнедагинский подгоризонта ( $N_1^{1-2}dg_3$ ) Киринского лицензионного участка.

## **Выводы**

В дальнейшем построенные и адаптированные аналитические модели трещиноватости послужили основой для расчета вторичной проницаемости. Благодаря этому можно рассчитать параметр трещинной пористости, который представляет собой 3D параметр, в каждой ячейке, которого содержится значение объема пустотного пространства, образованного трещинами, в долях объема ячейки. Данный параметр следует использовать очень осторожно, поскольку вариации в модели трещиноватости могут быть весьма существенными.

Для определения абсолютных значений необходимо выполнить нормирование полученных данных с помощью гидродинамических исследований скважин (Особо отметим необходимость исследовать соотношения первичной и вторичной проницаемости, поскольку величина трещиной проницаемости может на порядок быть выше поровой). [2]

## **Библиография**

1. Джафаров И.С., Керимов В.Ю., Шилов Г.Я. Шельф, его изучение и значение для поисков и разведки скоплений нефти и газа. - СПб.: Недра, 2005. - 384 с.
2. Ермолкин В.И., Керимов В.Ю. Геология и геохимия нефти и газа. - 2 изд. - М.: Недра, 2012. - 460 с.
3. Керимов В. Ю., Бондарев А. В., Сизиков Е. А., Синявская О. С., Макарова А. Ю. Условия формирования и эволюция углеводородных систем на Присахалинском шельфе Охотского моря // Нефтяное хозяйство. - 2015. - №8. - С. 22-27.
4. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Сенин Б.В., Лавренова Е.А. Задачи бассейнового моделирования на разных этапах геолого-разведочных работ // Нефтяное хозяйство. - 2015. - №4. - С. 26-29.



*Особенности геологического строения и способы повышения эффективности разработки пласта Дфр2 (Бузулукская впадина). Соседов В.Ю.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», vladik180899@mail.ru), Научный руководитель - Тюкавкина О.В. (д.т.н., профессор кафедры геологии и разведки углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», tov.sing@mail.ru)*

## **Аннотация**

В настоящее время в Оренбургской области активно ведутся работы по поиску и разработке месторождений в рифовых отложениях, к которым относится Рыбкинское месторождение, расположенное на юге Бузулукской впадины. Его резервуары характеризуются сложным строением, фациальной неоднородностью, разнообразием пустотного пространства и др. Хотя рифовые отложения являются традиционными коллекторами, пласты имеют ухудшенные геолого-промысловые характеристики.

В работе рассмотрены геолого-промысловые свойства пласта Дфр2 (Рыбкинское месторождение) для установления особенностей, позволяющих рассматривать запасы пласта в трудноизвлекаемых запасах, а также рассмотрены вопросы своевременного внедрения эффективных систем разработки пластов с плохими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), что позволяет увеличить коэффициент извлечения нефти, обеспечить прирост геологических запасов нефти и продлить сроки эксплуатации залежей.

## **Ключевые слова**

Трудноизвлекаемые запасы углеводородов, рифовые отложения, сложное строение, разработка, коэффициент извлечения нефти.

## **Теория**

В связи с усложнением геологического строения новых месторождений, а также развитием технологий, позволяющих разрабатывать «нетрадиционные» залежи появился термин «трудноизвлекаемые запасы». В настоящее время отсутствует строгая классификация трудноизвлекаемых запасов. С позиций теоретической и производственной геологии данный термин характеризует лишь степень сложности добычи углеводородов [2].

Трудноизвлекаемые запасы можно разделить на три основные группы.

1. Запасы тяжелой высоковязкой нефти, природных битумов и углеводородов битуминозных песков.

2. Запасы, сосредоточенные в сложных коллекторах, характеризующихся низким коэффициентом извлечения флюидов, а также в угольных месторождениях; глинистых трещиноватых коллекторах, плотных песчаниках, глинистых сланцах, меловых породах и др.

3. Остаточные запасы углеводородов нерационально освоенных месторождений со сложными геолого-промысловыми условиями [3].

В Оренбургской области и, в частности, на Рыбкинском месторождении значительная доля как раз таких, трудноизвлекаемых запасов сосредоточена в карбонатных коллекторах. Освоение и разработка залежей нефти в них требуют особого подхода. В отличие от терригенных карбонатные породы имеют свои особенности геологического строения и строения пустотного пространства.

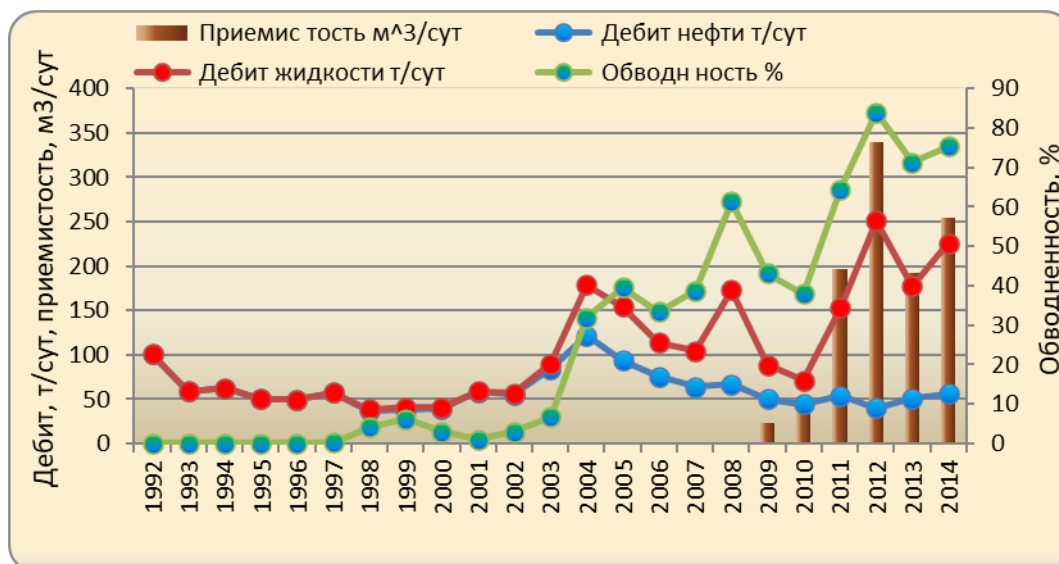
По результатам лабораторных исследований установлены особенности структуры пустотного пространства пород, среди которых выделены три основные группы: трещинно-каверново-поровые, каверново-поровые и трещинные. По результатам исследования глубинных проб нефти установлено, что коллекторами служат известняки франского возраста (пласт Дфр2). Нефти легкие маловязкие сернистые, смолистые и парафинистые с плотностью 827-845 кг/м<sup>3</sup> (при температуре 20°C и давлении 0,1 МПа) и вязкостью 2,91-6,41 мПа·с (в пластовых условиях). По результатам исследований и в соответствии с действующей «Классификацией запасов и ресурсов нефти и горючих газов» можно сказать, что запасы рифовых массивов исследуемой территории не относятся к категории трудноизвлекаемых.

Рассмотрим, можно ли отнести указанные рифовые месторождения ко второй и третьей группам трудноизвлекаемых запасов углеводородов.

В настоящее время, несмотря на сложное геологическое строение, текущие значения коэффициента нефтеизвлечения (КИН) для пласта Дфр2 на Рыбкинском месторождении достаточно высоки и не позволяют отнести рифы ко группе трудноизвлекаемых запасов.

В 2013 году было выполнено «Дополнение к технологической схеме разработки Рыбкинского нефтяного месторождения», в котором утвержденный проектный КИН составил – 0,568, но по состоянию на 01.08.2014 г., КИН Рыбкинского месторождения составлял – 0,242 доли ед., отбор от НИЗ – 42 %, при обводненности 75,3 %.

Оценивая современное состояние выработанности пласта Дфр2 на Рыбкинском месторождении (2020-2021 гг.), можно отметить, что КИН составляет – 0,242, поэтому при для достижения, утвержденного КИН необходимы мероприятия по реализации запроектированной системы разработки: разбуривание залежей, организация системы ППД, выполнение программы ГТМ. Так же можно отметить, что отставания фактических уровней добычи нефти от проектных в 2010-2011 гг. обусловлены меньшей продуктивностью скважин по нефти и жидкости по сравнению с проектной и выбытием добывающего фонда скважин в связи с высокой обводненностью пластов. В 2012-2014 гг. – превышение фактических уровней добычи над проектными, обусловлены ростом продуктивности скважин по нефти и жидкости по сравнению с проектной и предыдущими годами, несмотря на эксплуатацию меньшим фондом скважин в 2014 году, а также эффективностью системы ППД (рис.1).



**Рисунок 1.** Динамика дебитов нефти и жидкости, обводненности, приемистости. Рыбкинское месторождение.

Сложность строения пласта Дфр2 на Рыбкинском месторождении обусловлена слоистой и зональной неоднородностью карбонатных отложений, литологическими, фильтрационно-емкостными и упруго-механическими свойствами. Монолитные, на первый взгляд, карбонатные толщи являются сложными многопластовыми объектами разработки с сильно затрудненной гидродинамической связью по разрезу и площади [1]. Частота встречаемости трещин по пласту Дфр2 увеличивается с глубиной. Эта закономерность наблюдается и в других одновозрастных рифовых отложениях и отрицательно влияет на показатели разработки рифовых месторождений. Например, при интенсивном отборе происходит быстрое обводнение.

Как известно, на многих длительно разрабатываемых месторождениях, приуроченных к карбонатным коллекторам, КИН не превышают 0,1–0,3. Поэтому, для успешного решения вопросов, связанных с вводом в разработку новых и доработкой старых нефтяных месторождений необходимо учитывать накопленный опыт разработки месторождений в разных геолого-физических условиях [1].

Исходя из накопленного опыта эксплуатации аналогичных объектов для разработки залежей рифовых месторождений в том числе и Рыбкинского, своевременное принятие следующих решений позволит повысить КИН и длительность эксплуатации:

1. компенсированный отбор флюида. В первую очередь необходимо извлекать углеводороды из трещинного коллектора с последующим вовлечением в разработку каверново-поровых зон [1].
2. выделение одного объекта разработки Дфр2. Пласт Дфр2 обладает достаточной нефтенасыщенной толщиной, содержит достаточные запасы нефти для рентабельного ее извлечения.
3. разбуривание месторождения с высокой плотностью сетки размещения скважин. Одно из основных направлений работ по повышению эффективности выработки

трудноизвлекаемых запасов – оптимизация плотности сеток скважин и за счет этого ввод в активную разработку запасов в низкопроницаемых коллекторах.

4. бурение горизонтальных и наклонно-направленных скважин. Данный вид бурения особенно эффективен для представленного месторождения со сложными геолого-промысловыми условиями.
5. выбор оптимального режима работы скважин. На рифовых месторождениях отсутствует газовая шапка, разработка залежи предполагается при пластовом давлении выше давления насыщения.
6. предупреждение интенсивного смыкания флюидопроводящих каналов.
7. предотвращение разрушения призабойной зоны пласта [4].

Так же можно отметить, что эффективным для разработки рифовых залежей будет эффективной «технология струйного туннелирования», разработанная и протестированная ПАО «Газпром нефть» на Восточном участке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Данная технология позволяет формировать энергией потока кислотной струи в породе туннели, по которым нефть из ранее недоступных нефтенасыщенных пропластков попадает в скважину. Струйное туннелирование может применяться как альтернатива зарезке боковых стволов в пластах, характеризующихся сложными геологическими условиями, а также для карбонатных коллекторов [5].

## **Выводы**

Таким образом, можно сделать вывод, что рифовые резервуары Оренбургской области характеризуются сложным строением с ухудшенными геолого-физическими характеристиками пласта, что необходимо учитывать при их разработке. При правильно выбранном способе разработки можно обеспечить прирост геологических запасов нефти и продлить сроки эксплуатации залежей.

## **Библиография**

1. Викторин В.Д., Лыков Н.А. Разработка нефтяных месторождений, приуроченных к карбонатным коллекторам. – М.: Недра, 1980. – 202 с.
2. Волянская В.В. К вопросу о необходимости структурирования знаний о геологической природе понятия «трудноизвлекаемые запасы» // Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: матер. XIX науч.-практ. конф. – М., 2019. – 10 с.
3. Кузьмина В.В. Трудноизвлекаемые запасы углеводородов верхнедевонских рифов юга Бузулукской впадины на территории Оренбургской области. Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. Сборник докладов научно-практических конференций журнала «Нефтяное хозяйство» 2019 г. Москва, 2020. Издательство: ЗАО "Издательство "Нефтяное хозяйство" (Москва), С.- 118-123
4. Стасюк М.Е., Коротенко В.А. Выбор оптимального режима эксплуатации скважин в сложно построенных коллекторах // Нефть и газ. – 2001. – № 6. – С. 88–94.
5. Интернет источник <https://neftegaz.ru/news/dobycha/653711-struynoe-tunnelirovanie-gazprom-neft-vnedryaet-novyuy-metod-uvelicheniya-neftedootdachi-na-vostochnom/> (последняя дата обращения 14.02.2022)

**Определение эффективной пористости по методике адаптивной интерпретации в терригенных коллекторах, вскрытых горизонтальной скважиной, по данным азимутального литоплотностного метода. Сребродольская М. А.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, [mary\\_roza@bk.ru](mailto:mary_roza@bk.ru))**

### Аннотация

Получение коэффициентов эффективной пористости по всему периметру горизонтальной скважины позволяет выделять проницаемые участки во всех частях её ствола и определять направление притока углеводородов в скважину. В работе показан способ адаптивной настройки с использованием объёмных плотностей, соответствующих максимальной и граничной пористости коллектора, которые определяются по связи плотности с пористостью. С учётом максимальной эффективной пористости появляется возможность определения эффективной пористости по разрезу и периметру скважины. Указанная задача решена по данным азимутального гамма-гамма плотностного метода, зарегистрированным в горизонтальной скважине в процессе бурения отечественным прибором.

### Ключевые слова

Адаптивная интерпретация, петрофизический инвариант, эффективная пористость, горизонтальная скважина, азимутальный гамма-гамма плотностной каротаж

### Теория

При проведении в горизонтальных скважинах в процессе бурения исследований азимутальным гамма-гамма плотностным каротажем (ГГК-п) появляется возможность дифференцированно оценивать коэффициенты пористости по периметру скважины [4]. Данная задача является важной, так как при пересечении горизонтальной скважиной границ пластов под углом её ствол будет располагаться одновременно в двух породах с разными фильтрационно-емкостными свойствами. Наличие эффективной пористости в породе является прямым признаком коллектора. В настоящей работе предлагается оценивать эффективную пористость ( $K_{п\text{эф}}$ ) по периметру ствола горизонтальной скважины с применением методики адаптивной интерпретации с последующим формированием имиджа  $K_{п\text{эф}}$  и выделением коллекторов на его основании.

В работах [2, 3] показан разработанный на кафедре ГИС РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина способ определения эффективной пористости в гранулярном коллекторе с обоснованием опорных параметров. Согласно этому адаптивному способу, для того чтобы преодолеть принципиальные трудности в изучении сложных коллекторов геофизическими методами, методики интерпретации данных геофизических исследований скважин должны быть адаптивными, то есть настраивающимися на текущие условия измерений. Ключевым понятием в данной концепции является петрофизический инвариант  $\Psi$ , который по определению представляет собой эффективную пористость  $K_{п\text{эф}}$ , нормированную на её максимальное значение ( $K_{п\text{эф\max}}$ ) и рассчитывается по формуле:

$$\Psi = \frac{K_{п\text{эф}}}{K_{п\text{эф\max}}} = \frac{K_n - K_{н\text{гр}}}{K_{н\text{max}} - K_{н\text{гр}}}, \quad (1)$$

где  $K_{п\max}$  – пористость матрицы (максимальная пористость коллектора), определяемая по керну;  $K_{п\text{гр}}$  – граничная пористость для выделения коллекторов (при  $K_{во}=1$ ), определяемая по керну [2, 3].

Из уравнения (1) можно получить уравнение для определения эффективной пористости (2):

$$K_{n\text{эф}} = \Psi K_{n\text{эф}\max} = K_{n\text{эф}\max} \frac{K_n - K_{n\text{гр}}}{K_{n\max} - K_{n\text{гр}}} \quad (2)$$

Своего максимального значения эффективная пористость достигает при пористости, равной пористости матрицы ( $K_{п\max}$ ), тогда:

$$K_{n\text{эф}\max} = K_{n\max} (1 - K_{во\min}) \quad (3)$$

где  $K_{во\min}$  – остаточная (связанная) водонасыщенность матрицы (скелета) породы [2, 3].

По данным [2], величина произведения  $K_{во\min} K_{п\max}$ , объёмная остаточная водонасыщенность матрицы, относительно устойчива и изменяется в узком диапазоне со средним значением 5.56% для терригенных коллекторов Западной Сибири.

В работах [2, 3] также показано, что для объёмной плотности выполняется инвариантное соотношение:

$$\Psi = \frac{\delta_{n\text{гр}} - \delta_n}{\delta_{n\text{гр}} - \delta_{n\max}} \quad (4)$$

где  $\delta_{п\text{гр}}$  – плотность породы с пористостью, равной граничной;  $\delta_{п}$  – текущее значение плотности породы;  $\delta_{п\max}$  – плотность породы с пористостью, равной максимальной ( $K_{п\max}$ ).

Величины плотности  $\delta_{п\text{гр}}$  и  $\delta_{п\max}$ , входящие в уравнение (4), определяются по петрофизической зависимости  $\delta_{п} = f(K_{п})$  для данных отложений или по стандартной петрофизической модели объёмной плотности.

В настоящей работе предлагается азимутально оценивать эффективную пористость  $K_{п\text{эф}i}$  по данным имиджа плотности (по 8-ми или 16-ти кривым плотности) по зависимости, выраженной из уравнений (4) и (2):

$$K_{n\text{эф}i} = \Psi_i K_{n\text{эф}\max} = K_{n\text{эф}\max} \frac{\delta_{n\text{гр}} - \delta_{ni}}{\delta_{n\text{гр}} - \delta_{n\max}} \quad (5)$$

где  $i$  – номер сектора (от 1 до 8 или от 1 до 16),  $\delta_{пi}$  – азимутальная плотность породы в секторе  $i$ .

Преимуществом уравнения (5) является его помехоустойчивость, так как конструкции уравнений такого типа исключают как аддитивные, так и мультипликативные погрешности [2, 3]. Опорные значения пористости оценивают по зависимости, установленной на керне.

Отличное от 0 значение эффективной пористости указывает на наличие коллектора.

Объектом исследования являлось нефтяное месторождение, расположенное в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа [1]. Коллекторы представлены гранулярными песчаниками с прослоями глин, коэффициенты пористости пород лежат в пределах от 0.3 до 23.3%, а проницаемости – от 0.0025 до 846.5 мД. Максимальная пористость  $K_p \max = 23.3\%$ , граничная пористость  $K_p \text{ гр} = 11\%$ . Таким образом, с учётом  $K_{\text{во min}} K_p \max = 5.56\%$  получим  $K_p \text{ эф max} = 17.74\%$ .

Указанные выше определённые по керну для изучаемого месторождения константы позволили рассчитать величины плотностей, необходимые для подстановки в уравнение (5) для определения коэффициентов эффективной пористости. Получено, что  $\delta_p \text{ гр} = 2.4685 \text{ г/см}^3$ ;  $\delta_p \max = 2.2655 \text{ г/см}^3$ .

Используя эти значения, по 16 кривым плотности были рассчитаны 16 кривых  $K_p \text{ эф}$  по уравнению (5), по которым построен имидж эффективной пористости и рассчитана кривая средней эффективной пористости  $K_p \text{ эф}$  (рис. 1). Участки имиджа с  $K_p \text{ эф} = 0$  соответствуют неколлекторам.

В литологической колонке к коллектору отнесены те участки, где величины средней эффективной пористости больше 0, то есть те интервалы, где коллектор присутствует хотя бы в одном секторе имиджа.

## **Выводы**

Гамма-гамма плотностной метод показал свою высокую эффективность при определении пористости пород с использованием уравнения, предполагающего задание плотности скелета и плотности флюида в поровом пространстве породы.

В работе показан способ адаптивной настройки с использованием объёмных плотностей, соответствующих максимальной и граничной пористости коллектора, которые определяются по связи плотности с пористостью. С учётом максимальной эффективной пористости, получаем возможность определения (оценки) эффективной пористости по разрезу и периметру скважины. Важно отметить, что методика предполагает использование минимального количества измеряемых параметров (опорных значений плотности и пористости), что позволяет обосновывать эти параметры и по петрофизическим моделям.

Расчет  $K_p \text{ эф}$  по всему периметру горизонтальной скважины позволяет выделять проницаемые участки во всех частях ствола и определять направление притока углеводородов в скважину.

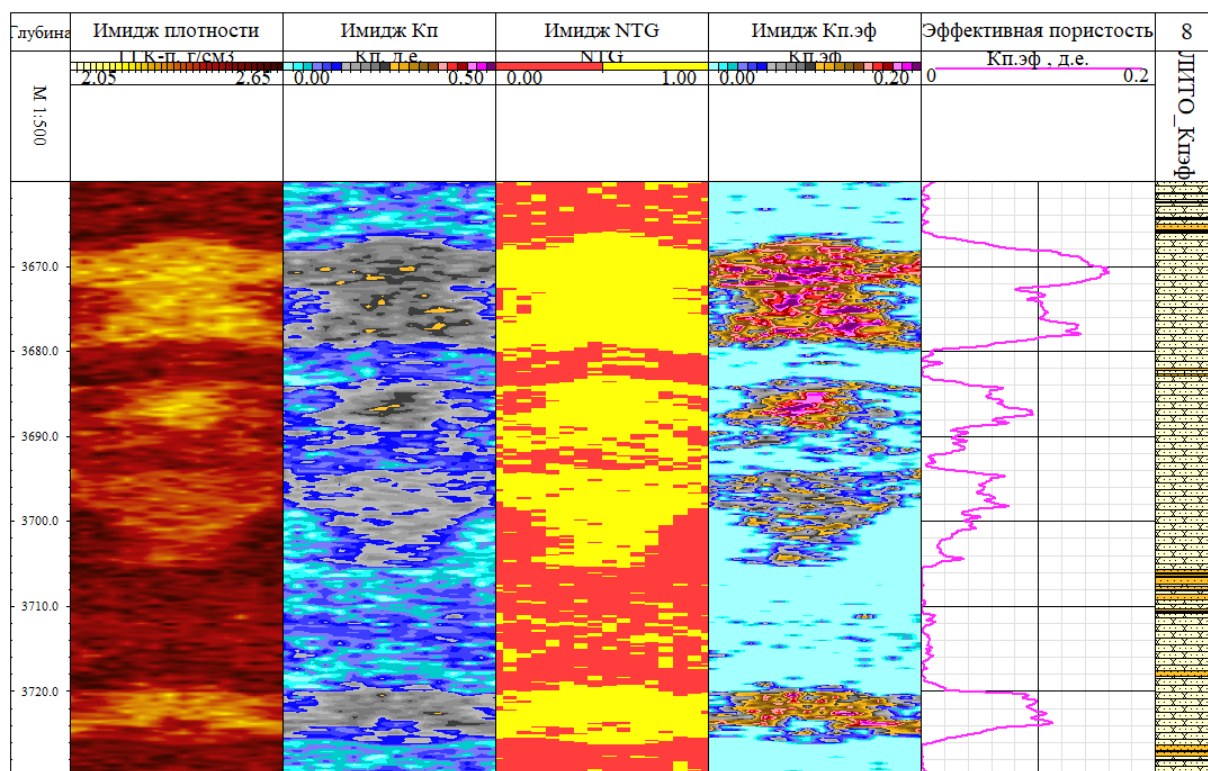


Рисунок 1. Результаты определения Кп эф на участке горизонтальной скважины

## Библиография

1. Байгузина Э.Р., и др. Информационный отчет «Сопровождение постоянно действующей трехмерной геолого-гидродинамической модели \*\*\* месторождения». Тюмень, 2019 г., 212 с.
2. Кожевников Д. А. Изучение коллекторов нефти и газа по результатам адаптивной интерпретации геофизических исследований скважин / Д. А. Кожевников, К. В. Коваленко; Д. А. Кожевников, К. В. Коваленко. – Москва: Изд. центр РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2011. – ISBN 978-5-91961-051-9. – EDN QKKQWP.
3. Кожевников Д.А., Лазуткина Н.Е., Коваленко К.В. Определение эффективной пористости в гранулярном коллекторе по данным ГИС с обоснованием опорных параметров. // Каротажник. – 2016. – № 1(259). – С. 45-54. – EDN VKQGTR
4. Сребродольская М. А. Выделение продуктивных интервалов и оценка их пористости по данным азимутального гамма-гамма плотностного каротажа в горизонтальных скважинах / М. А. Сребродольская // ГеоЕвразия-2021. Геологоразведка в современных реалиях: Труды IV Международной геолого-геофизической конференции и выставки, Москва, 02–04 марта 2021 года / ООО «ГеоЕвразия». Том II. – г. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021. – С. 133-135. – EDN JUKKUL.



***Прогноз нефтегазоперспективности юрских и палеозойских отложений Барсакельмесского прогиба Устюртского региона. Юлдашева М.Г.\* (ГУ «ИГИРНИГМ», yuldasheva@ing.uz), Гафуров Р.Т. (АО «Узбекгеофизика»), Сабуров Н.Б. (филиал «Устюрт геофизика экспедицияси» АО «Узбекгеофизика»), Мамашаринов Ж.О. (ГУ «ИГИРНИГМ»)***

### **Аннотация**

На основе анализа геолого-геофизических данных рассматривается необходимость изучения восточной части Барсакельмесского прогиба (Устюртский регион) с целью поиска месторождений углеводородного сырья. Выполненные поисковые сейсмические и буровые работы свидетельствуют о нефтегазовом потенциале территории, где были получены газопроявления при бурении и испытании поисковых скважин.

### **Ключевые слова**

Барсакельмесский прогиб, юра, палеозой, песчаник, известняки, углеводороды.

### **Теория**

Территория центральной части Устюртского региона, охватывающей восточную часть Барсакельмесского прогиба и зону ее сочленения с Куаныш-Коскалинским валом характеризуется очень неравномерной геолого-геофизической изученностью. На данной территории пока не открыты месторождения углеводородного сырья, однако на ряде площадей были получены прямые признаки наличия газа. В первую очередь, перспективы наращивания запасов углеводородного сырья связываются с юрскими отложениями, регионально перспективных в пределах Устюртского региона [1, 2].

Барсакельмесский прогиб достаточно слабо изучен геолого-геофизическими работами, которые были начаты в середине прошлого века. Опорно-параметрическим и поисковым бурением изучены бортовые и центральная часть прогиба, в результате которого были определены литологические, стратиграфические, фильтрационно-емкостные особенности разреза мезозой-кайнозойских и верхнепалеозойских отложений. Признаки нефтегазоносности были получены в восточной и северной бортовых частях в виде незначительных притоков газа на площадях Тлеукудук и Аторбай, кроме того, на площадях Агыин и Тулей получены притоки минерализованной воды с растворенным газом [3].

В скважине Тлеукудук-1 при вскрытии среднеюрских отложений отмечались газопроявления, которые постепенно увеличивались при дальнейшем углублении. В результате оперативного определения продуктивности среднеюрских песчаных горизонтов получен непромышленный приток газа. В нижнеюрских отложениях, в которых по данным ГИС были выделены песчаные пласты с коэффициентами открытой пористости 10-15% и газонасыщенностью 60-67%, при испытании приток не был получен. В скважине Аторбай-1 при испытании в процессе бурения среднеюрских отложений зафиксированы кратковременные выходы незначительных порций газа.

Целенаправленные работы по изучению и опосредованному поиску палеозойских карбонатных отложений были начаты в прошлом веке в связи с получением

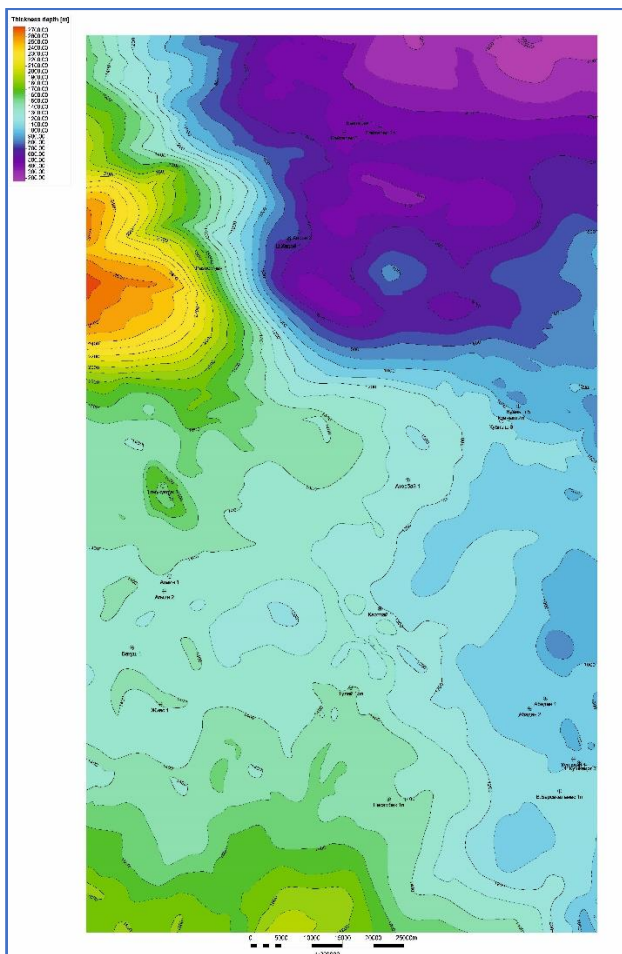
нефтепроявления из кавернозных органогенно-обломочных известняков нижнекаменноугольного возраста на площади Каракудук Куаныш-Коскалинского вала, граничащего с Барсакельмесским прогибом с востока [4]. Впоследствии аналогичные карбонатные образования были вскрыты на площадях Гарбий Барсакелмес, Центральный Кушкаир, Уртатепе, Кубла Чинк, Карачалак, Кокчалак, Уртачалак, из которых на Центральном Кушкаире, Карачалак и Кокчалак получены промышленные притоки газа.

Наличие осадочных отложений морского генезиса отчасти подтверждается литолого-палеогеографическими исследованиями по данным которых территория Северо-Устюртской впадины с ордовика находилась в зоне шельфа до среднего девона, в позднем девоне был перерыв в осадконакоплении, а с раннего карбона здесь опять господствовали морские условия осадконакопления, причем в среднем карбоне здесь наблюдаются две зоны глубоководных впадин: под Актумсукской системой дислокаций и Куаныш-Коскалинским валом, в районе его сочленения с Барсакельмесским прогибом [5].

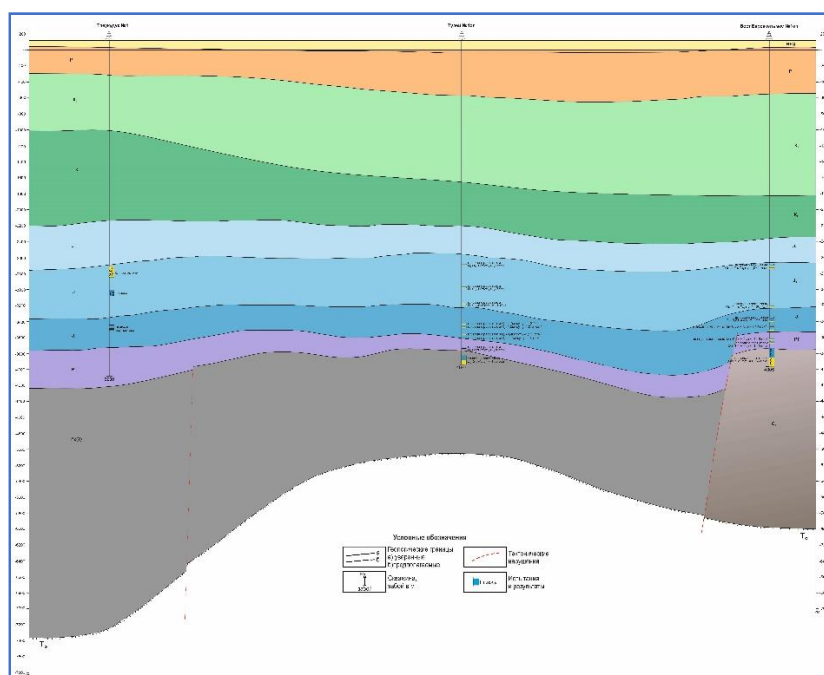
После чего наступает эпоха чередования мелководноморских и континентальных условий осадконакопления с фрагментарными магматическими периодами, которые в разрезе выражены покровными эффузивными образованиями, вскрытыми в скважинах, что обусловило образование ловушек различного типа. Таким образом следует, сделать вывод, что на данной территории прогнозируется наличие как материнских пород, сформировавшихся в морских условиях осадконакопления, так и наличие пород коллекторов карбонатного генезиса, аналогичные породам, вскрытым на месторождениях Кокчалак, Карачалак, для изучения которых необходимо увеличивать глубину исследований.

Пермотриасовые отложения обычно не рассматривались в качестве объекта для поисков в связи с тем, что представлены красноцветными уплотненными континентальными отложениями. Однако, по данным сейсморазведки в этой толще картируются антиклинальные структуры, которые, в случае наличия коллекторов, могли бы аккумулировать углеводороды вследствие вертикальной миграции из нижележащих нефтегазоматеринских свит. Косвенное этому подтверждение получение водорастворенных газов и миграционных битумоидов в скважинах на Актумсукской системе дислокаций.

В начале 2000-х гг. данная территория была выделена под инвестиционные блоки, где проводились геофизические работы, нацеленные на изучение регионально-продуктивных юрских отложений, по материалам которых было уточнены особенности геологического строения территории. Было подтверждено, что в северо-западном и восточном направлениях развивается мощный осадочный чехол, где существенным образом увеличиваются толщины его нижних секций (рисунок 1). Кроме того, в бортовых частях по геофизическим данным отмечаются зоны выклинивания, погребенные эродированные выступы, на склонах которых возможно развитие прислоненных песчаных горизонтов. Анализ геолого-геофизических материалов показал, что наиболее вероятные места их сосредоточения – это гравелито-песчаные клиноформы на бортовых частях прогиба, которые сложены плотными, практически непроницаемыми породами (рисунок 2).



**Рисунок 1.** Карта мощностей юрских отложений восточной части Барсакельмесского прогиба



**Рисунок 2.** Субширотный геологический разрез

## **Выводы**

Таким образом, можно отметить, что перспективы нефтегазоносности в пределах территории Барсакельмесского прогиба по данным бурения существуют, поэтому необходимо проведение сейсморазведочных работ с увеличением глубинности исследований для поиска структур в палеозойском комплексе пород, а также уточнения модели строения ранее опосредованных площадей в юрских отложениях с целью возможного возврата их в глубокое бурение.

## **Библиография**

1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Современное состояние и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ в Устюртском регионе Республики Узбекистан. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Санкт-Петербург. 2019. Т.14. № 1. 26 с. [http://www.ngtp.ru/rub/2019/4\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/4_2019.html).
2. Мухутдинов Н.У., Юлдашева М.Г. Перспективы и основные направления геологоразведочных работ на нефть и газ в Устюртском регионе. // Материалы Республиканской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ Республики Узбекистан» (Акрамходжаевские чтения).- Ташкент, ГУ ИГИРНИГМ, 12 октября 2022 г. С. 5-8.
3. Гафаров Н.А., Гулев В.Л., Карнаухов С.М. и др. Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности Восточного Устюрта. М.: «Издательский дом Недра», 2010. Том I. 261с.
4. Юлдашева М.Г., Эшметова Ш.У. О необходимости проведения геологоразведочных работ с целью поиска нефтегазоперспективных структур в палеозойском комплексе пород Актумсукской системы дислокаций. // Вестник Университета геологических наук. Ташкент, № 1, 2022. С.103-109.
5. Милетенко Н.В., Федоренко О.А. Атлас литолого-палеогеографических, структурных, палинспастических и геоэкологических карт Центральной Азии. //Научно-исследовательский институт природных ресурсов ЮГГЕО. Алматы, 2002.

*Поиск и оконтуривание залежей углеводородов в юрских терригенных отложениях на месторождениях Устюртского региона. Юлдашева М.Г.\* (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан, yuldasheva@ing.uz), Эшметова Ш.У. (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан, shahnoza\_esh96@mail.ru), Фозилов Р.А. (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент, Узбекистан)*

## **Аннотация**

Результаты разведки месторождений Устюртского региона показали, что они имеют сложное многопластовое строение, которое влияет на результаты поискового и разведочного этапа, когда по каждому продуктивному горизонту месторождение имеет свой структурный план, различие в коллекторских свойствах песчаных тел, их конфигурации, что нередко приводит к различным результатам при опробовании. Одним из путей решения данной проблемы является моделирование строения месторождений с применением атрибутивного анализа для оптимального размещения глубоких скважин с целью получения прироста запасов газа и конденсата.

## **Ключевые слова**

Месторождение, нижняя юра, песчаники, залежь, газ, аномалия.

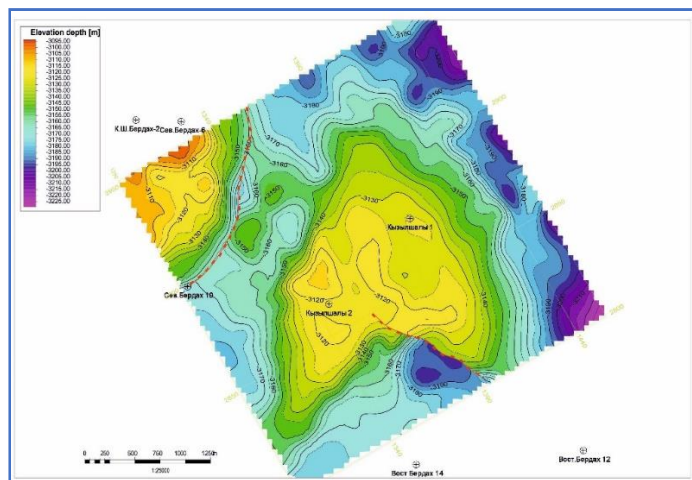
## **Теория**

В пределах высокоперспективной Бердахской зоны газонакопления, приуроченной к центральной части Устюртского региона, открыт ряд месторождений, залежи в которых приурочены к юрским отложениям. Особенности формирования юрских отложений обусловило фациальное разнообразие пород, которое влияет на результаты разведки месторождений, когда в юрском разрезе наблюдается повсеместное выклинивание песчаных тел, фациальные замещения и линзовидное строение [1, 2].

Одним из таких месторождений является площадь Кызыл-Шалы, где при испытании первой скважины, был получен приток газа из среднеюрских терригенных отложений, а в нижнеюрских отложениях были получены признаки газоносности (повышенные газопоказания, слабые притоки газа с конденсатом, наличие битумоидов в породе). Во второй поисковой скважине промышленные притоки газа в среднеюрских отложениях не были получены, что связано с выклиниванием песчаных пластов и замещением их на глинистые разности.

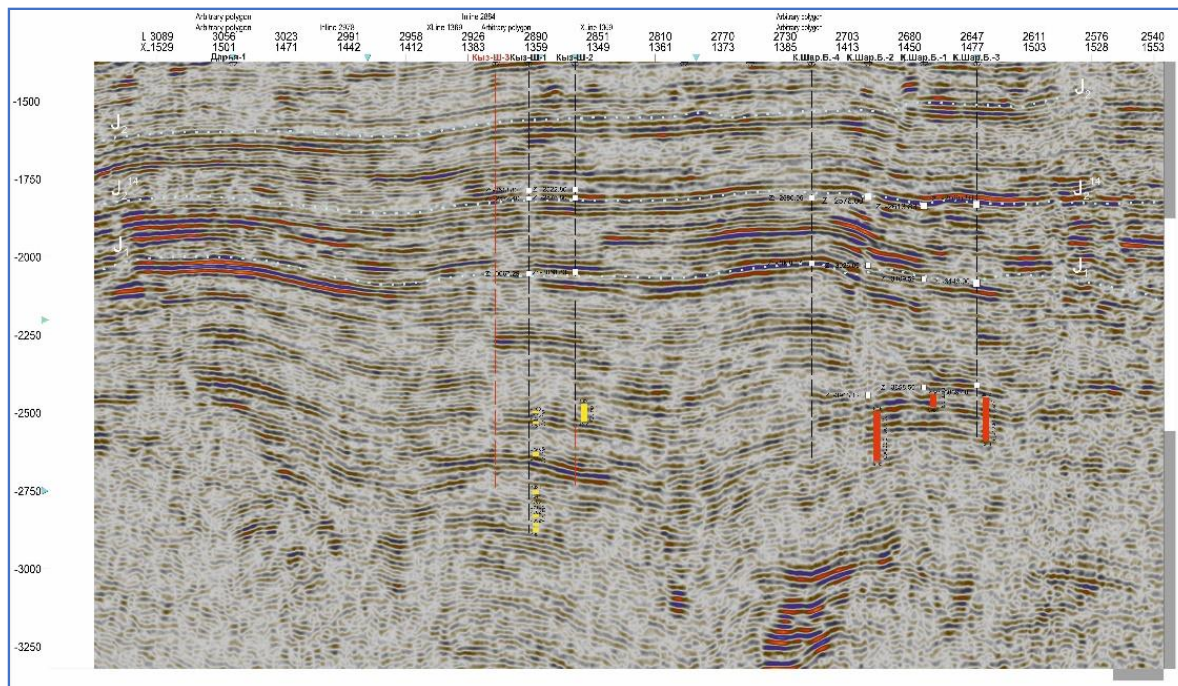
На близрасположенных месторождениях промышленные притоки газа были получены из песчаных пластов нижнеюрского возраста вплоть до глубин 4300-4500 м, что свидетельствует об их региональной продуктивности, в том числе, на месторождении Кызылшалы. Для этого была создана структурная модель месторождения по кровельной части нижнеюрских отложений, а также выполнен атрибутивный анализ с целью выделения аномальных зон, перспективных на обнаружение залежей.

По кровле нижней юры структура представляет собой изометричную складку, осложненную тектоническим нарушением на юге, северо-западного простирания (рисунок 1). При этом первая поисковая скважина пробурена в пределах западной части структуры, а вторая скважина находится в юго-западной части.



**Рисунок 1.** Структурная карта по отражающему горизонту, приуроченному к кровле нижнеюрских отложений.

Анализ волновой картины горизонтов, вскрытых на соседнем месторождении Куй Шаркий Бердах показал, что продуктивный горизонт с высокими дебитами вскрыт на глубине 4200-4300 м ( $t_0=2550-2600$  мс). Аналогичный пласт на месторождении Кызылшала ориентировочно залегает на глубине 4350-4600 м ( $t_0=2650-2750$  мс), что было косвенно подтверждено при бурении скважины № 1, где были получены газопоказания до 20% (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Временной разрез МОГТ-3Д

В интервале глубин 4430-4590 коллектора представлены средне- и крупнозернистыми песчаниками, нередко переходящими в гравелиты, покрышки – алевролитами и плотными черными битуминозными, обогащенными органическим веществом, практически непроницаемыми аргиллитами, которые могут являться породами с нефтегазопроизводящими свойствами, учитывая достаточно большую мощность отложений нижней юры. С глубины 4800 м в шламе выделен хлороформенный экстракт желтого цвета, что свидетельствует о наличии битумоидов. Таким образом, можно констатировать, что не только углистые пропластки дают повышенные газопоказания, а возможно близость наличия залежи УВ, о чем свидетельствуют слабые притоки газа [3].

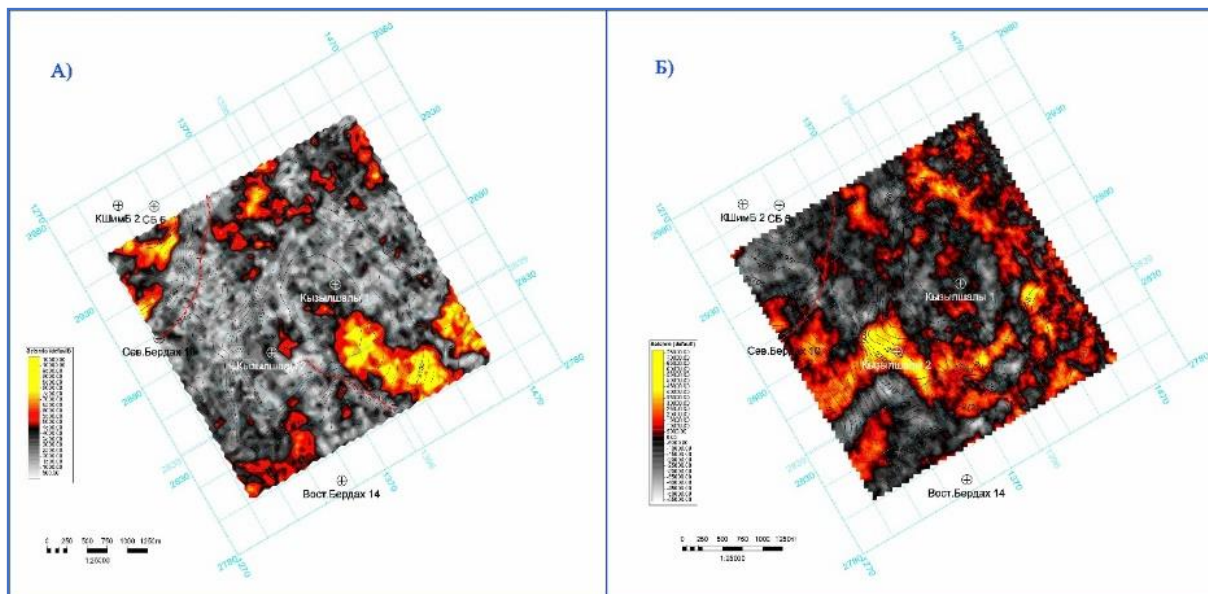
Для определения аномальных зон, связанных с развитием коллекторов и их углеводородным насыщением был выполнен атрибутный анализ, который подразумевает конкретные измерения геометрических, кинематических и динамических характеристик волнового поля, так и различных статистических оценок, полученных с помощью сейсмических данных, то есть некоторых производных от сейсмических данных.

В настоящее время этот вид анализа широко применяется при поиске и разведке месторождений нефти и газа для получения дополнительной информации о структуре, особенностях расчленения разреза, коллекторских свойствах и зонах трещиноватости пород. Атрибуты являются хорошими индикаторами изменения осадконакопления и структурных особенностей, когда на качественном уровне выделяются различные аномалии записи, такие как яркие и плоские пятна, возможные зоны тектонических нарушений (по атрибутам когерентности) и многое другое [4]. Атрибутный анализ по отраженным волнам особенно эффективен при локализации залежей газа в терригенных породах, при детальных работах на месторождениях углеводородов, а также при решении задач разведки выявленных месторождений и залежей углеводородов.

Атрибутный анализ был выполнен по стратиграфическим срезам по горизонтам, приуроченным к кровле нижней юры и в нижнеюрских отложениях на глубине 4350-4590 м, интервала максимальных газопоказаний и полученных непромышленных притоков газа и конденсата. По кровле нижней юры атрибуты максимальных и среднеквадратичных амплитуд по большей части повторяют друг друга, увеличение значений наблюдается в юго-западном направлении, там же наблюдаются максимальные значения атрибута Sweetness (рисунок 3).

По поверхности, приуроченной к глубине минус 4350 м, т.е. где были получены признаки газоносности, идентифицируемыми с потенциально продуктивным горизонтом в нижнеюрских отложениях, максимальные значения атрибутов, то есть «яркие пятна» локализуются в районе второй скважины, которая не вскрыла данный горизонт и по бортам структуры (рисунок 3).

Таким образом, учитывая структурный фактор, свидетельствующий о наличии наиболее приподнятой части площади в южном направлении, а также выделенных аномальных зон, связанных с наличием мощных песчаных пластов песчаников, заполненных углеводородами, прогнозируется возможность обнаружения залежей газа и необходимость их опосредованного глубокого бурением. Наличие тектонического нарушения является лишь дополнительным положительным фактором как для улучшения коллекторских свойств, так и канала миграции углеводородов из глубинных горизонтов.



**Рисунок 3.** Карта атрибута Sweetness по горизонтам, приуроченным к глубинам залегания нижнеюрских отложений минус 3100 м (А) и минус 4350 м (Б)

## Выводы

При опосковании и разведке месторождений, приуроченных к фациально изменчивым юрским отложениям, в центральной части Устьуртского региона, для оптимального размещения скважин и разработки эффективных направлений поисково-разведочных работ необходим современный анализ геолого-геофизических данных, который показывает изменение литологических, структурных, емкостно-фильтрационных и других особенностей строения территории, в том числе прогнозирование флюидонасыщения, что ведет к повышению надежности геологического прогноза и снижению степени риска при поисковом и разведочном бурении.

## Библиография

1. Стариков Н.Н. Сейсмогеологические модели резервуаров продуктивных отложений Песцового месторождения. // Вестник ИРГТУ. 2013. №4 (75). С.76-79.
2. Yuldasheva M. Lithologic-and-facies and structural conditions of the North Ustyurt depression for the formation of non-anticlinal hydrocarbon trap development areas. // International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences. ISSN: 2277-2081. Online International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jgee.htm> 2022 Vol. 12. - PP. 256-259.
3. Мухутдинов Н.У., Юлдашева М.Г., Акрамова Н.М., Ахмеджанова Л.С. Оценка перспектив нефтегазоносности нижнеюрских отложений центральной части Устьуртского региона по геолого-геохимическим данным. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Санкт-Петербург. 2019. Т.14. № 1. [http://www.ngtp.ru/rub/2019/8\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/8_2019.html).
4. Корчагин О.А. Об атрибутом анализе в сейсморазведке. Атрибуты отраженных и рассеянных волн. // Oil and Gas Journal. August, 2015.



*Геологическое изучение юрских отложений на основе комплексирования современных геофизических методов и данных глубокого бурения (Гыданская НГО). Котунов Д.А. (ООО «Газпромнефть-Заполярье», г. Тюмень, Российская Федерация, ИПНГ РАН, г. Москва, Российская Федерация)*

**Аннотация**

Состояние ресурсной базы углеводородного сырья северной части Западно-Сибирской нефтегазонасыщенной провинции имеет тенденцию к постепенному истощению разведанных запасов нефти, газа и конденсата. Одновременно с этим возрастает необходимость дозагрузки и рационального использования объектов сформированной инфраструктуры нефтегазодобычи, подготовки и транспортировки углеводородов. Текущие планы недропользователей, осуществляющих разведку и эксплуатацию месторождений на Гыданском п-ве, помимо доразведки и эксплуатации традиционного для региона Сенманского и Ачимовского комплексов, направлены на геологическое изучение и разведку ресурсов углеводородов в юрском и палеозойском этажах нефтегазонасыщенности. Нарращивание ресурсной базы в данном регионе, в том числе за счет геологического изучения юрских и палеозойских отложений, позволит сформировать оптимальную концепцию загрузки сформированной инфраструктуры и обеспечить длительную рациональную эксплуатацию месторождений в Надым-Пур-Тазовском регионе.

**Ключевые слова**

Юрские отложения, доюрский комплекс, палеозойские отложения, фундамент ЗСП, Гыданская НГО, Мессояхская гряда, глубокое поисковое бурение.

С целью дальнейших исследований планируется рассмотреть геологическое строение и выполнить оценку перспектив нефтегазонасыщенности средне-нижнеюрских и палеозойских отложений в пределах Гыданской НГО, что в дальнейшем позволит увеличить ресурсную базу, длительность и эффективность эксплуатации Мессояхской группы месторождений в ЯНАО.

Впервые для территории Гыданской НГО планируется целенаправленная сфокусированная на юрском и палеозойском интервале нефтегазонасыщенности интерпретация современных геофизических методов, применение современных технологий выделения перспективных геологических объектов, включающих хроматическую обработку, АВА-инверсию, седиментологический анализ керн, сейсмофациальный анализ.

Выполнение исследования обусловлено практической необходимостью увеличения потенциала ресурсной базы месторождений Гыданской НГО и формирования дополнительного добычного потенциала месторождений со сформированной инфраструктурой для организации оптимальной конфигурации (лишнее) загрузки сформированной нефтегазодобывающей инфраструктуры. Выполнение качественного прогнозирования концептуальной геологической модели, оценки ресурсной базы нефти, газа и конденсата позволит сформировать обоснование

постановки геологоразведочных работ, направленных на решение практических целей формирования планов нефтегазодобычи в регионе (рис.1).

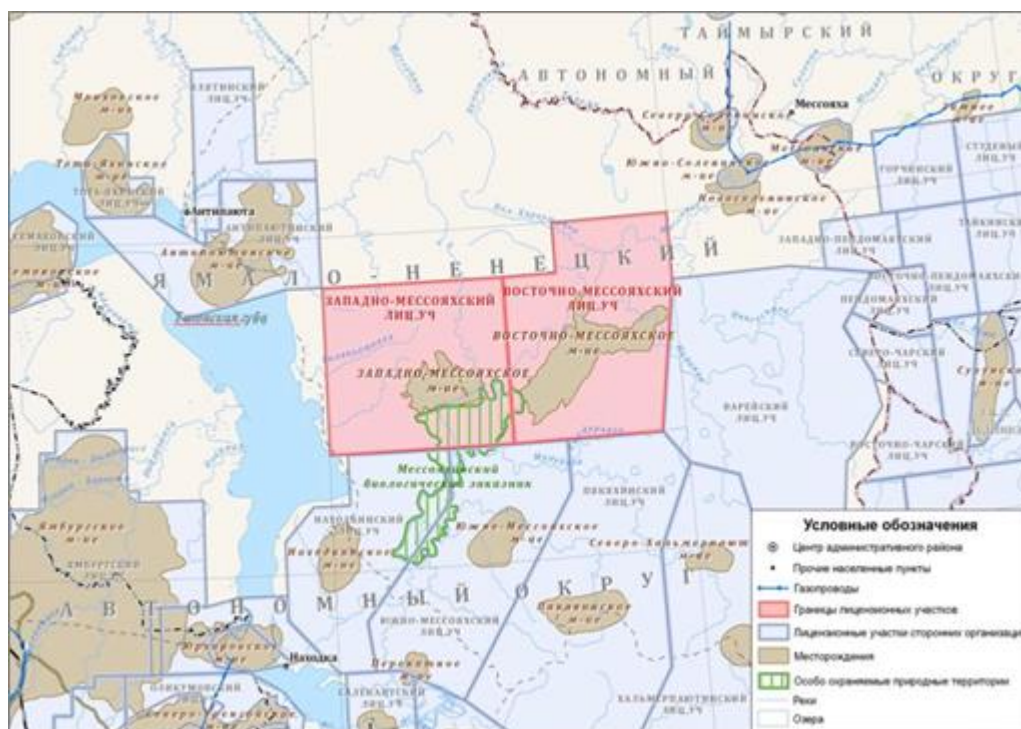


Рисунок 1. Обзорная карта района исследований.

## История геологического изучения района исследования

Для целей исследования собрана вся информация о геолого-геофизической изученности региона исследования. Составлены схемы изученностей территории гравии, магнито и электроразведкой, сейсморазведкой, бурением и ГИС.

Нефтегазопоисковые работы на территории работ начаты в 1956 году с проведения мелкомасштабной гравиметрической съемки масштаба 1:1 000 000. В дальнейшем вся площадь участка была покрыта гравиметрической съемкой масштабов 1:200 000 аэромагнитной съемкой масштабов 1:200 000 и 1:50 000, электроразведочной съемкой масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000, сейсморазведочными работами масштабов 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, геологической съемкой масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000. Изученность сейсморазведочными работами представлена двумя методами, в разные годы было отработано сейсмопартиями МОВ, МОГТ и МОГТ 3Д. Профили МОГТ 2Д плотно покрывают практически всю исследуемую территорию.

## История изучения юрских отложений территории исследования глубоким бурением

В 1975-1982 гг. было пробурено три поисковых скважины. Первая поисковая скважина No 1 глубиной 2550 м была забурена в 1975 г. в седловине между локальными поднятиями и вскрыла нижневаланжинские отложения. Результаты ее бурения не подтвердили перспектив на обнаружение простого по строению крупного газоконденсатного месторождения. Все пласты оказались водоносными. Скважина 2, вскрывшая ниже-среднеюрские отложения, была начата бурением в 1977 г. Результаты ее бурения подтвердили предполагаемое ранее выпадение из разреза

сводовой части Среднемессояхского вала отложений верхней и частично средней юры. В ее разрезе также не было выявлено залежей углеводородов. Скважина 4, пробуренная на западном (Западно- Мессояхском) куполе, привела к открытию низкодебитной газовой залежи в кровельной части сеноманских отложений. В нижележащих отложениях, включая среднеюрские, промышленных притоков не было получено.

В начале 80-х гг. по результатам работ МОГТ начался второй этап глубокого бурения на Западно- и Восточно-Мессояхском поднятиях, осложняющих свод Среднемессояхского вала. Бурение осуществлялось, исходя из двух направлений – поиска структурных и литологических ловушек.

С целью поисков литологически экранированных залежей УВ было разбурено два ортогонально-ориентированных друг относительно друга профиля скважин: вкрест южного склона Мессояхской гряды (скв. 2, 9, 7, 8) и вдоль ее подножия (скв. 8, 16, 69). В результате этих работ был сделан вывод об отсутствии оптимальных ФЭС коллекторов в нижней части разреза неокомской шельфовой формации. Наряду с этим, в подножии Мессояхской гряды при испытании скважины 16 из пласта БУ22 получен незначительный приток нефти из алеврито-песчаной линзы, контролируемой локальным сигмовидным ОГ Н410. Низкая эффективность поиска литологически экранированных залежей УВ на южном склоне Среднемессояхского вала и его подножии стимулировала "сводовое" направление поисково-разведочных работ. С 1989 г. продолжилось изучение глубоким бурением Восточно-Мессояхского поднятия и в его своде бурением скважины No 35 было открыто многопластовое месторождение одноименного названия. Продуктивными оказались толщи вскрытого неокомского разреза и сеноманские отложения. Однако, ввиду интенсивного проявления дизъюнктивной тектоники, невысокой плотности сейсмических наблюдений и их низкого качества в дизъюнктивных зонах, бурение не подтвердило кондиции Восточно-Мессояхской антиклинали, как подготовленной к разведочному бурению. Из пяти пробуренных на сеноман скважин лишь одна оказалась в контуре залежи. Из 7 неокомских скважин 3 не закончены строительством в связи с отсутствием финансирования (скв. No 36, 47, 49), в одной скважине - No 35 продуктивными оказались лишь отложения в кровле сеноманских отложений, еще три скважины выявили 14 залежей углеводородов. Поисковая скважина 51 в пределах Маломессояхского локального поднятия при проходке ориентировочно пластов БУ18-20 была «заморожена» вследствие аварийного разгазирования бурового раствора.

В 1989-1991 гг. на территории Среднемессояхского мезовала сейсморазведочные работы велись 8 сейсмопартиями. Обоснованием постановки работ были высокие, доказанные бурением, перспективы нефтегазоносности мелового разреза и невысокая эффективность прироста запасов УВ по промышленным категориям.

Всего на Среднемессояхском вале согласно «Геологическим проектам» до 2005 г. было пробурено 29 скважин, из них четырнадцать (2, 10, 11, 12, 14, 18, 33, 35, 36, 38, 41, 47, 49, 51) – на Восточно-Мессояхской площади, десять (1, 4, 5, 6, 20, 21, 24, 25, 26, 31) – на Западно-Мессояхской площади, пять (7, 8, 9, 16, 69) – на Среднемессояхской площади. С 2001 г. начинается новый этап геологоразведки на Восточно-Мессояхском месторождении. С этого момента на Восточно-Мессояхском участке проводятся сейсморазведочные работы 3Д, все отработано 4 «куба» суммарной площадью 1120 км<sup>2</sup>. По программам ГРП на месторождении возобновляется бурение поисковых и разведочных скважин. В 2014 г. закончены бурением 14 скважин по Западно- и Восточно-Мессояхскому месторождениям, из них 1 разведочная скважина (202) по

Западно-Мессояхскому месторождению, 2 разведочных скважины (112, 123) и 1 поисково-оценочная (108) по Восточно-Мессояхскому месторождению, а также эксплуатационные скважины куста 1 и 2 Восточно-Мессояхского месторождения: 4 пилотных ствола (12PL, 14PL, 32PL, 34PL) и 6 горизонтальных скважин (12, 14, 17, 32, 34, 36).

Непосредственно на Западно-Мессояхском лицензионном участке пробурено 25 скважин, из них 10 скважин (29ПО, 29ПО, 4П, 16ПО, 32ПО, 66ПО, 67ПО, 201ПО, 203ПО, 223ПО) пробурены на глубину 2700-4000 м и вскрыли юрские отложения. Семь скважин (28, 22ПО, 1П, 5П, 37ПО, 205Р, 22ПО) средней глубиной 2500 метров вскрыли суходудинскую свиту нижнего мела. Восемь скважин (6Р, 20Р, 21П, 24Р, 25Р, 26Р, 31Р, 202Р) вскрывают альб-сеноманские отложения покурской свиты.

Всего на двух лицензионных участках по состоянию на 01.01.2023 пробурено 85 поисково-разведочных скважин.

## **Вывод**

Обобщение материала формирует представление о высоком потенциале исследования юрских отложений в пределах юга Гаданского полуострова (Гаданская НГО). Основные перспективы связаны с возможностью развития потенциала ресурсной базы в направлении газовых и газоконденсатных скоплений.

## **Библиография**

1. Воловникова И.Г., Курышева Н.К., Атаян А.А. и др. Отчет по теме «Обработка и переобработка и комплексная интерпретация геолого-геофизических данных сейморазведочных работ МОГТ 3D в границах Восточно-Мессояхского и Западно-Мессояхского лицензионных участков в 2019 - 2022 гг.», ООО «Геопрайм», Тюмень, 2022.
2. Захарова О.А. Оценка приарктической зоны северо-востока Западной Сибири как стратегического резерва развития ресурсной базы ОАО «Газпром нефть», 2012.
3. Конторович А.Э. Тектоническая карта юрского структурного яруса Западно- Сибирской нефтегазоносной провинции. Институт геологии нефти и газа СО РАН – Новосибирск, 2001.
4. Мария С.Ж. Создание флюидодинамической модели нефтегазообразования в пределах Западно Мессояхского и Восточно-Мессояхского лицензионных участков, ООО «Компания БейсипФранлаб», 2014.
6. Переобработка и комплексная интерпретация геолого-геофизических данных сейморазведочных работ 3D на Восточно-Мессояхском и Западно-Мессояхском лицензионных участках с целью уточнения сейсмогеологических моделей залежей УВ и перспективных объектов, отчет АО «ЦГЭ», Москва, 2018.
8. Подсчет геологических запасов нефти, газа и конденсата, технико-экономическое обоснование КИН и КИК Западно-Мессояхского месторождения ПЗ ЗМЛУ, отчет ООО «Газпромнефть НТЦ», Тюмень, 2012.
9. Подсчет и пересчет геологических запасов нефти, газа и конденсата Восточно-Мессояхского и Западно-Мессояхского месторождений (Восточно-Мессояхское месторождение), отчет АО «ЦГЭ», отв. исп. Юканова Е.А., Москва, 2019 (протокол ГКЗ Роснедра No 6200 от.20.12.2019 г.).
10. Решетников Д.А. Литолого-фациальный анализ по основным резервуарам юры и мела в пределах Восточно-Мессояхского и Западно-Мессояхского лицензионных участков, ООО «Газпромнефть НТЦ», 2014.

***Геологическое строение и проект поисков залежей углеводородов в пределах  
Ровенского участка недр Саратовской области  
Калбак Д. Д. \* (МГРИ, [Kalbak2001@mail.ru](mailto:Kalbak2001@mail.ru))***

**Аннотация**

Цель работы заключается в изучении геологического строения и построения геологической модели продуктивного горизонта по подготовленной ловушке, проведении вероятностным методом оценки ресурсов углеводородов.

**Ключевые слова**

Ровенский участок недр, моделирование, оценка ресурсов вероятностным методом, нефть.

**Теория**

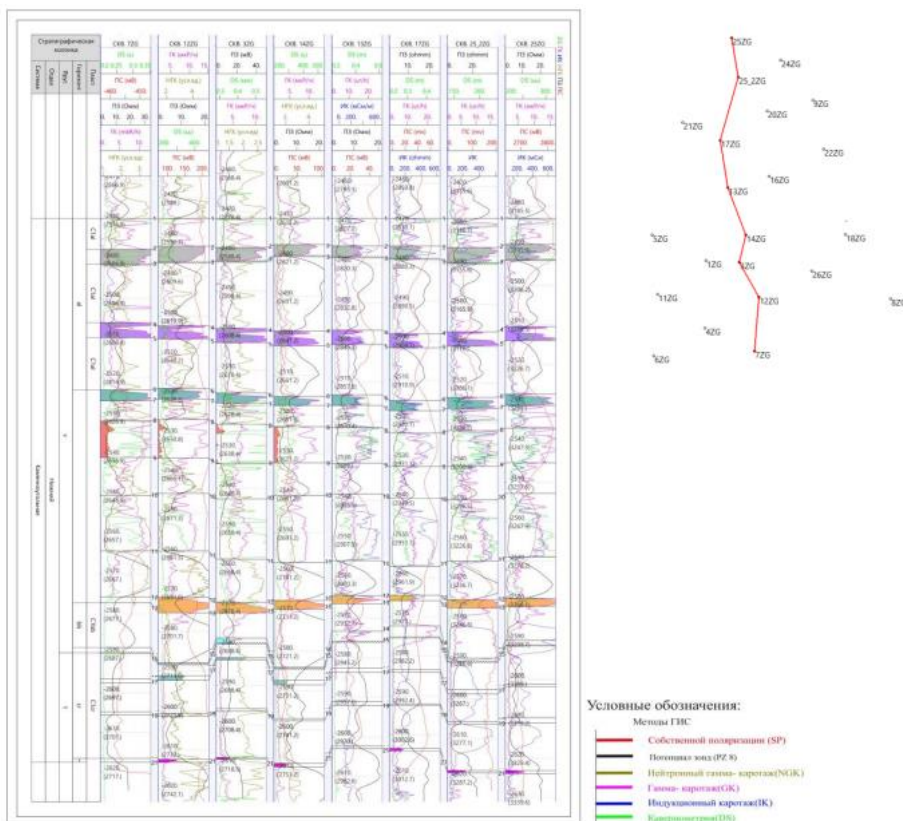
В административном отношении изучаемая территория находится на территории Ровенского и Энгельсского районов Саратовской области. В 2015 году были произведена переобработка и переинтерпретация материалов прошлых лет в объеме 220 пог. км МОГТ-2D (на площади Восточного поднятия Гурьяновского месторождения) и 40 км<sup>2</sup> МОГТ-3D (на площади Западного поднятия Гурьяновского месторождения). В тектоническом отношении исследуемая территория месторождение располагается в пределах восточной части Волжского прогиба, приуроченного к Бортовой зоне Прикаспийской впадины. На севере участок граничит со Степновским сложным валом, на западе с Каменско-Золотовской приподнятой зоной. [1].

В пределах Ровенского участка недр пробурено несколько десятков скважин на разные уровни осадочной толщи. Моделируемый участок в пределах Ровенского лицензионного участка (Западно-Гурьяновское месторождение) имеет 22 скважины, в том числе 2 поисково-оценочных, 6 разведочных и 14 эксплуатационных. На Западном поднятии Гурьяновского месторождения с отбором керна всего пробурено 14 скважин.

Объектом изучения выбрана перспективная область в пределах бобриковского горизонта, занимающая южную часть территории. Прогнозируемая залежь предположительно тектонически экранированная.

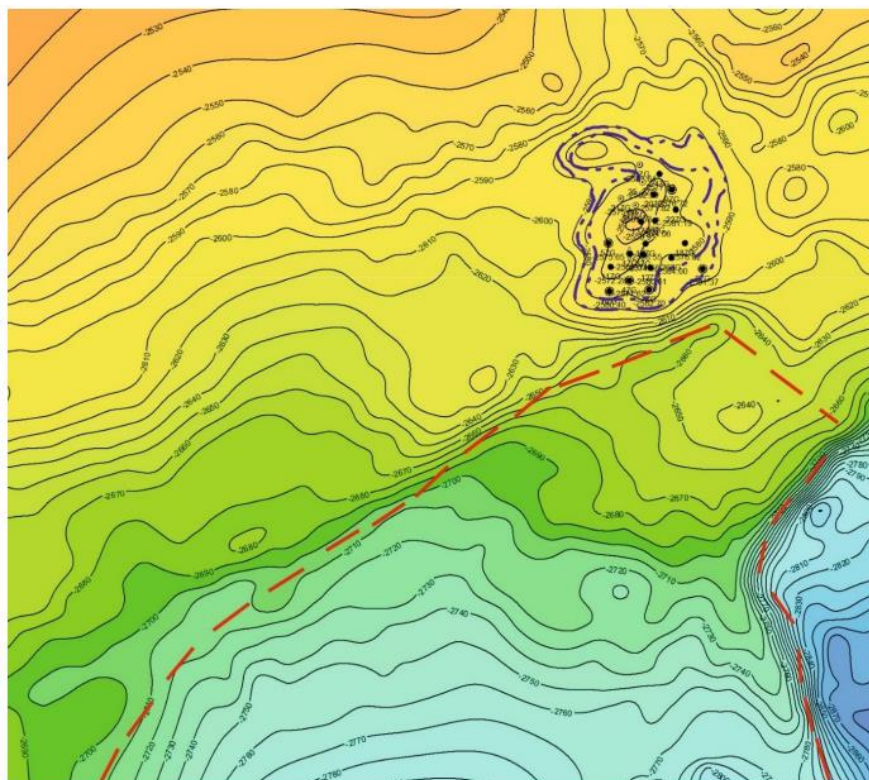
Бобриковский терригенный горизонт на изучаемой территории имеет площадное распространение, присутствует в разрезах всех скважин изучаемой территории. Покрышками для бобриковской залежи являются глинисто-карбонатные пласты тульского горизонта.

На основе данных ГИС во всех 22 скважинах была выполнена корреляция разрезов скважин продуктивного пласта. Это стало основой для построения поверхностей по кровле и подошве пласта. [2].



**Рисунок 12.** Схема детальной корреляции Западно-Гурьяновского месторождения по линии 25ZG, 25\_2ZG, 17ZG, 13ZG, 14ZG, 3ZG, 12ZG, 7ZG

Структурная карта по кровле коллектора бобриковского пласта представлена на рис. 2.



**Рисунок 13.** Структурная карта по кровле коллектора пласта A0

Поисковые работы будут проводиться южнее Западно-Гурьяновского месторождения, где на пониженной ступени прибортовой моноклинали выделяется антиклинальная структура. Анализируя сейсмические данные и построенные структурные карты, можно утверждать, что предполагаемый тип ловушки-тектонически экранированная. Оценка ресурсов углеводородов по подготовленной ловушке Ровенского лицензионного участка выполнена вероятностным методом, что позволяет провести анализ неопределенности. [3].

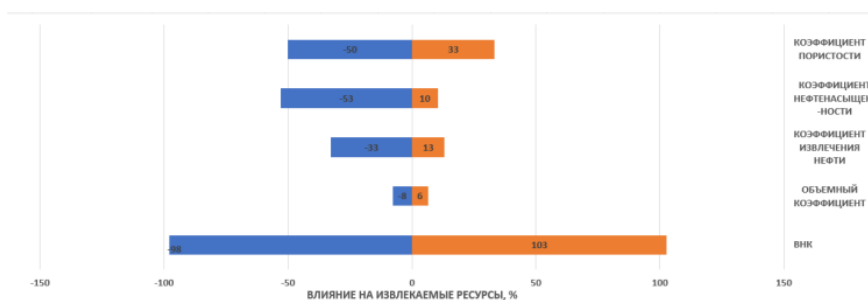
При вероятностном подходе каждый параметр, участвующий в формуле подсчета запасов, рассматривается как случайная величина, а значение запасов – как функция этих случайных параметров. Основное отличие вероятностной модели от детерминированной состоит в том, что при детерминированном подходе получают единственную ("точечную") оценку запасов, а при вероятностном – диапазон (интервал) возможных значений запасов объекта. Ширина диапазона характеризует неопределенность оценки запасов и зависит от неопределенности каждого из исходных подсчетных параметров. Результаты вероятностной оценки представляются в виде частоты распределения прогнозных запасов. Значения вероятностных запасов, соответствующие определенным вероятностям, могут быть использованы в качестве минимальных, средних, максимальных величин запасов для расчетов. Исходя из этого:

1. P10-для максимальной оценки ресурсов;
2. P50- для средней оценки ресурсов;
3. P90- для минимальной оценки ресурсов.

**Таблица 1.**

Сводная таблица подсчетных параметров и ресурсов нефти и растворенного газа бобриковскому горизонту.

Горизонт	Категория ресурсов	Зона насыщения	Площадь нефтеносности, тыс. м <sup>2</sup>	Средняя нефтенасыщенная толщина, м	Объем нефтенасыщенных поров, тыс. м <sup>3</sup>	Коэффициенты, доли ед.			Плотность нефти, г/см <sup>3</sup>	Начальные геологические ресурсы нефти, тыс. т	Коэффициент извлечения нефти, доли ед.	Начальные извлекаемые ресурсы нефти, тыс. т	Газосодержание, м <sup>3</sup> /т	Начальные ресурсы растворенного газа, млн м <sup>3</sup>	
						открытой пористости	нефтенасыщенности	пересчетный						геологические	извлекаемые
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Базовый сценарий</b>															
Бобриковский	D0	H+ВН	9350	8	75222	0,11	0,88	0,709	0,838	4991	0,52	2575	85,6	427	220
<b>P10</b>															
Бобриковский	D0	H+ВН	3204	6,2	19748	0,09	0,71	0,706	0,838	891	0,46	410	85,6	76	35
<b>P50</b>															
Бобриковский	D0	H+ВН	9238	8,0	74008	0,12	0,90	0,706	0,838	5637	0,52	2931	85,6	483	251
<b>P90</b>															
Бобриковский	D0	H+ВН	12559	9,0	112585	0,13	0,91	0,738	0,838	9829	0,57	5603	85,6	841	480



**Рисунок 14.** График анализа чувствительности по вероятностным параметрам

График отображает хорошо организованный обзор результатов анализа чувствительности. Он позволяет сравнить чувствительность каждого параметра в анализе. Наиболее влиятельный параметр- геометрический объем, который зависит от уровня ВНК, далее идут коэффициенты пористости и нефтенасыщенности, а параметры нефти практически не влияют.

## **Выводы**

1. В работе проведен анализ результатов геолого-геофизических, промысловых и сейсморазведочных работ в пределах Западно- Гурьяновского месторождения. Используя данные построена, объективная 2D и 3D модель продуктивного пласта C1bb. Построенная модель отражает условия залегания и геолого-геофизические свойства;
2. Был выделен наиболее перспективный объект, расположенный в южной части моделируемой территории, в пределах которого и предполагается заложить поисково- оценочную скважину- с целью детального изучения геологического строения и проектирования поисковых работ на УВ. Оценка ресурсов проведена вероятностным методом, что позволяет провести анализ влияния неопределенности. Оценка ресурсов нефти и растворенного газа бобриковского горизонта подготовленной ловушки проведена в соответствии с действующей классификацией;
3. Для ресурсов P10 итоговая величина начальных геологических ресурсов нефти составляет 891 тыс.т., а растворенного газа 76 млн. м3; величина извлекаемых ресурсов составляет 410тыс.т и 35 млн. м3 соответственно. Для ресурсов P50 итоговая величина начальных геологических ресурсов нефти составляет 5637 тыс.т., а растворенного газа 483 млн. м3; величина извлекаемых ресурсов составляет 2931тыс.т и 251 млн. м3 соответственно. Для ресурсов P90 итоговая величина начальных геологических ресурсов нефти составляет 9829 тыс.т., а растворенного газа 841 млн. м3; величина извлекаемых ресурсов составляет 5603тыс.т и 480 млн. м3 соответственно. [4].

## **Библиография**

- 1) Абрамов В. М., Ковешникова С. И., Провоторова С.Е, Одолеев В.О. Отчет по теме: Проведение детализационных сейсморазведочных работ МОГТ-2Д в северной части Ровенского лицензионного участка с целью изучения строения внутрипалеозойских отложений, ОАО «Волгограднефтегеофизика». Волгоград 2010 г.
- 2) Гутман И.С., Саакян М.И. Методы подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и газа: учебник для вузов. – М.: ООО «Издательский дом Недр», 2017. – 366 с.
- 3) Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов (Приказ Минприроды России от 01.11.2013 г. №477).
- 4) Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов (Распоряжение Минприроды России от 01.02.2016 г. №3-р).



**Геологическое моделирование и подсчет запасов нефти залежи пласта Б<sub>0</sub>  
Никольско-Спиридоновского месторождения  
Калбак Д. Д. \* (МГРИ, [Kalbak2001@mail.ru](mailto:Kalbak2001@mail.ru))**

### **Аннотация**

Цель работы заключается в изучении геологического строения на основе 2D моделирования и пересчете запасов нефти залежи пласта Б<sub>0</sub> Никольско-Спиридоновского месторождения. С помощью ПО «Autocorr» построена геологическая модель и был произведен пересчет запасов нефтяного пласта Б<sub>0</sub> Никольско-Спиридоновского месторождения.

### **Ключевые слова**

Никольско-Спиридоновское месторождение, моделирование, подсчет запасов, нефть.

### **Теория**

В административном отношении Никольско-Спиридоновское месторождение расположено в пределах Волжского и Кинельского районов Самарской области в 35 км к юго-востоку от областного центра г. Самары. Рассматриваемый объект расположен в пределах западного борта Бузулукской впадины и приурочено к крупному тектоническому элементу Заволжья – Кулешовской системе валов и характеризуется постепенным увеличением толщины палеозойских отложений по мере погружения поверхности кристаллического фундамента в сторону Прикаспийской впадины и Предуральского прогиба. Пласт Б<sub>0</sub> представлен песчаниками, залегающими в верхней части тульского горизонта визейского яруса нижнего карбона в виде прослоя. Пласт перекрыт карбонатно-глинистой пачкой, подстилается глинами.

Продуктивный пласт Б<sub>0</sub> вскрыт 5-ю скважинами. Из них три разведочные (скв. 131,133,134), и две эксплуатационные (скв. 136,140). Залежь пластовая, сводовая. Условные подсчетные уровни (УПУ)- этот прием используется, когда ВНК не вскрыт бурением. [4] За УПУ принимают отметку либо нижнего отверстия перфорации (НОП), либо последнего нефтенасыщенного коллектора, находящегося в скважине №134. Как результат, занижаются запасы и возрастает необеспеченность добычи запасами. В продуктивном пласте (Б<sub>0</sub>) УПУ находится на уровне -2011.4 м. Этот уровень был взят на основании геофизических данных в скважине 134, именно на этом уровне прослеживается нижняя нефть. Эффективные нефтенасыщенные толщины изменяются по скважинам от 2,6 м до 9 м. Коэффициент песчаности (доли коллекторов) равен 0,17. В эксплуатацию месторождение введено в 1981 году. На основе данных ГИС была выполнена корреляция разреза скважин пласта Б<sub>0</sub>. В результате детальной корреляции было получено две стратиграфических границы: кровля и подошва продуктивного пласта Б<sub>0</sub>. Исследуемый пласт присутствует во всех участвовавших в корреляции скважинах. (рис. 1).

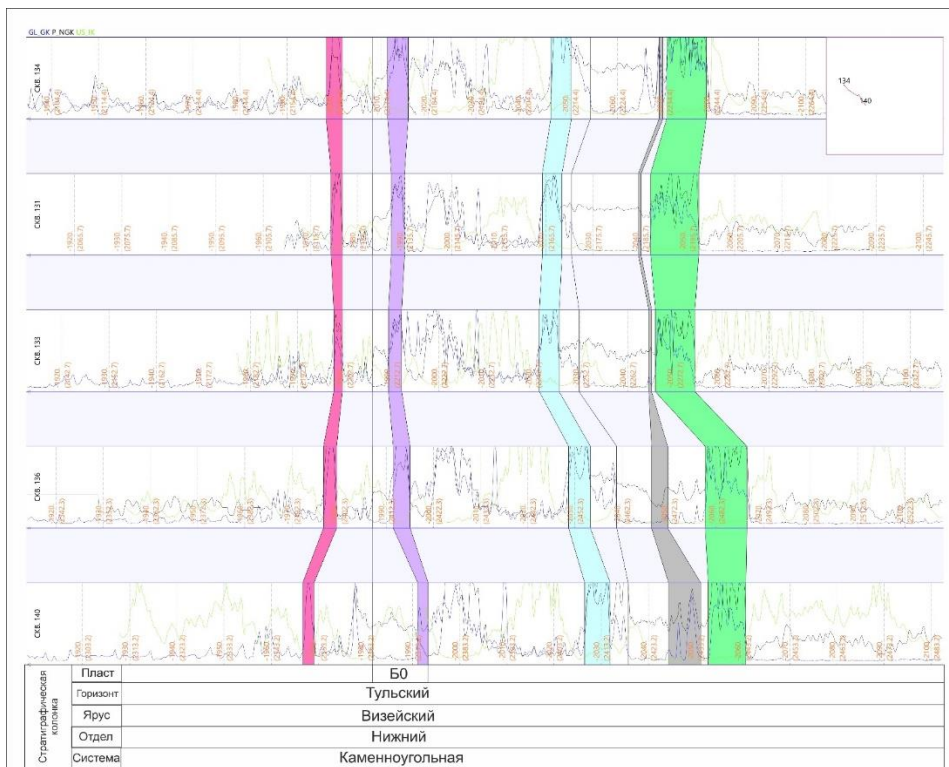


Рисунок 15. Схема детальной корреляции

Структурная карта по кровле коллектора пласта Б0 представлена на рис. 2.

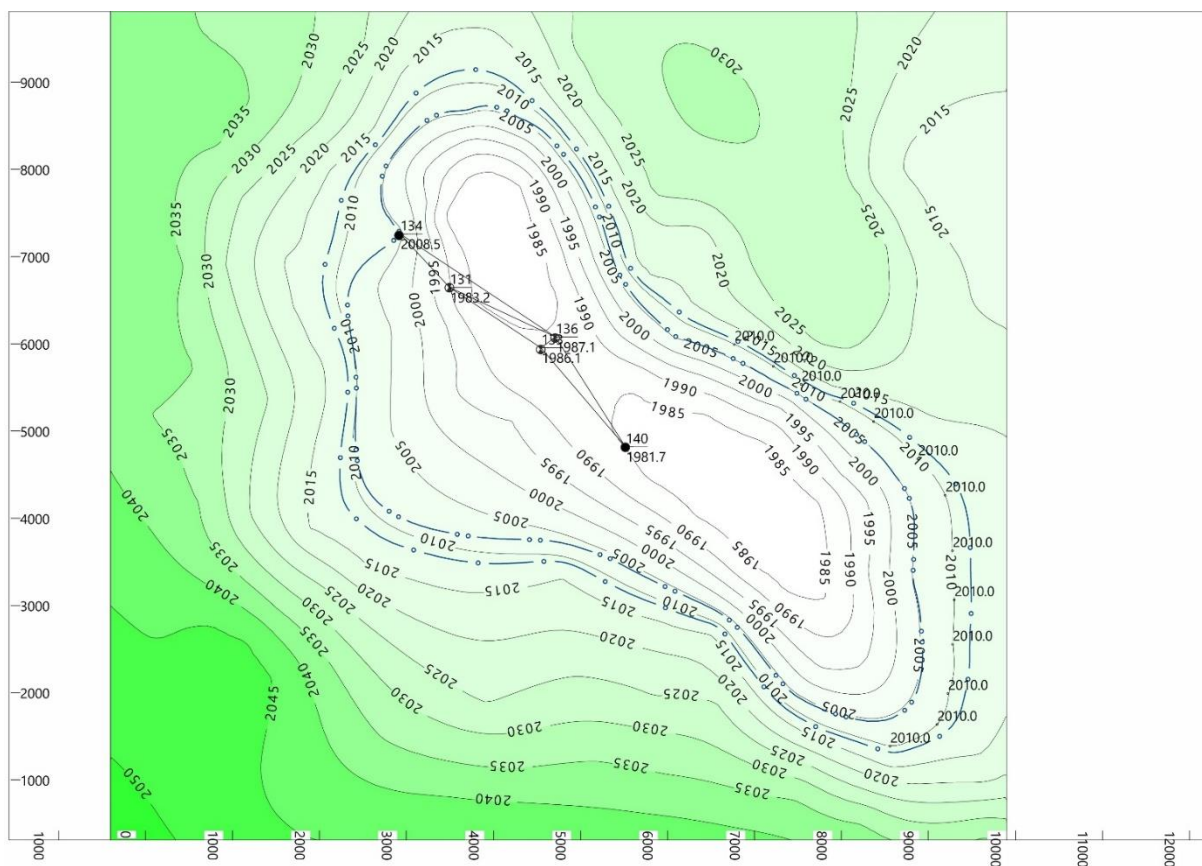


Рисунок 16. Структурная карта по кровле коллектора пласта Б0

В ПО «Autosort» построена двухмерная геологическая модель для пласта Б0, что позволило уточнить геологическое строение данного пласта.

Для изучения геологического строения был построен геологический профиль, представленный на рис 3. Данный пласт условно однородный [1].

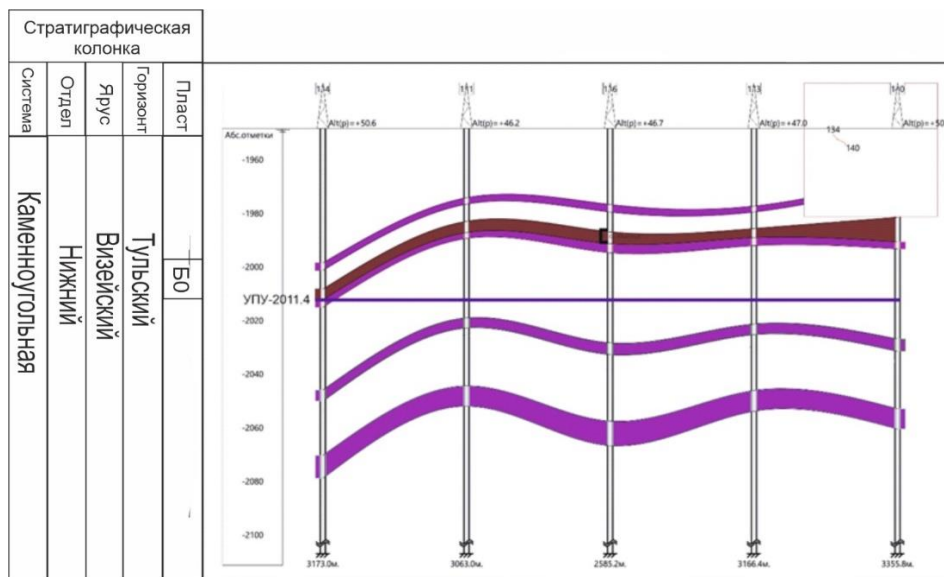


Рисунок 17. Геологический профиль

Осуществленное моделирование позволило выделить установленную залежь нефти, а также произвести подсчет запасов объемным методом [3].

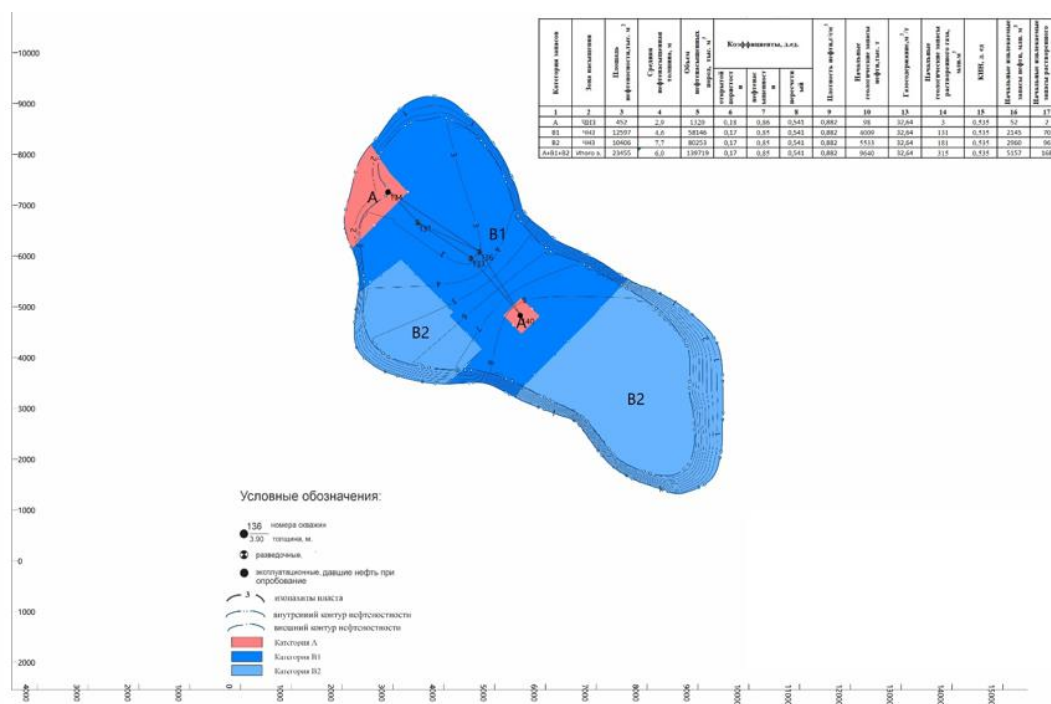


Рисунок 18. Подсчетный план пласта Б0

В условиях экономического кризиса, в том числе и в топливно-энергетическом комплексе, истощения запасов нефти в ведущих нефтедобывающих регионах и недостатка средств для инвестирования в крупные проекты на новых территориях все большее значение приобретает разработка мелких месторождений с незначительными запасами нефти, расположенных в пределах уже освоенных нефтегазоносных провинций, каким является Никольско-Спиридоновское месторождение. Оно не требует масштабных инвестиций в доразведку и обустройство, находится в стадии разработки, а потому характеризуется текущими эксплуатационными затратами значительно меньшими, чем месторождения, разрабатываемые длительное время и определяющие уровень себестоимости добычи нефти в регионе.

## **Выводы**

В данной работе проведен анализ геологического строения, а также построена 2D модель пласта Б0 в пределах Никольско-Спиридоновского месторождения. Были выделены категории запасов А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> в пласте Б0 в пределах Никольско-Спиридоновского месторождения. Подсчет запасов УВ был рассчитан объемным методом. Начальные геологические запасы нефти 9640 тыс т, извлекаемые запасы нефти 5157 тыс. т, начальные геологические запасы растворенного газа 315 млн. м<sup>3</sup>, извлекаемые запасы растворенного газа 168 млн. м<sup>3</sup>. [2]

## **Библиография**

- 5) Гутман И.С., Саакян М.И. Методы подсчета запасов и оценки ресурсов нефти и газа: учебник для вузов. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2017. – 366 с.
- 6) Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов (Приказ Минприроды России от 01.11.2013 г. №477).
- 7) Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов (Распоряжение Минприроды России от 01.02.2016 г. №3-р).
- 8) Методические рекомендации по подсчету запасов нефти и газа объемным методом. Под. ред. В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко, Москва-Тверь, 2003.