

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

Молодые – Наукам о Земле: в 5 т. Материалы XI Международной научной конференции «Молодые – Наукам о Земле» - М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024.

Т. 3: НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО. ГЕОЛОГИЯ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕММОЛОГИЯ / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. - М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024 – 434 с.

ISBN 978-5-907594-31-9

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

ISBN 978-5-907594-31-9 (Том 3)  
ISBN 978-5-907594-28-9

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024

**Оглавление**

СЕКЦИЯ 5. НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО .....	7
Подсекция 5.1. Геология, поиски, разведка и подсчет запасов месторождений углеводородов ...	7
Геологическое строение и перспективы исследования месторождений углеводородов в Кот- д'Ивуаре. Асsemьен Й.Ж. ....	7
Углеводородные системы северо-восточной части Енисей-Хатангского прогиба. Высоколян А.М., Павёлкина Д.А., Лавренова Е.А. ....	11
Анализ и характеристика эоцен-палеоценовых генерационно-аккумуляционных углеводородных систем Черноморско-Каспийского региона по результатам бассейнового анализа и численного моделирования. Вяткина Е.В., Лавренова Е.А. ....	15
Изучение нефтегазоматеринских толщ осадочных бассейнов зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы. Павёлкина Д.А., Высоколян А.М., Лавренова Е.А. ....	18
Влияние разломно-блоковой тектоники на формирование залежей нефти в верхнеюрских отложениях аномального разреза васюганской свиты на примере пласта ЮВ <sub>1</sub> <sup>1</sup> Мишаевского месторождения. Зоиров П.М., Осипов А.В. ....	22
Анализ подходов к оценке геологических рисков при классификации ресурсов и запасов углеводородов в аспекте государственного управления фондом недр. Михальченко Д.Д., Потёмкин Г.Н. ....	26
Условия формирования залежей углеводородов в Центральном Каспии и прилегающей территории Восточного Предкавказья. Романов П.А., Керимов В.Ю. ....	30
Оценка влияния пористости на упруго-прочностные свойства образцов керна Верхнеказымского месторождения. Усманов Д.Т., Попов С.Н. ....	35
Условия формирования и сохранности ловушек углеводородов в пределах сочленения Коротаихинской впадины и складчато-надвиговых зон Урала. Бондарева Л.И., Осипов А.В., Бондарев А.В. ....	39
Ачимовский нефтегазоносный комплекс Западной Сибири –перспективный объект поисков крупных месторождений углеводородов. Пунанова С.А., Шакиров Р.Р. ....	43
Перспективы нефтегазоносности малоизученной территории Енисей-Хатангского регионального прогиба. Сидорчук Е.А., Добрынина С.А., Попов А.С. ....	47
Анализ распределения запасов и параметров нефтяных оторочек на месторождениях России. Федосеева Е.Н., Потёмкин Г.Н., Дронова К.П. ....	51
Типовые разрезы моктаконской свиты нижнего кембрия (Южно-Тунгусская НГО, Лено- Тунгуссукая НГП). Рязанов А.Р., Носкова Е.С., Агафонова Г.В. ....	55
Особенности геологического строения Сенегало-Мавританского бассейна и перспективы нефтегазоносности месторождения Большой Торту-Ахмейим в пределах шельфа Мавритании. Ахмедина Ш.А., Мотузов И.С., Тюкавкина О.В. ....	59
Механизмы формирования пустотного пространства в нефтегазоносных отложениях нижнеберезовской подсвиты в пределах северной части Западной Сибири. Шмыглева П.К., Зуева О.А. ....	63
Глобальный прогресс в исследованиях газовых гидратов. Ли Шэнцзе, Хавкин А.Я. ....	67
Влияние глубины залегания продуктивных отложений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на их фильтрационно-емкостные неоднородности. Ромеро Барренечеа О.В., Страхов П.Н. ....	71
Структурная характеристика и тектоническая эволюция Суэцкого залива (Египет). Седдик А. А. А. М., Постникова О.В. ....	76
Анализ геологической изученности карбонатного природного резервуара биостромного типа с целью выявления перспективных нефтеносных зон. Хамидуллин Д.Р., Бурханов Р.Н. ....	79

Буровой раствор для бурения многолетнемерзлых горных пород. Третьяк А.Я., Чумаков А.А., Кривошеев К.В.....	83
Подсекция 5.2. Инновационные технологии разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений .....	86
Внедрение водогазового воздействия для выработки остаточных запасов месторождения Татарстана. Ахметшина А.А., Дроздов А.Н. ....	86
Перспективы разработки месторождений на шельфе Суринама. Беклес З.А.М., Байджигов К.А., Тчаро Х. ....	90
Освоение нефтегазовых месторождений арктического шельфа России. Белезякова К.А., Харченко Ю.А.....	94
Расчет параметров погружной установки центробежного насоса на месторождении К. Ворожев Д.Ю., Дроздов А.Н. ....	98
Перспективные направления освоения шельфовых месторождений в Карском море подводным видом обустройства. Гаджиев М.М., Харченко Ю.А. ....	102
Инновационные технологии применения соляно-кислотной обработки с использованием органического кислотного состава на АГКМ. Игнатьева Е.С., Малюков В.П.....	106
Расчет режима работы периодической эксплуатации скважин УЭЦН. Ильницкий Д.А., Дроздов А.Н. ....	110
Эффективность применения деэмульгаторов для разрушения водонефтяных эмульсий. Кизим Н.С., Янайкин М.В., Камалов И.Р., Хаярова Д.Р.....	114
Перспективные направления освоения шельфовых месторождений в Карском море комбинированным видом обустройства. Курабеков А.Т., Харченко Ю.А.....	118
Повышение нефтеотдачи пласта на Узунском месторождении. Курбонов А.М., Соловьев Н.В.....	121
Необходимость выявления адресных стратегий разработки Ачимовского комплекса. Мажренова Т.Т., Шахвердиев А.Х.....	124
Использование сверхкритических свойств CO <sub>2</sub> для очистки призабойной зоны пласта. Маркова М.М., Шахвердиев А.Х.....	128
Подбор оптимальной установки погружного электроцентробежного насоса к скважине Красноярского месторождения. Олигов А.А., Дроздов А.Н.....	132
Фациальное моделирование отложений как основа планирования методов повышения нефтеотдачи пластов на зрелых месторождениях Западной Сибири. Потемкина Е.Л., Арефьев С.В. ....	136
Инновационная технология термогазового воздействия на месторождениях баженовской свиты. Прокудина П.Н., Малюков В.П.....	140
Аспекты применения композиционного моделирования при эксплуатации газоконденсатных месторождений. Прунчак М., Савенок О.В., Волосникова Н.С. ....	144
Инновационная технология строительства горизонтальных подземных резервуаров в каменной соли на Волгоградском ПХГ. Соливан В.Д., Малюков В.П.....	147
Особенности технического регулирования и нормативной базы в нефтегазовом машиностроении. Степина Е.А., Коротаев Д.Н.....	151
Экологические вопросы применения технологий гидроразрыва пласта. Цыбенков Ц.З., Бруслов А.Ю. ....	155
Анализ методов ППД: технологическая и экономическая эффективность методов. Шейко А.В., Дроздов А.Н.....	159
Технология предупреждения гидратообразования на морских месторождениях. Шокиров М.Д., Харченко Ю.А., Бруслов А.Ю. ....	162
Применение технологии увеличения нефтеотдачи на месторождении R с применением затрубного нефтяного газа. Бойченко С.В., Исмайылов Т.Р., Фатыкова Я.Р.....	166

Исследование процессов коалесценции для реализации технологии водогазового воздействия. Горелкина Е.И. ....	169
Совершенствование закачки водогазовых смесей с применением насосно-эжекторных систем. Горелкина Е.И., Дроздов А.Н. ....	172
Research on optimizing the content of lost circulation materials for polymer mud system drilling in the basement of Bach Ho field. Truong Van Tu, Nguyen Tien Hung, Nguyen The Vinh. ....	176
<b>СЕКЦИЯ 6. ГЕОЛОГИЯ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕММОЛОГИЯ</b> .....	180
<b>Подсекция 6.1. Геология МПИ</b> .....	180
Спектры фотолюминесценции вторичных кальцитов в породах холмолохской свиты верхнего кембрия Сюльдюкарского поля и площади Улахан-Курунг-Юрях Мало-Ботуобинского района. Якутии. Попов Е.М., Игнатов П.А., Еременко Р.У. ....	180
Вещественные особенности шлихового золота ручья Ветвистый (Момский улус, Якутия) как индикатор природы источника аллювиальной россыпи. Прасолов А.М., Владимирцева О.В. .	185
Геологическое строение, минеральный состав и условия образования месторождения цеолитов Хонгуруу (респ. Саха). Румянцева А.О., Кайлачаков П.Э., Белоусов П.Е. ....	189
Геология серии касила (ar2ks), Форекарианский регион, Гвинейская Республика. Сиссоко Билли Нанкуман, Котельников А.Е., Ромеро Барренчеа Моисес Эсау Мщисесэсау .....	193
Особенности геологического строения, минерогения и разведка бокситов месторождения Плато Боваль-Понтиоло бокситоносной провинции Туге (Гвинея). Ба Мамаду корка, Карелина Е.В., Люсьен Туре .....	197
Поступательное прямолинейное смещение точки, прямой и плоскости при геологическом картировании тектонически нарушенных месторождений полезных ископаемых. Вологина А.С., Калинин В.Н. ....	201
Геологические особенности урановых месторождений песчаникового типа Нигера. Имрана Х.И., Марков В.Е., Конате М. ....	205
Геология железо-окисдно-медно-золотого месторождения Гуэлб Могрейн (Мавритания). Эвбек А., Верчеба А.А. ....	209
Геохимия минералов и тренд эволюции метаморфизма гнейсов Хапчанского орогенного пояса (Анабарский щит). Юрченко А.В., Романова Л.Ю. ....	213
Общий обзор геологических и минералогических характеристик месторождений урана в Намибии. Лонго М.М., Котельников А.Е., Мшиу Д.П., Джон Р.М. ....	217
Бентониты Устиновского месторождения (Приморский край): геологическая позиция и особенности минерального состава. Магана М.М., Сидорова Е.Ю., Ситдикова Л.М. ....	220
Потенциальная золотоносность полосчатой железорудной формации Восточной пустыни Египта. Мансур А.Х., Верчеба А.А. ....	224
Quality characteristics and resource potential of kaolin feldspar in Tam Nong area, Phu Tho province, Vietnam. Nguyen Thi Thanh Thao .....	228
<b>Подсекция 6.2. Минералогия, петрография и геммология</b> .....	233
Особенности изменения магнетита в кимберлитовых породах. Зинчук М.Н., Зинчук Н.Н. ....	233
Минералогия и условия формирования метакarbonатных пород хапчанской серии (юго- восточная часть Анабарского щита). Акимова Е.Ю., Савельев А.Д., Скублов С.Г. ....	238
Микровключения в образцах гипсового керна из Камско-Устьинского месторождения: происхождение и геологическое значение. Волков А.И., Глухов М.С. ....	242
Минералого-геохимические критерии расчленения гранитоидных комплексов в юго-восточной части Анабарского щита (Республика Саха, Якутия). Заболотников А.И., Савельев А.Д., Петров Д.А. ....	247

Циркон из лейкогранитов Белокурихинского массива: состав по редким элементам и U-Pb возраст. Мамыкина М.Е., Гусев Н.И., Гусев А.И. ....	251
Об изоморфизме в ряду флюоборит–гидроксилборит и находке природного предельно фтористого флюоборита. Булах М.О. ....	255
Термический анализ и генетические типы бокситов на примере месторождения Сангареди (Западная Африка Республика Гвинея). Внучков Д.А., Боева Н.М., Макарова М.А., Шипилова Е.С., Мельников Ф.П., Новицкий И.В. ....	259
Состав метадолеритовых и метапикритовых метасоматитов в структуре Башкирского мегантиклинория на Южном Урале и их раннерифейский $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ возраст по флогопиту. Левкова Б.Д., Рязанцев А.В., Травин А.В. ....	263
Процесс фракционной кристаллизации, контролирующей эволюцию магмы для гранитоидных пород с использованием геохимических данных. Ибрахим М.А.А., Наанда Ф.Ф.Э., Макаранга Д.Э., Омар Д.А. ....	267
Современное минералообразование на Фан-Ягнобском месторождении каменного угля Южный Тянь-Шань (Таджикистан). Махмадшариф С., Литвиненко А.К. ....	271
Разрывные деформации в пластичных минералах (клинохлоре и флогопите) на месторождении благородной шпинели Кухлал, Юго-Западный Памир. Рогова А.Р., Литвиненко А.К. ....	275
Минералогия метаморфических образований хомолхинской свиты (Бодайбинский район). Тараненко М.Г., Абрамов В.В. ....	279
Новые данные по минералогии агпайтовых сиенитов интрузии Нива (Кольский полуостров). Филина М.И., Кононкова Н.Н. ....	283
Содержание висмута и свинца в цветных турмалинах Малханского месторождения. Шелементьева А.Ю., Должанская Т.Ю. ....	287
Акцессорная золото-серебряная минерализация массива Рай-Из (Полярный Урал). Юричев А.Н. ....	291
История развития эклогит-глаукофансланцевого комплекса, записанная в составе зонального граната. Федькин В.В. ....	295
Внутреннее строение природных алмазов: индивидуумы и расы. Хмельницкий Р.А., Ковальчук О.Е. ....	299
Возможности ИК-микроспектрометра Lumos II (Bruker) для выявления распределения структурных дефектов в кристаллах природных алмазов. Новочадов С.Л., Титков С.В., Прокофьев В.Ю. ....	302
Моделирование образования звездчатых двойников природных алмазов. Рогова А.Р., Титков С.В. ....	306
Принципы оценки бриллиантов, влияние параметров огранки на цену и покупательскую привлекательность. Саморуков Н.А., Петроченков Д.А. ....	310
Влияние технологических параметров синтеза на строение агрегатов синтетического малахита. Бубликова Т.М., Сеткова Т.В., Балицкий В.С., Некрасов А.Н. ....	314
Минералогическое исследование красителей наскальной живописи с использованием микроспектроскопических методов анализа. Киселева Д.В., Шагалов Е.С., Панкрушина Е.А., Широков В.Н. ....	318
Ювелирный демантоид (андрадит) из внешних зон метаморфизма ультрабазитовых массивов Среднего и Полярного Урала. Макеев А.Б., Терехов Е.Н. ....	322
Технико-технологические аспекты классификации ограненных ювелирных камней. Ахметшин Э.А., Ахметшина Н.П. ....	327
Механизмы разрушения в процессе шлифования хрупких материалов и их применение в огранке ювелирных камней. Бородкина А.А., Ахметшин Э.А. ....	331
Исследование ассортимента страз применяющихся в декорировании текстиля. Миронова Н.В., Кирсанова Е.А. ....	336

Особенности размещения месторождений бирюзы в Таджикистане. Восихов Ш.Т., Литвиненко А.К. ....	340
Исследование природы окраски амазонита. Черевастова А.Д., Ерофеева К.Г. ....	344
Проблематика определения термина «янтарь» в специальных литературных источниках. Тупикова И. С. ....	348
Особенности синтеза опала. Пустовалова М.С., Литвиненко А.К. ....	352
Применение аддитивных технологий в изготовлении защитного корыта ограночного станка. Брусов А.А. ....	356
Возможности использования отвалов керна для учебных целей и изготовления художественных изделий. Хрисанкова Н.С., Петроченков Д.А. ....	360
Нематериальное культурное наследие Китая: Резьба по нефриту — очарование технологии живой цепи. Чжу Шуань ....	364
Декоративное нанесение китайской росписи цветов и птиц Гунби династии Сун на русскую керамику. Чжу Шуань ....	369
Генетические особенности образования андрадита (разн. демантоид) Среднего Урала: изотопно-геохимические данные. Сорокина Е.С. ....	374
Подсекция 6.3. Общая геология и палеонтология ....	378
Квесты и мастер-классы по палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии в МГРИ. Кальбова П.И., Карташова О.П., Царев Р.В. ....	378
Эпибионты на полипниках <i>Thamnopora Rigida</i> (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана. Короленко П.С., Миронова Д.Н. ....	382
О редкой находке ожелезнённой раковины нуммулита из эоценовых отложений Горного Крыма. Кувыкин А.С., Царев Р.В. ....	386
Микроконхиды на полипниках четырёхлучевых кораллов <i>Tabulophyllum weberi</i> из сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана. Лебедянцева В.Я., Комаров В.Н. ....	390
Отложения юрского возраста в районе Гжельского глиняного карьера. Лещук С.Э., Ульянова Д.В., Румянцев Н.Д. ....	394
Обзор специфических толщ доломитов, перекрывающих глины шелковской свиты в районе Гжельского глиняного карьера. Лукин Д.С., Сафаров А.И., Ульянова Д.В. ....	398
О комплексах моллюсков в береговых выбросах Азовского моря. Лукин Д.С., Карташова О.П. ....	402
Анализ спутниковых снимков с использованием регрессионного анализа для выделения новых участков минерализации. Махмуд Х.А., Дьяконов В.В., Марков В.Е. ....	406
Эпибионты на раковинах спириферид <i>Syrtingia praecedens</i> и <i>Howellella angustiplicatus</i> из борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии. Ширяева П.В. ....	410
Характер симметрии четырёхлучевых кораллов из среднего девона живетского яруса (D2zv) Курской и Воронежской области. Яцкин Д.А., Раскатова М.Г. ....	414
Characteristics of talc ore and its fine products in the Tan Son area, Phu Tho, Viet Nam. Nguyen Thi Thanh Thao, Nguyen Duy Hung ....	418
Геоэкологическое состояние торфяных месторождений на примере севера Архангельской области. Арт Л.Е. ....	423
Морские лилии нижнего и среднего отдела каменноугольной системы и их условия обитания. Кондратьева А.А. ....	427
Улучшение цветовых характеристик циркона месторождения Незаметнинское. Купчий К.И., Ахметшин Э.А., Федосеев Д.Г., Камынин В.А. ....	431

**СЕКЦИЯ 5. НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО**

*Подсекция 5.1. Геология, поиски, разведка и подсчет запасов месторождений углеводородов*

*Геологическое строение и перспективы исследования месторождений углеводородов в Кот-д'Ивуаре*

*Ассьен Й.Ж.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», jacques\_assemien@yahoo.com)*

**Аннотация**

Геологическое строение Кот-д'Ивуара характеризуется наличием различных типов геологических структур, таких как рифтовые зоны, тектоно-стратиграфические пятна и антеклизы. В результате проведенных исследований было выявлено наличие перспективных месторождений углеводородов, включая нефть и газ. Одним из наиболее перспективных районов для дальнейших исследований является акватория Кот-д'Ивуара в прибрежной зоне. Здесь обнаружены месторождения нефти и газа, связанные с древними офиолитовыми поясами и трещиноватыми породами. Также отмечается наличие нефтегазоносных структур в западной части страны, вблизи границы с Либерией.

**Ключевые слова**

Геологические структуры, Залежи углеводородов, Тектоно-стратиграфические пятна и антеклизы, Нефтегазоносные структуры.

**Структурно-тектонический каркас**

По данным БЕРТОНА, тектонические движения в видимой в настоящее время части континентального пирса были слабыми с момента отложения и ограничивались несколькими разрезами с севера на юг (лагуны Аби и Агнеби), а крупные аварии могли повториться после отложения отложений в континентальной части континента. Терминал. До миоцена преобладал влажный тропический климат, способствовавший развитию густого растительного покрова и интенсивным биохимическим изменениям феррозитового типа. Морское дно исчезло под толстым слоем рыхлых толщ. В неогене изменение климата привело к абляции этих фрагментов. Они были перенесены и изменены речными системами с весьма контрастными условиями, что привело к появлению линзовидной формации и ее полузасушливых хлопьевидных фаз спрединга.

Таблица 1

Литолого-стратиграфические подразделения осадочного бассейна (Ака, 1991, с изменениями Ennin, 2003)

Возраст в млн лет (Ma)	Стратиграфические периоды	Литологические подразделения	Средняя толщина слоя (м)
1,5	Четвертичный период	Стержневая земля (красная песчаная глина, морской песок)	50
23,8 до 1,5	Мио-плиоцен	Континентальный терминал (красноватые глинистые пески, темные глины)	600
31,5 до 23,8	Олигоцен	Темные глины	?

55 до 31,5	Эоцен	Глаукониевые аргиллиты песчанистые с прослоями известняка.	490
65 до 71	Палеоцен	Аргиллиты иногда от сизых до известковых или песчаных.	500
89 до 71	Сенонский	Глины, обломочные образования с зоогенными известняками, песчаниками известняками и песками	?
93,5 до 89	Туронский	Глины слабоизвестковые и пылеватые (коричневые)	?
99 до 93,5	Сеноманский	Черные глины, мелкие пески и известняки	700
120 до 99	Альбо-аптский	Черные чешуйчатые глины с прослоями песчаника и мергеля.	2000
?	Нижний меловой	Основная континентальная серия (мощная толща песков, конгломератов песчаников, разноцветных глин с прослоями черных глин)	500 до 5000

### Нефтяной потенциал исходных пород

Потенциальные исходные породы были определены в основном на основе содержания общего органического углерода (ОУУ) и данных пиролиза Rock-Eval, дополненных визуальными описаниями керогена и некоторыми молекулярно-геохимическими данными (газовая хроматография). Основное внимание уделяется исходным породам альбского и туронского возраста, поскольку более молодые отложения, как правило, незрелые с точки зрения генерации углеводородов, даже в бассейновых месторождениях. Краткое описание общей выборки представлено ниже на рисунке 1.

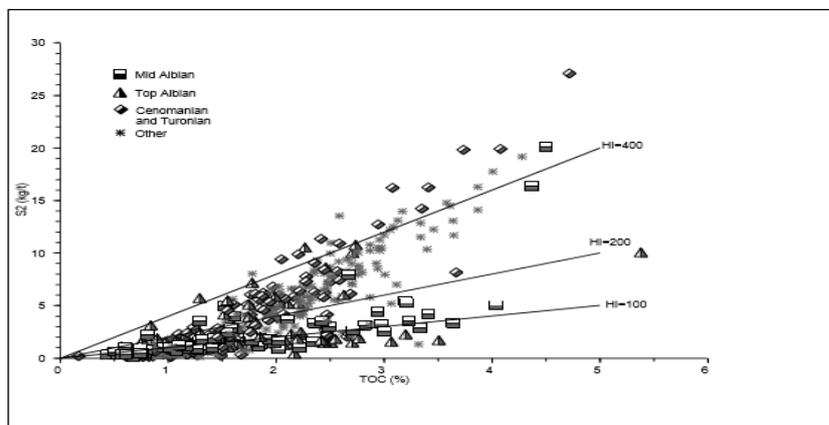


Рисунок 1. Данные скрининга (общее содержание органического углерода и выход пиролиза по методике Rock-Eval) для исходных пород у берегов Кот-д'Ивуара. Morrison et al, OWA 2000 [4]

### **Перспективы альбских месторождений**

Альбская возрастная серия содержит крупнейшие коллекторы, открытые в Кот-д'Ивуаре. Коллекторы имеют разломы и теряют свое качество с глубиной. Месторождения Эспуар, Баобаб, Фокстрот

Эспуар: коллектор представляет собой антиклиналь, ограниченную двумя разломами WNW-SE. Он образован двумя скоплениями углеводородов, разделенными силлами, направленными с севера на юг. Он состоит из песчаников с глинистым матриксом, расположенных в двух сериях, разделенных срединной глинистой банкой. Пласт в целом залегает на глубине от 1 800 до 2 100 метров ниже уровня моря и наклонен к юго-востоку.

Баобаб: месторождение представляет собой структуру площадью 13,6 км<sup>2</sup>, расположенную на большой глубине в 30 км от побережья Кот-д'Ивуара. Это нефтяное месторождение, разделенное на Северный и Южный Баобаб горизонтальным разломом с востока на запад.

Фокстрот: это закрытая со всех сторон структура, состоящая из толстого слоя однородных псевдооднородных глинистых песков, с небольшими литологическими изменениями. Его средняя толщина составляет 823 м.

### **Перспективы сеноманских отложений**

Месторождение Пантер состоит из однородного пласта песчаника толщиной от 16 до 32 м с очень хорошей пористостью и проницаемостью. Пески, по-видимому, были отложены на альбском плато, расположенном в нижней части верхнего фокстрота.

### **Перспективы туронских отложений**

Он является трансгрессивным по отношению к нижележащим толщам, и в нем нет опускания, соответствующего альб-аптскому ритму.

Верхнемеловая толща в основном глинистая на западе, становится более грубообломочной в центре и возвращается к наземной фации зоогенных известняков, люмачелей, песчаных известняков и песков в восточной части бассейна. Общий облик появляется в конце маастрихта. Верхний мел также иногда переливается к северу от крупных разломов; это явление наблюдалось, в частности, в ходе исследований Энзида, Локоджоро и Эбоко, а также в обнажениях Эбоинды. Палеонтологические критерии, подтверждающие присутствие туронского яруса в бассейне Кот-д'Ивуара, отсутствуют.

### **Перспективы сенонских отложений**

Месторождение Белье представляет собой вытянутую антиклинальную структуру, вытянутую с севера на юг. Структуру пересекает срединный разлом, который играет важную роль в распределении флюидов. Коллектор состоит из шести (6) небольших песчаных уровней, которые признаны отложениями турбидитового типа. Ось осадконакопления совпадает с осью структуры. Месторождение не эксплуатируется с 1992 года.

### **Выводы**

Дальнейшие исследования геологического строения и перспектив месторождений углеводородов в Кот-д'Ивуаре позволят определить потенциальные ресурсы и разработать стратегию их освоения.

### **Библиография**

1. Chierci M.A. (1996) Stratigraphy, palaeoenvironments and geological evolution of the Ivory Coast-Ghana Basin. Elf Memoir 16 pages 293-303.
2. Grillot. L.R., Anderton P.W, Haselton T.M. and Dermagne J.F. (1991), Three-Dimensional Seismic Interpretation: Espoir Field Area, Offshore Ivory Coast AAPG Memoir 42, Ed: A. Brown, pages 214-217.

3. Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987) Chronology of fluctuating sea-levels since the Triassic. *Science*, Vol.235, pages 1153-1165.
4. Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1988) Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In: *Sea-level changes: an Integrated Approach*. Special Publication, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Vol.42, pages 40-45/
5. Mascle J., Lohmann, G.P., & Clift, P.D. (1996) Introduction. In: *Proceedings of the Oceanic Drilling Program*, Vol.159, pages 5-16.
6. Morrison J., Boblai V., Tea J., and N'Zalasse B. (1999), a Sequence Stratigraphic approach to Explration and Re-Development in the Abidjan Margin, Côte d'Ivoire. *Offshore West Africa 1999, Conference Proceedings, Third Annual Congress*, PennWell Publishing.
7. Tucker J.W. (1992) Aspects of the Tano Basin Stratigraphy Revealed by Recent Drilling in Ghana. *Geologie Africaine, Ler Colloque de Stratigraphie et de Paleogeographie des Bassins Sedimentaires Quest-Africains, Libreville-Gabon 6-8 Mai 1991, Memoire 13*, Ed: Curnelle, pages 153-159.

*Угледородные системы северо-восточной части Енисей-Хатангского прогиба  
Высоколян А.М.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, visokolyan09@mail.ru),  
Павёлкина Д.А. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, dianapavyolkina@yandex.ru),  
Лавренова Е.А. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, lavrenovaelena@mail.ru)*

#### **Аннотация**

Выполнена оценка перспектив нефтегазоносности осадочного чехла северо-восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) на основе изучения эволюции входящих в его состав угледородных систем. На основании обобщения информации из фондовых отчётов и опубликованных материалов, сформирована геоинформационная база геологических данных и разработана цифровая геологическая модель, которая позволила выделить и изучить генерационно-аккумуляционные угледородные системы (ГАУС), обеспечивающие угледородный потенциал изучаемой территории.

#### **Ключевые слова**

Палеогеография; угледородные системы; Енисей-Хатангский прогиб; Анабаро-Хатангская седловина.

#### **Теория**

Несмотря на многолетнюю историю изучения ЕХРП и его сопредельных структур такими исследователями, как Исаев А.В., Ефимов А.С. (СНИИГГиМС), Конторович А.Э., Фомин А.М. (ИНГГ СО РАН), Афанасенков А. П., Обухов А.Н. (ФГБУ «ВНИГНИ»), Кирюхина Т.А., Бордунов С.И. (ГНЦ ФГУП «Южморгеология») и др., а также на установленную нефтегазоносность прогиба (Балахнинское газовое месторождение, Южно-Тигянское, Кожевниковское, Ильинское и Нордвикское нефтяные месторождения) до сих пор так и не удалось достичь значительных успехов в поисках угледородов в его северо-восточной части. Это связано с тем, что бурением изучена только верхняя часть осадочного выполнения прогиба, а также отсутствием системного (с позиций ГАУС) подхода к изучению территории. Для преодоления этих проблем в рамках настоящей работы разработана цифровая модель с целью изучения вероятных ГАУС и оценки перспектив нефтегазоносности района.

В результате сбора, анализа, приведения к единым форматам опубликованных и содержащихся в фондовых материалах структурных карт, в пределах области исследования были подготовлены единые структурные поверхности по 7 горизонтам, характеризующим строение осадочного чехла изучаемой части ЕХРП, включая: поверхность фундамента (F), поверхность рифейских отложений (R), вблизи кровли кембрийских отложений (VIII), вблизи подошвы нижней перми (VII), кровля триасовых отложений (III), кровля юрских отложений (II), кровля долганской свиты (K<sub>2</sub>). Выполненные структурные построения составили основу цифровой геологической модели (Рисунок 1).

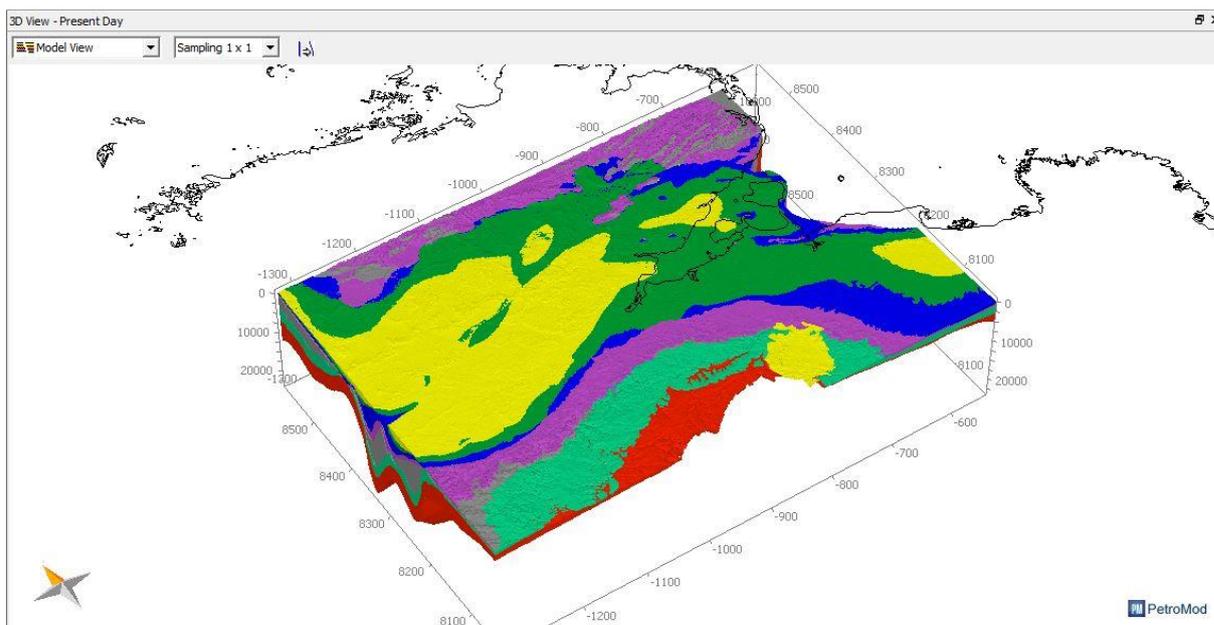


Рисунок 1. Цифровая модель северо-восточной части ЕХРП

На основании доступных геолого-геофизических и геохимических данных выполнен бассейновый анализ и палеогеографические реконструкции в пределах области исследования (Рисунки 2, 3, 4), которые позволили обосновать и закартировать необходимые элементы углеводородных систем в осадочном разрезе.

На основании анализа результатов геохимических исследований и палеогеографических реконструкций нефтегазоматеринскими свойствами обладают отложения: среднего отдела кембрийской системы, нижнего отдела пермской системы (ассельский и сакмарский ярусы), нижнего отдела триасовой системы (оленекский ярус) и нижнего отдела юрской системы.

Резервуарные толщи прогнозируются в составе артинского и кунгурского ярусов нижнего отдела пермской системы, индского яруса нижнего отдела триасовой системы, верхнего отдела триасовой системы, нижней части байосского яруса среднего отдела юрской системы и верхней части среднего отдела юрской системы. Флюидоупорами для них являются, соответственно: выделенные нефтегазоматеринские толщи в нижнем отделе триасовой системы и нижнем отделе юрской системы, а также объединённые верхний отдел юрской системы и волжский ярус нижнего отдела меловой системы.

Таким образом, в пределах изучаемой территории выделены 3 углеводородные системы на следующих стратиграфических уровнях: в кембрийской, пермско-триасовой и юрской частях осадочного разреза.

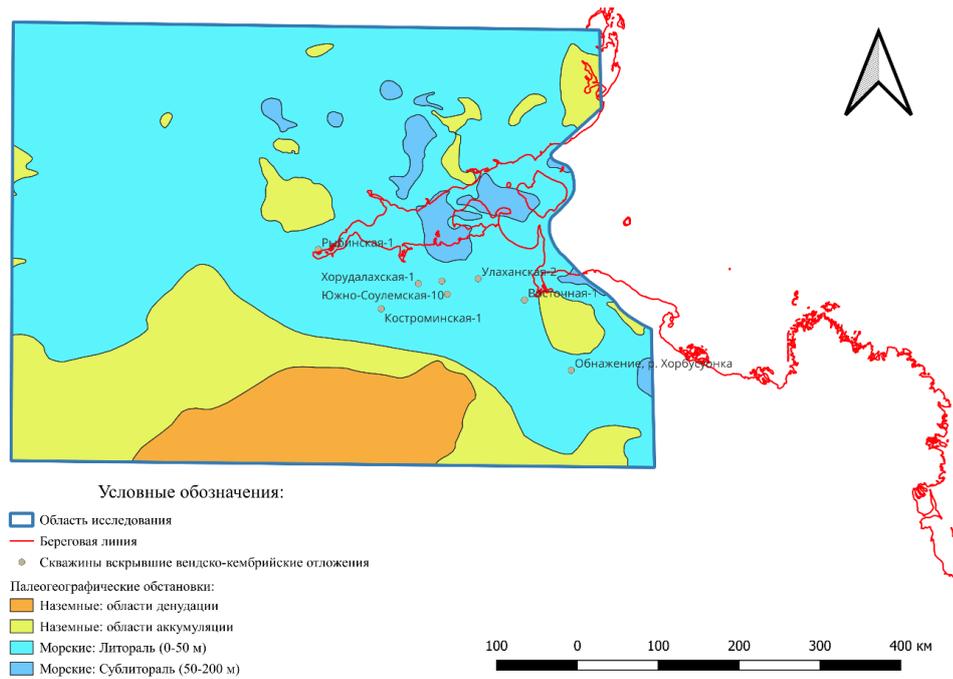


Рисунок 2. Палеогеография северо-восточной части Енисей-Хатангского прогиба в вендско-кембрийской время

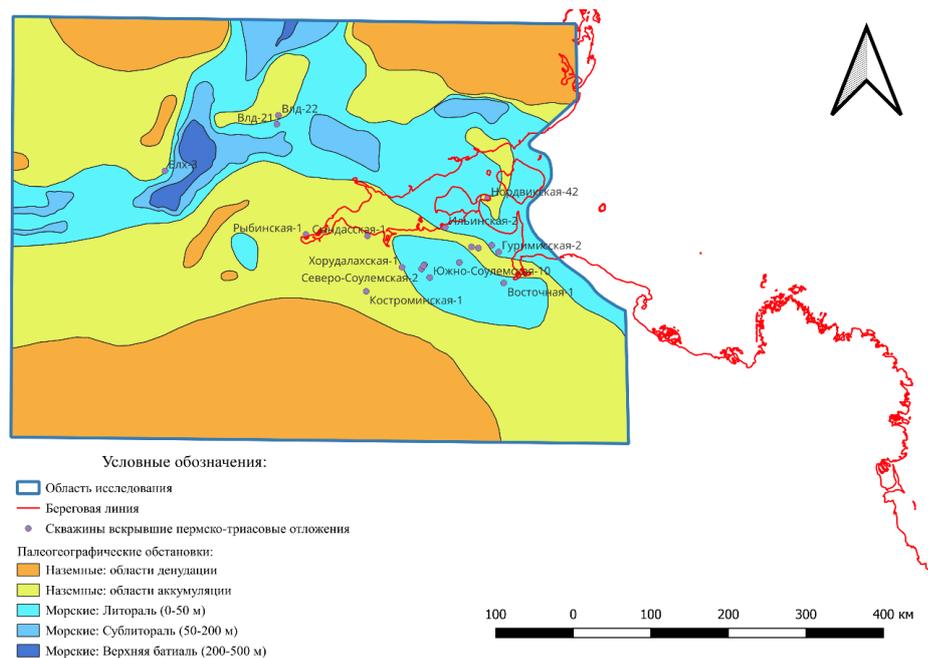


Рисунок 3. Палеогеография северо-восточной части Енисей-Хатангского прогиба в пермско-триасовое время

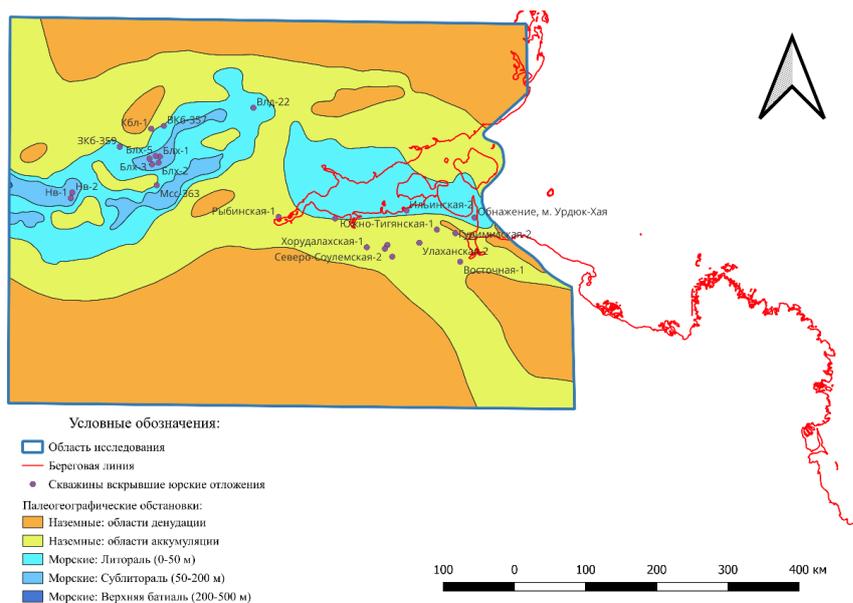


Рисунок 4. Палеогеография северо-восточной части Енисей-Хатангского прогиба в юрское время

### Выводы

На основании проведенного нефтегазогеологического исследования: в осадочном чехле в северной части Енисей-Хатангского регионального прогиба установлены три стратиграфических уровня развития углеводородных систем (кембрийский, пермско-триасовый, юрский), обоснованы и закартированы необходимые элементы ГАУС, а также подготовлена цифровая модель для их изучения методом численного моделирования.

### Библиография

1. Афанасенков А.П., Бордюг А.В., и др. Уточнение палеогеографии севера Сибирской платформы с учетом новых данных // Геология нефти и газа. – 2018 г.
2. Исаев А.В., Ефимов А.С., и др. Систематизация, дообработка и интерпретация данных геофизических исследований прошлых лет (сейсморазведка, электроразведка, исследования скважин и петрофизика) по территории Енисей-Хатангского прогиба с целью картирования и обоснования зон нефтегазоаккумуляции, 2009 г. Отчёт Росгеолфонд (959571).
3. Конторович А.Э., Фомин А.М. и др. Разработка элементов вероятностных моделей нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем района исследований на основе геолого-геохимических и геофизических данных, 2014 г. Отчёт Росгеолфонд.
4. Кирюхина Т.А., Бордунов С.И., и др. Историко-генетический анализ эволюции осадочного бассейна на основе 2D-3D моделирования УВ-систем мезозойских, палеозойских и протерозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины, 2014 г. Отчёт Росгеолфонд.

*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.).

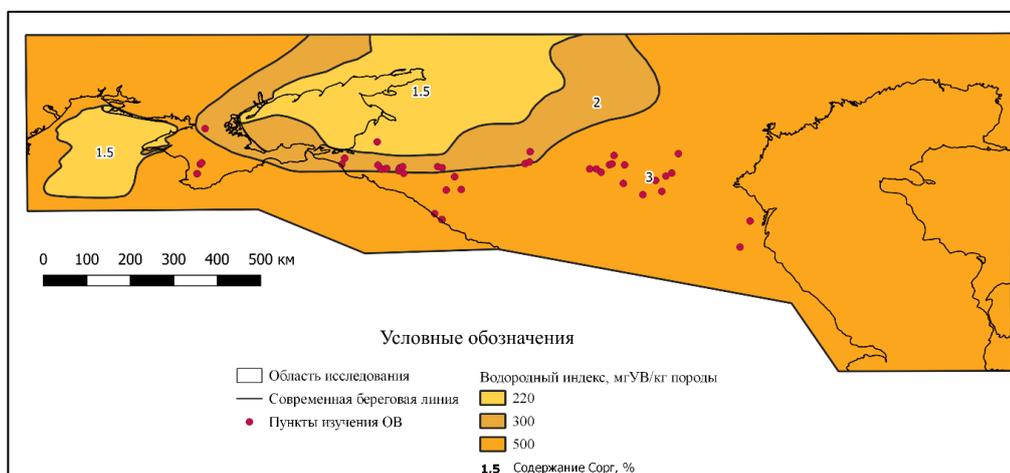


Рисунок 1. - Карта распространения нефтегазоматеринских свойств палеогеновых отложений

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 преодолела 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.

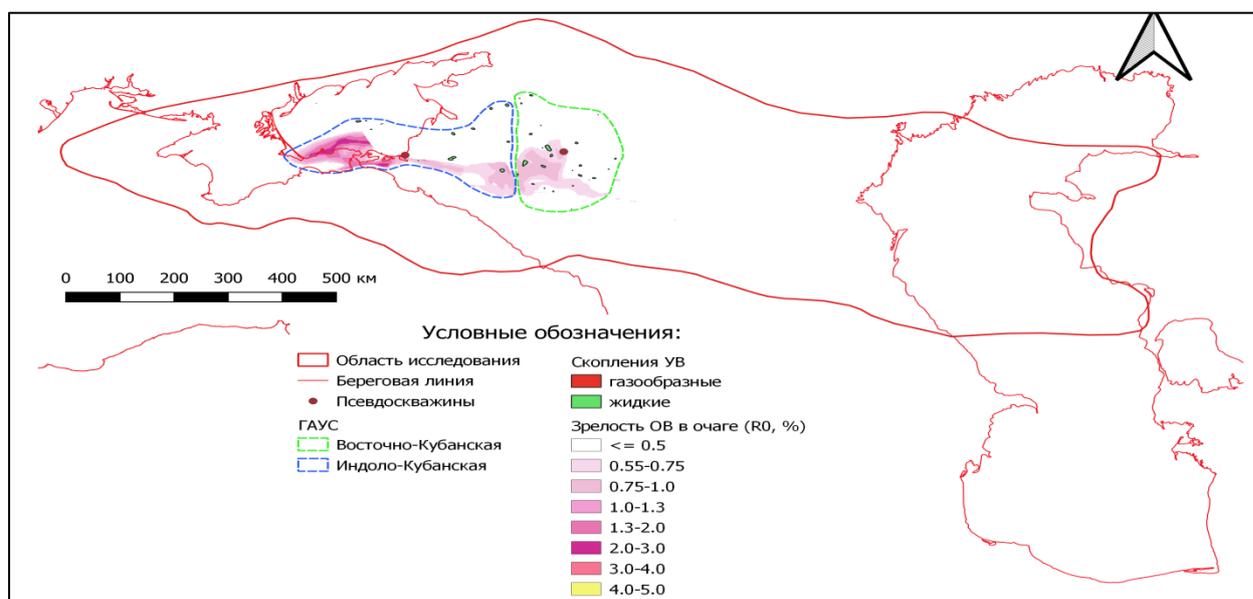


Рисунок 2 - Карта эоцен-палеоценовых ГАУС с кумской НГМТ

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 ГАУС 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 (.) ГАУС 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., Карнаухова 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 Недр, 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.

*Изучение нефтегазоматеринских толщ осадочных бассейнов зоны сочленения  
Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы  
Павёлкина Д.А.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, dianapavyolkina@yandex.ru),  
Высоколян А.М. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, visokolyan09@mail.ru),  
Лавренова Е.А. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, lavrenovaelena@mail.ru)*

**Аннотация**

С целью оценки перспектив нефтегазоносности осадочного чехла зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы разработана цифровая модель, отражающая основные этапы формирования осадочного чехла этой территории. На основании сбора, анализа фондовой и опубликованной геолого-геофизической и геохимической информации сформирована геоинформационная база данных для бассейнового анализа, включая данные о нефтегазоносности отложений, результаты буровой изученности и геохимических исследований, выполнены структурные построения по основным поверхностям несогласия. На основании комплексной интерпретации геохимических характеристик пород и результатов, проведенных в рамках настоящего исследования палеогеографических реконструкций, в разрезе осадочного чехла выделены предполагаемые нефтегазоматеринские толщи (НГМТ) для дальнейшего изучения их вклада в углеводородный потенциал изучаемой территории с применением метода численного моделирования.

**Ключевые слова**

Лено-Анабарский прогиб, море Лаптевых, геоинформационная база данных, НГМТ, палеогеография, бассейновый анализ, структурный каркас.

**Теория**

Объектом изучения является зона сочленения юго-западной части Лаптевоморской плиты с Лено-Анабарским прогибом, принадлежащим к Сибирской платформе. В пределах рассматриваемой территории установлены признаки присутствия активных генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС), что указывает на хорошие перспективы поисков углеводородов в исследуемой области.

Прогнозированием перспектив нефтегазоносности в Лено-Анабарском прогибе и на Лаптевоморском шельфе занимались многие исследователи, включая Арчегова В.Б. [1982], Ушакову О.В. [1996], Шипилова Э.В. [1999], Старосельцева В.С. [2012], Горшкова А.С. [2012], Савченко В.И. [2012, 2014], Конторовича А.Э. [2013, 2014], Конторовича В.А. [2013, 2019], Прокопцеву С.В. [2014], Фомина А.М. [2014], Васильеву Е.А. [2015], Полякову И.Д. [2016], Борукаева Г.Ч. [2016], Фролова С.В. [2017], Бакай Е.А. [2017], Соболева П.Н. [2019, 2021], Лежнина Д.С. [2019, 2021], Скворцова М.Б. [2020], Афанасенкова А.П. [2021] и др. Однако, работы проводились отдельно в акваториальной части и в области суши. Это существенно снижает качество оценки перспектив нефтегазоносности территории, так как бассейны осадконакопления, включающие ГАУС, характеризуются трансграничным (суша/море) положением. Изучение зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирского кратона в рамках единой модели поможет улучшить понимание эволюции бассейнов и ГАУС, а также выполнить более качественный прогноз нефтегазоносности области исследования.

С целью оценки перспектив нефтегазоносности осадочного чехла изучаемой территории решались следующие задачи: выполнение структурных построений по основным отражающим горизонтам и формирование структурного каркаса цифровой модели; подготовка геоинформационных баз данных: признаков нефтегазоносности, буровой изученности, результатов геохимических исследований; выявление НГМТ в разрезе осадочного чехла.

При подготовке единых структурных поверхностей в пределах исследуемой территории, опубликованные и содержащиеся в фондовых источниках карты анализировались, приводились к единым форматам и согласовывались с имеющимися скважинными отбивками. В результате, были построены структурные карты по следующим отражающим горизонтам: R (в подошве рифейских отложений), VIII (в кровле кембрийских отложений), VII (в подошве пермских отложений), III (в подошве юрских отложений) – для прибрежной части рассматриваемой территории; A (в подошве аптского яруса нижнемеловых отложений), mBU (в подошве палеогеновых отложений), UB (в подошве олигоценных отложений), RU (в подошве неогеновых отложений). При формировании гридов структурного каркаса цифровой модели учитывались области отсутствия отложений и выходы на дневную поверхность (рисунок 1).

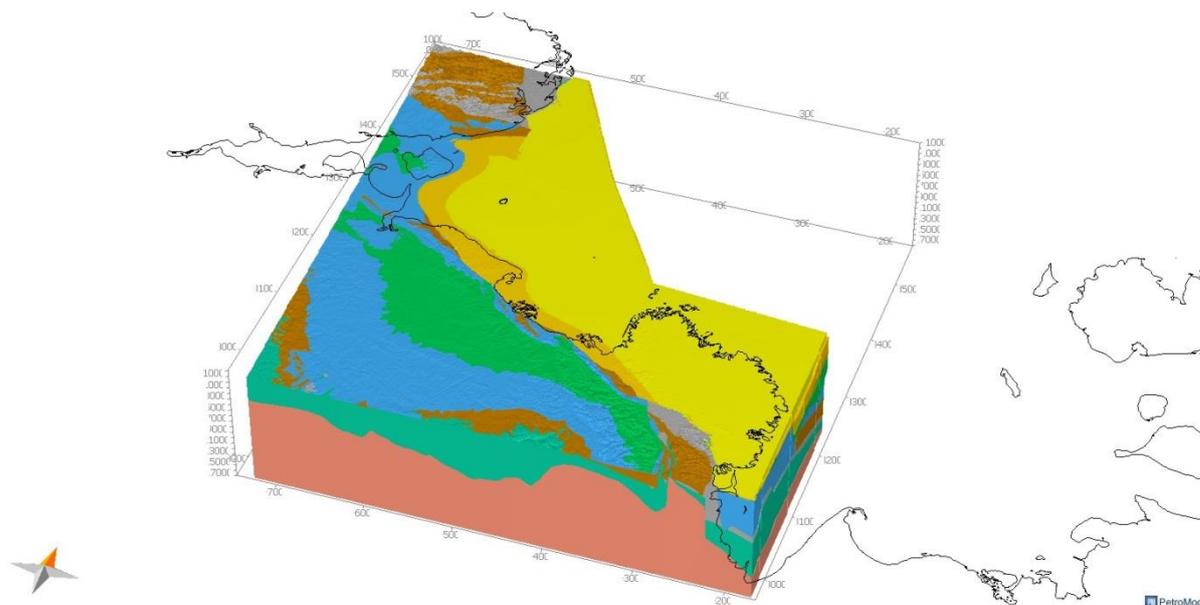


Рисунок 1. Цифровая модель зоны сочленения Лаптевоморской плиты и Сибирской платформы

Собранная база данных результатов геохимических исследований включает информацию о возрасте отложений, интервале глубин их залегания, литологическом составе, основным геохимическим параметрам, а именно: содержание органического углерода (ТОС), пиролитические параметры S1 и S2, максимальная температура на пике S2 (Tmax), водородный индекс (HI).

Анализ геохимических материалов показал, что в разрезе осадочного чехла Лено-Анабарского прогиба нефтегазоматеринскими свойствами могут обладать рифейские, вендские, пермские (тустакская и верхнекожевниковская свиты) отложения, а также пограничные верхнеюрско-нижнемеловые породы (таблица 1).

Таблица 1

Предполагаемые НГМТ Лено-Анабарского прогиба

Возраст	Отложения	ТОС, %	HI, мг УВ/г Сорр	S1+S2, мг УВ/г породы	Тип ОВ	Градации катагенеза
J3-K1	терригенные	до 3,29	-	-	террагенно-аквагенный	ПК3-МК <sub>1</sub> <sup>2</sup>
J	терригенные	до 2,17	-	-	террагенно-аквагенный	МК <sub>2</sub> <sup>2</sup>
P2	верхнекожевниковская	до 3,69	до 76	до 3,1	аквагенный	МК3-МК4
P1	тустакская	до 6,81	до 64	до 4,79	аквагенный	МК3-МК4
V	карбонатные	до 4,19	до 381	до 16,5	аквагенный	МК1-МК2
R3	терригенные	до 1,72	-	до 1,57	аквагенный	МК2-МК3

Для построения карт вероятных НГМТ выполнены палеогеографические реконструкции для соответствующих возрастных интервалов, при этом использовались карты мощностей и результаты изучения пород в скважинах (рисунок 2).

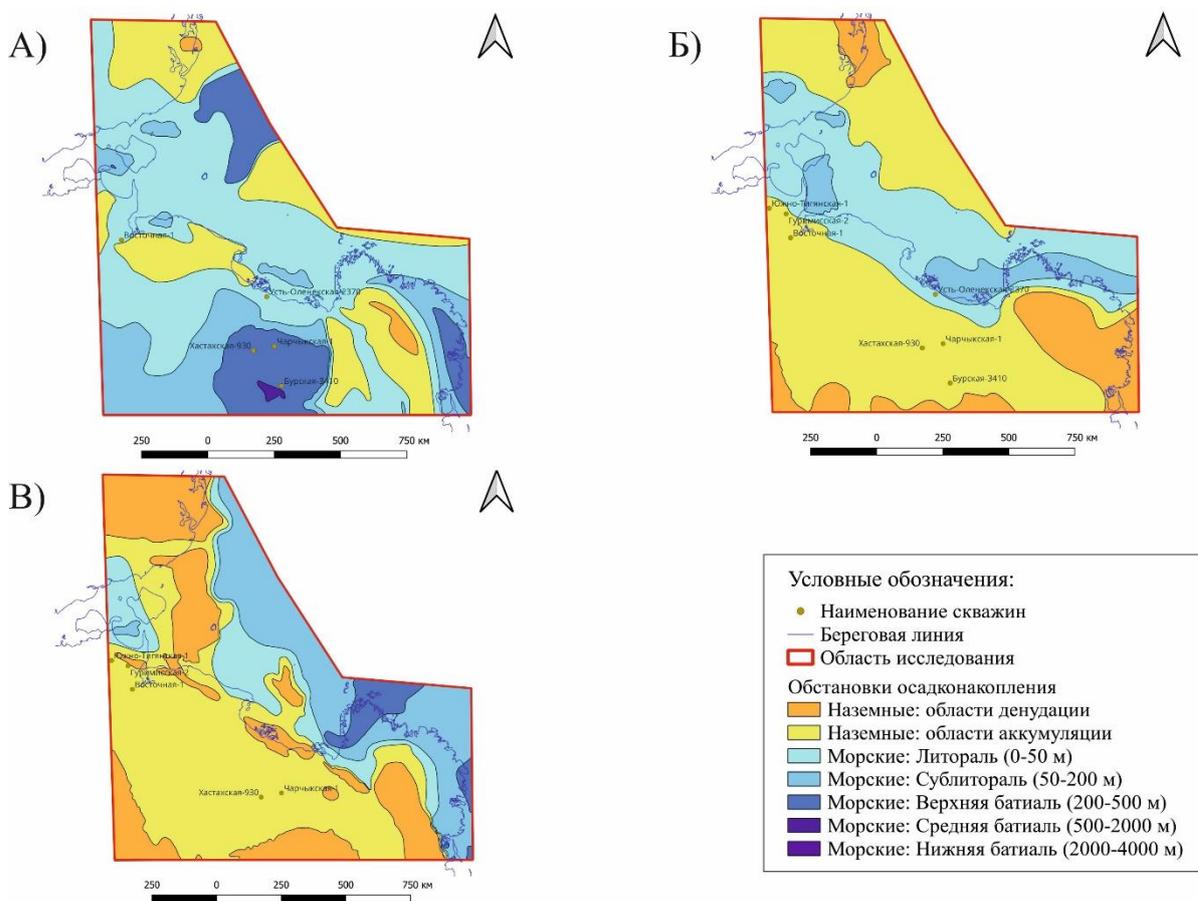


Рисунок 2. Палеогеографические карты: А) рифейско-вендско-кембрийских отложений; Б) пермско-триасовых отложений; В) юрско-нижнемеловых отложений

### Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Выполнен бассейновый анализ и палеогеографические реконструкции, которые позволили обосновать вероятные НГМТ в разрезе и построить карты их распределения.
2. Подготовлена цифровая модель изучаемой территории для дальнейшего моделирования генерационных свойств предполагаемых НГМТ.

### Библиография

1. Бакай Е.А., Смирнова М.Е., Коробова Н.И., Надежкин Д.В. Литолого-геохимическая характеристика Пермского нефтегазоносного комплекса Лено-Анабарского прогиба (на примере скважины Усть-Оленекская-2370). Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016.
2. Конторович А.Э, Фомин А.М. и др. Разработка элементов вероятностных моделей нефтегазовых генерационно-аккумуляционных систем района исследований на основе геолого-геохимических и геофизических данных. Отчет Росгеолфонд, 2014.

3. Конторович В.А., Конторович А.Э. и др. Сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристика континентальной окраины Сибирской платформы (Хатангско-Ленское междуречье). Геология и геофизика, 2021.
4. Лежнин Д.С., Афанасенков А.П., Соболев П.Н., Найденов Л.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Хатангско-Ленского междуречья. Геология нефти и газа №4, 2021.
5. Полякова И.Д., Борукаев Г.Ч. Структура и нефтегазовый потенциал Лаптевоморского региона. Литология и полезные ископаемые, 2017.
6. Скворцов М.Б., Дзюбло А.Д. Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых. Геология нефти и газа №1, 2020.
7. Соболев П.Н., Лежнин Д.С., Панарин И.А., Гаврилова Е.Н., Пименова А.М. Геохимические критерии нефтегазоносности рифей-палеозойских отложений Лено-Анабарского регионального прогиба и сопредельных территорий. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2019.
8. Khudoley A.K., Frolov S.V. et al. Anabar–Lena Composite Tectono-Sedimentary Element, northern East Siberia. Geological Society London Memoirs, 2022.

***Влияние разломно-блоковой тектоники на формирование залежей нефти в верхнеюрских  
отложениях аномального разреза васюганской свиты на примере пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>***

***Мишаевского месторождения***

***Зоиров П.М.\* (МГРИ, pasha.zoirov@mail.ru),***

***Осипов А. В. (МГРИ, osipovav@mgri.ru)***

**Аннотация**

В данной работе обосновывается природа формирования верхнеюрских аномальных разрезов васюганской свиты, как результат накопления осадков при погружении отдельных блоков по конседиментационным разломам с последующим повсеместным накоплением осадков; выяснены причины, влияющие на положение водонефтяного контакта в залежах аномального разреза васюганской свиты; установлено, что залежи в этих пластах приурочены к ловушкам структурного типа и контролируются в большей степени тектоническими нарушениями, а не литологическими экранами.

**Ключевые слова**

Васюганская свита, блоковые залежи, ВНК.

**Теория**

На сегодняшний день большой интерес представляют методы анализа комплексных геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсмических исследований, направленные на выявление структурных особенностей нефтегазоносных объектов с целью прогнозирования зон добычи и поиска углеводородов. Актуальной задачей является улучшение научно обоснованных методов комплексного изучения сложных геологических объектов с использованием данных сейсмических исследований, разведочного и эксплуатационного бурения.

Анализируя схему детальной корреляции разрезов скважин, можно сделать вывод, что формирование аномальных разрезов верхнеюрской васюганской свиты обусловлено погружением блоков по конседиментационным разломам.

**Результаты изучения характера изменения положения водонефтяного контакта в блоковых залежах Мишаевского месторождения**

Для уточнения геологической модели залежи в аномальном разрезе васюганской свиты Мишаевского месторождения были установлены причины, влияющие на положение ВНК.

Среди технических причин, влияющих на определение уровня ВНК, необходимо учитывать характер вскрытия продуктивных пластов в скважинах, а также качество испытания скважин.

Среди геологических факторов можно выделить условия формирования отложений - осадки накапливались в условиях различной интенсивности погружения блоков по конседиментационным разломам, что повлияло на положение ВНК в блоковых залежах Мишаевского месторождения.

Также стоит отметить и другие возможные причины, влияющие на положение ВНК: правильность и качество согласования геологических разрезов скважин, точность измерения угла наклона скважины, качество каротажных диаграмм, на основе которых проводилась интерпретация данных ГИС и сейсмических исследований. (рис.1)

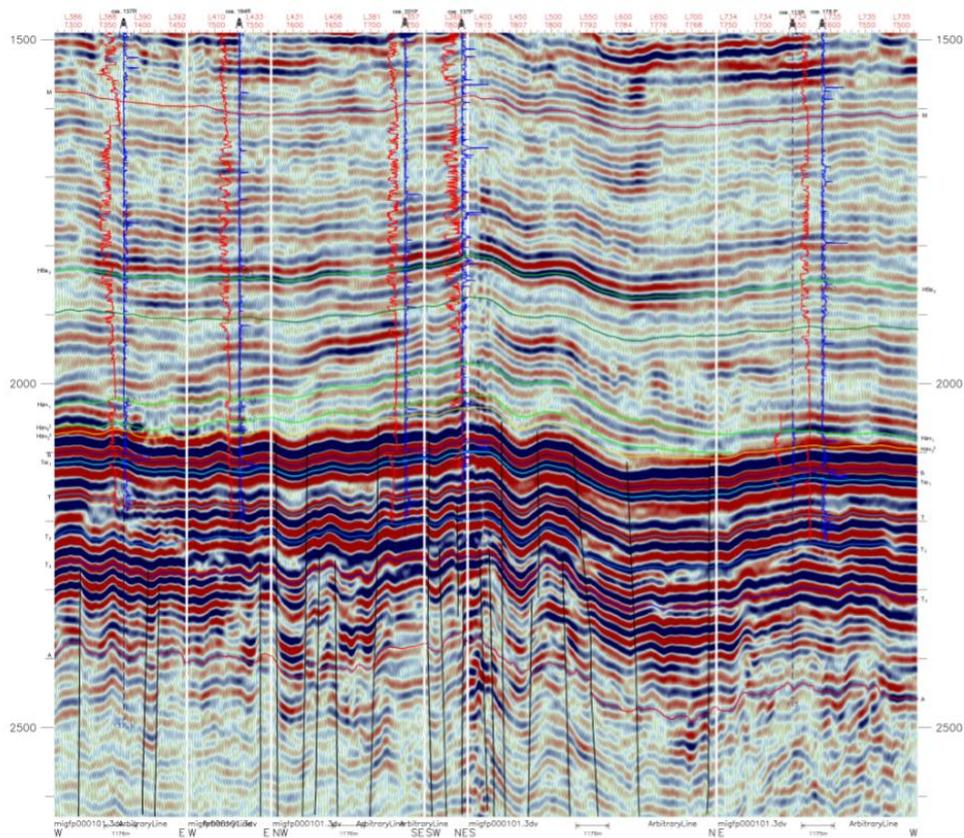


Рисунок 1. Пример временного сейсмического разреза верхнеюрских — нижнемеловых отложений Мишаевского месторождения, фиксирующий разрывные нарушения

Неопределенность в определении ВНК часто возникает, когда в соседних скважинах нефть и пластовая вода находятся в одном и том же интервале по абсолютным отметкам. В таких случаях авторы геологических моделей обычно проводят либо условные зоны глинизации между флюидами, либо предполагают наклонный ВНК. Изменение отметок ВНК может быть до 50 метров, что невозможно объяснить градиентом напора подземных вод или изменением фильтрационно-емкостных свойств коллекторов. Плавное изменение контактов между флюидами в условиях гидродинамически связанных коллекторов вызывает сомнения и требует дальнейшего исследования.

Как было сказано ранее, выяснение условий формирования продуктивных пластов имеет огромное значение для создания достоверной геологической модели этих отложений. В пределах Мишаевского месторождения на основе детальной корреляции разрезов скважин было установлено блоковое строение ачимовских и юрских отложений по конседиментационным разломам. Линии разрывных нарушений прослежены по площади месторождения (рис.2).

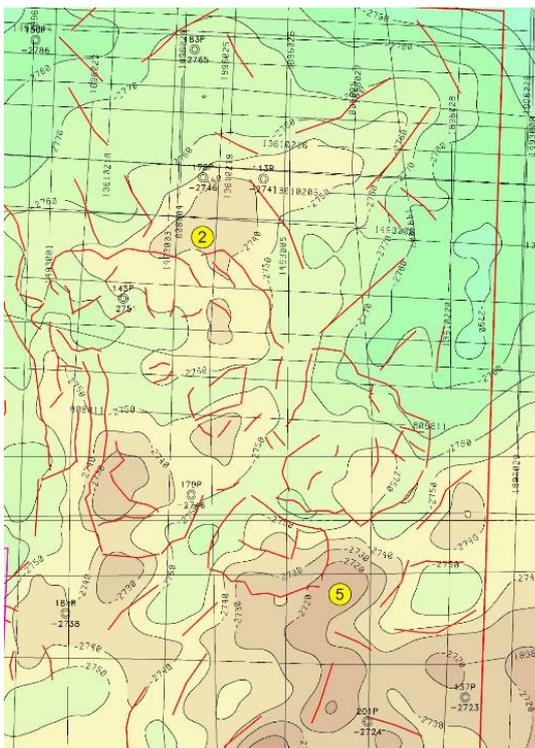


Рисунок 2. Структурная карта по кровле отражающего горизонта пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> с разрывными нарушениями, выявленными на основе детальной корреляции скважин

### Пласт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>

На основе детальной корреляции скважин, с учетом сейсмических исследований, благодаря выяснению механизма формирования продуктивных отложений было установлено, что блоковые залежи в пластах приурочены к ловушкам структурного типа и контролируются в большей степени тектоническими нарушениями, а не литологическими экранами (рис.3).

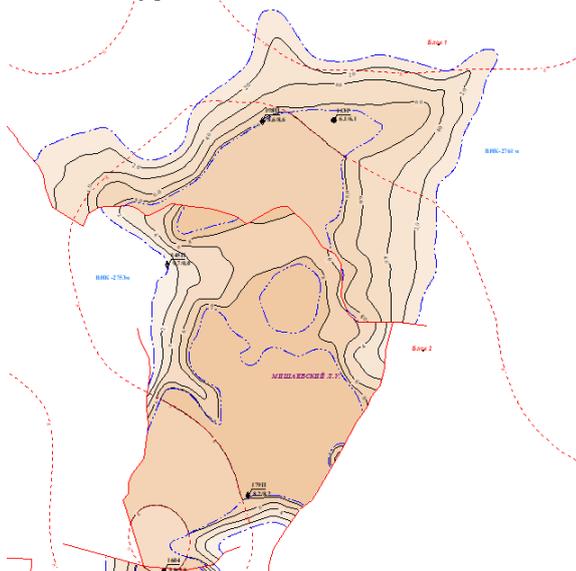


Рисунок 3. Карта эффективных ННТ пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>

### **Выводы**

Формирование верхнеюрских отложений васюганской свиты сопровождалось погружением блоков по конседиментационным разломам, которые в данном случае являются экранирующими и препятствующими дальнейшей миграции флюидов между блоками. Установлено, что залежи в пластах верхнеюрского комплекса приурочены к ловушкам структурного типа и контролируются в большей степени тектоническими нарушениями, а не литологическими экранами.

### **Библиография**

1. Акчурин, И.О. Буханов Д.А. Учет зоны аномального развития бажендовской свиты с целью геометризации восточной залежи пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> Нонг-Еганского месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2020. 24-29 с
2. Бембель С.Р. Моделирование сложнопостроенных залежей нефти и газа в связи с разведкой и разработкой месторождений Западной Сибири: автореф. дис. – Тюмень 2011
3. Гутман. И.С. Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин. М.: Недра, 2013. 112 с.
4. Гутман. И.С. Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин. М.: Недра, 2013. 112 с.
5. Рычков В.А. Нафикова А.С. Палеотектонический анализ пласта ЮВ11 Нонг-Еганского месторождения // Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири, 2022 88-98 с.

*Анализ подходов к оценке геологических рисков при классификации ресурсов и запасов  
углеводородов в аспекте государственного управления фондом недр*

*Михальченко Д.Д.\* (МГРИ, DDMikhailchenko@gmail.com),*

*Потемкин Г.Н. (МГРИ, potemkingn@mgri.ru)*

**Аннотация**

В работе рассматриваются особенности оценки геологических рисков при реализации государственного управления недропользованием. В процессе оценки ресурсов и запасов риски определяются величиной подтверждаемости количества углеводородов при переходе в более высокие категории с ростом зрелости проекта. Поскольку отраслевой регламент или иной общепринятый методический документ по учету геологических рисков в настоящее время отсутствует, косвенно судить о действующей системе оценки рисков в ходе геологоразведочного процесса можно на основе нормативных документов, определяющих размер стартового платежа за пользование недрами. Авторами проведен анализ изменения подходов к определению рисков, то есть вероятности неподтверждения ресурсов и запасов нефти и газа, закрепленных законодательно, и разработаны рекомендации по совершенствованию действующей системы.

**Ключевые слова**

Оценка рисков, геологический риск, геологоразведочные работы, классификация запасов и ресурсов, стоимостная оценка ресурсов.

**Теория**

Проблема подтверждаемости ресурсов и запасов при повышении их изученности вызывает большой интерес, особенно среди геологов-практиков и имеет очевидное значение при управлении запасами как на уровне государства, так и для нефтегазовых компаний [6].

Основным документом, определяющим принципы категоризации запасов и ресурсов в России, является Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов, утвержденная приказом Минприроды России от 01.11.2013 № 477 (далее – Классификация РФ-2013). Классификация РФ-2013 устанавливает единые принципы подсчета и учета запасов и ресурсов углеводородного сырья (УВС), базируясь на двух основных принципах: степени геологической изученности и степени промышленного освоения.

Основным назначением классификации запасов в РФ является государственный учет запасов УВС, обеспечения управления фондом недр со стороны государства, реализация принципов эффективного использования недр как в части реализации программ геологического изучения недр, так и в части лицензирования недр. Для пользователей недр Классификация РФ-2013 также предоставляет возможность осуществлять внутренний учет запасов, проектировать геологоразведочные работы и оценивать эффективность их проведения, осуществлять управление разработкой месторождений.

Исходя из общих принципов выделения категорий запасов и ресурсов в российской классификации, степень неопределенности для запасов возрастает в ряду категорий  $A - B_1 - C_1 - B_2 - C_2$ . При этом для категории  $C_1$  геологические риски ниже, чем для  $B_2$ , но выше, чем для  $B_1$ , поскольку категории  $C_1$  и  $C_2$  выделяются для месторождений в разведке, а для  $B_1$  и  $B_2$  – для разрабатываемых месторождений. В ряду категорий ресурсов степень неопределенности растет от подготовленных ресурсов  $D_0$  к локализованным  $D_l$  и далее к перспективным  $D_1$  и прогнозируемым  $D_2$ . Различие между категориями нелокализованных ресурсов  $D_1$  и  $D_2$  заключается в том, установлена ли уже нефтегазоносность района ( $D_1$ ) или нет ( $D_2$ ).

Разделение категорий запасов по разведываемым и разрабатываемым месторождениям в действующей классификации РФ, а также корректировка подходов к категоризации и оценке рентабельных запасов и увязка со схемой стадийности геологоразведочных работ и освоения

месторождений, привело к усилению текущего статуса проекта при категоризации запасов. Рост зрелости проекта приводит к снижению уровня рисков и неопределенностей и повышению вероятности коммерчески эффективной добычи УВС.

Специализированного документа, который определяет методику оценки рисков при управлении запасами и ресурсами в РФ, либо устанавливает стандартные величины рисков по стадиям – нет. Косвенно судить о действующей системе оценки рисков в ходе геологоразведочного процесса можно на основе документов, определяющих размер стартового платежа за пользование недрами.

В соответствии с Приказом Минприроды России от 30.09.2008 № 232 [3] при расчете стартового платежа за пользование недрами геологические запасы УВС категорий АВС<sub>1</sub> учитываются в полном объеме, категории С<sub>2</sub> – с коэффициентом 0,5, С<sub>3</sub> – с коэффициентом 0,25, D<sub>1л</sub> с коэффициентом 0,15, D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> – с коэффициентом 0,1. То есть именно эти коэффициенты можно считать оценкой подверженности ресурсов и запасов при переходе между категориями (лишь 10 % нелокализованных ресурсов D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> могут перейти в доказанные категории запасов).

Изменениями от 14.05.2009 [4] в методику расчета внесены корректировки, согласно которым для категорий ресурсов, помимо основных понижающих коэффициентов, вводится дополнительный поправочный коэффициент, учитывающий сроки проведения работ по геологическому изучению, необходимых для подтверждения и перевода ресурсов полезных ископаемых из низких в более высокие категории. Этот коэффициент рассчитывается по формуле:  $\frac{1}{(1+E)^t}$  и зависит от ставки рефинансирования Центрального Банка (E) на момент оценки и от срока проведения работ (t), который для ресурсов С<sub>3</sub> и D<sub>1л</sub> принимается равным 5 годам, а для D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> – 10 годам.

Зависимость дополнительного поправочного коэффициента от ключевой ставки показана на рисунке 1А. Так, если выполнить расчет по ставке за 2009 г., которая составляла 11 %, коэффициенты для локализованных ресурсов (С<sub>3</sub> и D<sub>1л</sub>) снизятся еще на 40 %, а для нелокализованных (D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub>) – на 65 %. В 2011 году методика вновь была модернизирована в части расчета величин ресурсов [5]. Так, в поправочный коэффициент  $\frac{1}{(1+E)^t}$  коэффициент E стал входить с множителем 1,5:  $\frac{1}{(1+1,5 \cdot E)^t}$ . На рисунке 2Б показана зависимость поправочного коэффициента по методике 2011 года.

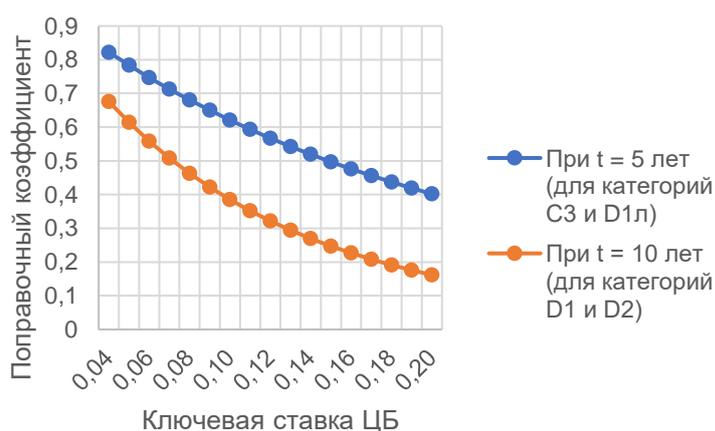


Рисунок 1. А – по методике 2009 г.

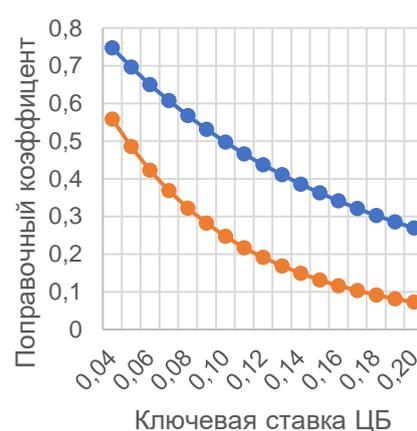


Рисунок 2. Б – по методике 2011 г.

Также введена дифференциация коэффициента подтверждаемости для подготовленных ресурсов (на тот момент – С<sub>3</sub>), который для Европейской части России, а также для Западной

Сибири принимается равным 0,2, для Восточной Сибири и Дальнего Востока – 0,15, а для шельфа – 0,25. Снижены базовые коэффициенты подтверждаемости для категории D<sub>1л</sub> с 0,15 до 0,10, а для D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> – с 0,1 до 0,05.

Данная методика практически в неизменном виде сохранилась в действующем приказе Минприроды № 242 и Роснедр № 01 от 31.03.2022 г. [2], за исключением уточнения индексации категорий в действующей классификации. Изменения показаны в таблице 1.

Также в приказе учитываются риски, связанные со степенью изученности региона и его географо-экономическим положением, дифференцировано по категориям запасов. Для этого применяется коэффициент изученности, расчет которого зависит от региона и от степени изученности участка, то есть от соотношения величин запасов и ресурсов разных категорий. Регионы ранжированы по величине риска освоения участков недр (низкий, средний, высокий и очень высокий).

Кроме того, в приказе учитываются риски, связанные со степенью изученности региона и его географо-экономическим положением, дифференцировано по категориям запасов. Для этого применяется коэффициент изученности, расчет которого зависит от региона и от степени изученности участка, то есть от соотношения величин запасов и ресурсов разных категорий. Также в методику входит параметр K<sub>гл</sub>, характеризующий глубину залегания продуктивного пласта, что также отражает очевидную тенденцию к увеличению рисков с ростом глубины залегания пластов. Так, коэффициент K<sub>гл</sub> может принимать значения от 1,6 при нулевой глубине залегания до 1,0 при залегании глубже 6000 м.

Исходя из того, что описанные выше параметры входят в методику расчета платежа за пользование недрами, они учитывают риски перевода ресурсов и запасов в процессе ГРП с позиции государства при регулировании отношений в недропользовании. Тенденция к снижению коэффициентов для ресурсов в нормативных документах после 2008 года (таблица 1), с одной стороны, может трактоваться как реакция регулятора на повышение рисков ГРП на ранних стадиях в связи с ухудшением структуры ресурсной базы, но с другой стороны, является инструментом экономического стимулирования недропользователей к получению прав на слабоизученные участки, и, как следствие, вовлечение бизнеса в ГРП на ранних стадиях.

Таблица 1

Эволюция переводных коэффициентов для запасов УВС различных категорий в методике расчета стартового платежа за пользование недрами

Приказ № 232 от 30.09.2008 [2]			Приказ № 232, в редакции 2009 [4]			Приказ № 232, в редакции 2011 [5]			Приказ № 242 от 31.03.2022 [2]		
Категория	Коэффициент		Категория	Коэффициент		Категория	Коэффициент		Категория	Коэффициент	
A B C <sub>1</sub>	1		A B C <sub>1</sub>	1		A B C <sub>1</sub>	1		A B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	1	
C <sub>2</sub>	0,5		C <sub>2</sub>	0,5		C <sub>2</sub>	0,5		B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0,5	
C <sub>3</sub>	0,25		C <sub>3</sub>	0,15*		C <sub>3</sub>	0,11**		D <sub>0</sub>	0,11**	
D <sub>1л</sub>	0,15		D <sub>1л</sub>	0,09*		D <sub>1л</sub>	0,06*		D <sub>л</sub>	0,06*	
D <sub>1</sub>	0,1		D <sub>1</sub>	0,04*		D <sub>1</sub>	0,02*		D <sub>1</sub>	0,02*	
D <sub>2</sub>	0,1		D <sub>2</sub>	0,04*		D <sub>2</sub>	0,02*		D <sub>2</sub>	0,02*	

\* ориентировочный расчет при ключевой ставке на год ввода методики

\*\* ориентировочный расчет при коэффициенте подтверждаемости для категории C<sub>3</sub>/D<sub>0</sub>, равном 0,2

Первоначально введенные в 2008 году переводные коэффициенты для запасов ( $C_2 - 0,5$ ) и ресурсов ( $0,25$  и  $0,15$  для  $C_3$  и  $D_{1л}$  соответственно,  $0,1$  – для  $D_1$  и  $D_2$ ) имеют применение во внутренних экспресс-оценках многих компаний, поскольку они основаны на длительном опыте геологоразведочных работ.

### **Выводы**

В работе проведен анализ подходов к оценке рисков неподтверждения величин ресурсов и запасов при регулировании пользования недрами со стороны государства, а также показаны изменения этих подходов с 2008 года до настоящего времени.

Отмечается тенденция к снижению коэффициентов для всех категорий ресурсов, особенно для нелокализованных. Так, начальные суммарные ресурсы (НСР) нефти по всей территории России по состоянию на 01.01.2020 составляют порядка 87,2 млрд т, в том числе запасы категорий  $A+B_1+C_1 - 19$  млрд т,  $B_2+C_2 - 12,4$  млрд т, ресурсы категории  $D_0 - 14,5$  млрд т, а категорий  $D_1+D_2 - 41,3$  млрд т [1]. Если выполнить приблизительный расчет с использованием действующих переводных коэффициентов, то суммарная величина НСР сократится до 27,6 млрд т.

Использование переводных коэффициентов для различных категорий ресурсов и запасов представляет собой понятный экспресс-инструмент для определения прогнозной ценности полезных ископаемых с учетом достигнутой степени изученности и промышленного освоения, а также для сопоставления участков недр. Тем не менее, методика, применяемая для определения стартового платежа, может быть уточнена за счет дифференциации коэффициентов для категорий  $D_1$  и  $D_2$ , корректировки методики определения риска освоения участков недр и т.д.

### **Библиография**

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2020 году // М.: Роснедра. – 2021. – С. 15.
2. Приказ Минприроды России N 242, Роснедр N 01 от 31.03.2022 (ред. от 19.12.2023) «Об установлении Методики расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами».
3. Приказ Минприроды России от 30.09.2008 N 232 «Об утверждении методики по определению стартового размера разового платежа за пользование недрами».
4. Приказ Минприроды России от 14 мая 2009 г. N 128 «О внесении изменений в приказ Минприроды России от 30 сентября 2008 г. N 232».
5. Приказ Минприроды России от 22 июня 2011 г. N 553 «О внесении изменений в приказ Минприроды России от 30 сентября 2008 г. N 232».
6. Хафизов С.Ф. Подтверждаемость запасов при переводе в более высокие категории на примере месторождений Западной Сибири // Недропользование XXI век, № 6, 2015, С.74-79.

**Условия формирования залежей углеводородов в Центральном Каспии и прилегающей  
территории Восточного Предкавказья.**

**Романов П.А. \* МГРИ, romanovpa@mgri.ru,**

**Научный руководитель: Керимов В.Ю. МГРИ kerimovvy@mgri.ru**

**Аннотация**

Углеводородный потенциал Центрально-Каспийского региона является значимым элементом мирового баланса топливно-энергетических ресурсов. Однако в его оценках, представляемых разными экспертными группами наблюдаются существенные расхождения, обусловленные политическими и экономическими интересами фактических и потенциальных участников нефтегазовых проектов [1], способные так или иначе влиять на выработку и принятие инвестиционных и управленческих решений разного уровня в отношении развития геологоразведочных работ и освоения этого потенциала.

Актуальность предлагаемого проекта заключается в совершенствовании существующих фундаментальных концепций формирования структурно-геодинамических и углеводородных систем Центрально-Каспийского региона. Важным фактором здесь является пространственно-временная нестабильность напряженно-деформированного состояния земной коры, существенно влияющая на развитие процессов структуроформирования, изменение коллекторских свойств горных пород и флюидодинамику осадочного чехла. Таким образом, оценка влияния геодинамических процессов на эволюцию углеводородных систем в осадочных бассейнах, особенно характеризующихся повышенным сейсмотектоническим потенциалом, является актуальным вопросом прогноза размещения новых месторождений углеводородов.

**Ключевые слова**

Центральный Каспий, углеводороды, потенциал, залежь.

**Теория**

Каспийское море имеет весьма длительную, почти вековую историю изучения его геологического строения и минерально-сырьевого, в том числе углеводородного потенциала и относится к числу наиболее изученных. Здесь выполнен широкий спектр геологических, геофизических, геохимических и прочих исследований, имеющих как научный, так и производственный, собственно геологоразведочный характер.

Геотермические (термометрические) исследования были проведены более, чем в 200 точках в Среднем Каспии и на его сухопутном обрамлении. Сейсмическими исследованиями регионального, поискового и детального масштабов (2D) с разной плотностью сети наблюдений покрыта вся акватория, входившая в состав вод бывшего Советского Союза (рис. 1.1). На новейшем историческом этапе (1994-2021 гг.) существенный прирост сейсмической изученности произошёл также в отдельных районах Среднего Каспия.

По результатам сейсмических исследований в акватории Каспийского моря выявлено более 580 нефтегазопроисловых объектов различного, но преимущественно-структурного происхождения, 65 % которых приходится на Центрально-Каспийскую впадину. Часть объектов, как показало бурение, содержит крупные запасы углеводородов, имеющие не только региональное, но и мировое значение.

Каспийское море относится к категории относительно хорошо разбуренных морских регионов (см. рис. 1). В его акватории и на прилегающих побережьях пробурено более 4400 скважин разной глубины и назначения, в том числе 900 глубоких скважин.

Скважинами глубокого бурения по состоянию на период 2020-2021 гг. в той или иной мере охарактеризованы верхние, а местами и средние части осадочного разреза всех районов каспийского моря. В Северном Каспии бурением вскрыты верхнепалеозойские подсолевые карбонаты, в Среднем Каспии некоторые скважины достигли отложений переходного (пермско-триасового) комплекса.

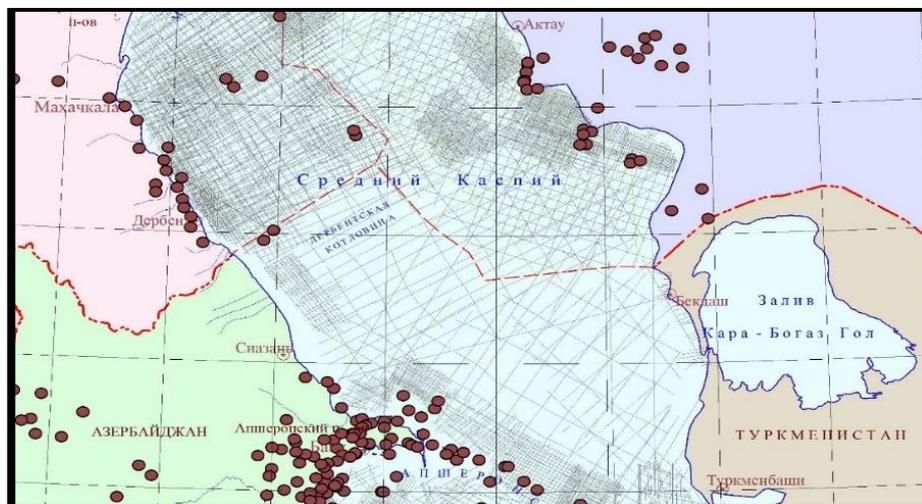


Рисунок 1. Карта сейсмической и буровой изученности акватории Центрального Каспия. 1 – разноцелевые скважины глубокого бурения, 2 – линии профилей региональной, поисковой и детальной сейсморазведки 2, 3 – государственные границы (а) и линии делимитации акваторий

По распределению глубин и особенностям топографии дна Каспийское море делится на три физико-географической провинции, или бассейна – Северный, Средний и Южный Каспий. Границы между ними представлены выраженными в рельефе дна порогами – Мангышлакским и Апшерон-Прибалханским (см. рис. 2.)

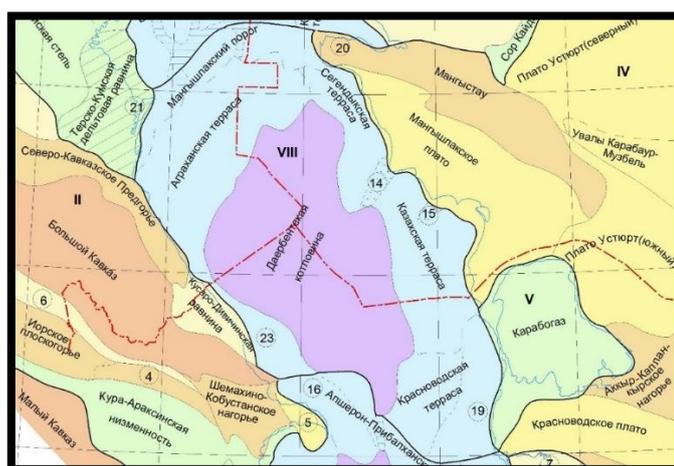


Рисунок 2. Физико-географическая схема Центрально-Каспийского региона

Наиболее обширные участки неглубокого залегания поверхности фундамента расположены в восточной части акватории Среднего Каспия, примыкающей к Южно-Мангышлакско-Карабогазскому побережью. Один из них, с глубинами поверхности фундамента 2-3 км, примыкает к району п-ова Песчаного мыса. Другой участок, с минимальными глубинами поверхности фундамента менее 1,0 км, а средними – 2,0-3,0 км, занимает пространство залива Карабогаз-Гол и часть Каспийского шельфа, примыкающую к Краснодарскому и Кендырлинскому п-овам (см. рис.3). Участки разделены прогибом Казахского залива (см. рис. 3), в котором поверхность фундамента погружена до глубин 5,0-7,0 км[2].

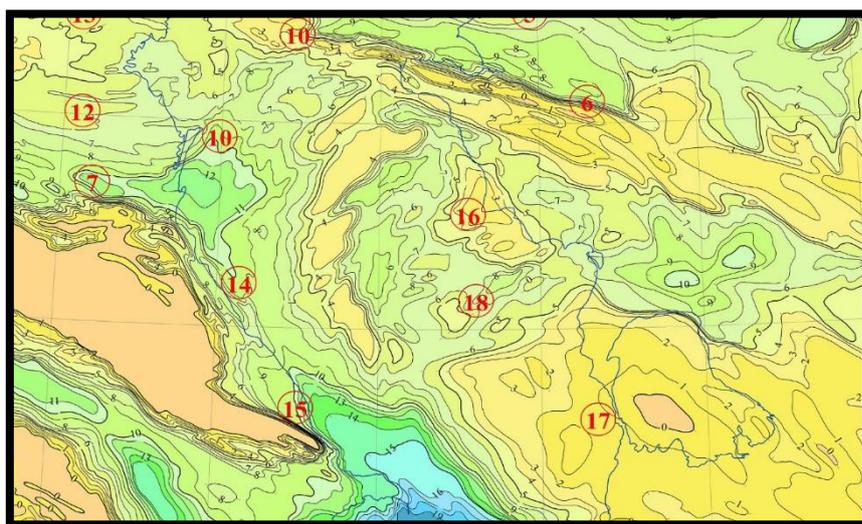


Рисунок 3. Сводная структурная карта поверхности разновозрастного фундамента Центрально-Каспийского региона и прилегающих территорий

К числу главных структурных элементов впадины Каспийского моря и прилегающих территорий относятся, пересекаемые акваторией сегменты Восточно-Европейской и Скифско-Туранской платформ, Терско-Каспийский прогиб, Южно-Каспийская впадина и элементы складчато-орогенных структур Альпийско-Гиммалайского пояса. Принципиальный сейсмогеологический разрез платформенных структур и элементов Альпийско-Гималайского пояса в акватории Каспия приведён на рисунке 4.

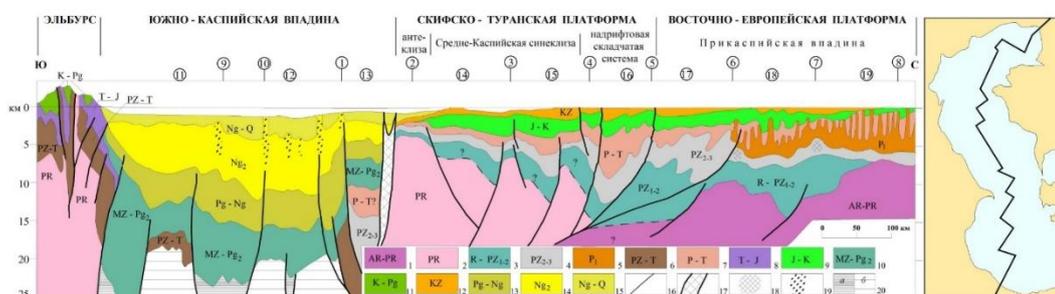


Рисунок 4. Принципиальный геологический разрез Каспийского моря по синтетической линии сейсмических разрезов. По [Глумов, Маливицкий, Новиков и др., 2004] с изменениями и дополнениями. На врезке – положение синтетической линии

Соотношение особенностей количественного и качественного распределения скоплений УВ в регионе (см. рис.5) демонстрирует наличие в его геологическом разрезе крупных стратиграфических интервалов – нефтегазоносных мегакомплексов, характеризующихся относительно повышенной нефтегазопродуктивностью, разделённых интервалами её отсутствия или существенного снижения (до единичных скоплений) и определяемых крупными этапами развития нефтегазоносных провинций в целом[3].

Месторождений/скоплений нефти, газа и конденсата, крайне неравномерно распределённых по выделяемым здесь нефтегазоносным областям.

В частности, показано, что наибольшее число месторождений разного состава связано с новейшим тектоно-седиментационными циклами и что в месторождениях развиты как газовая и конденсатная фазы флюидного состава, так и нефтяная[4].

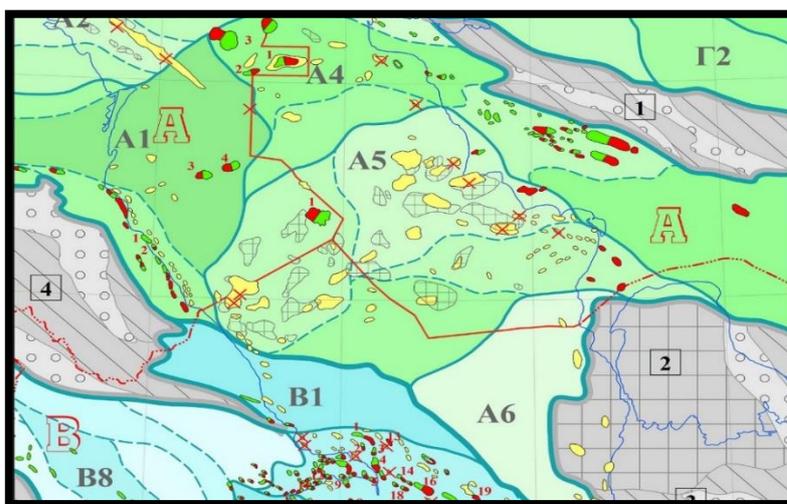


Рисунок 5. Нефтегазоносные провинции и области Центрально-Каспийского региона. А1. Терско-Каспийская НГО: а – Южно-Дагестанский НГР (месторождения: 1 – Избербаш, Инчехомре), б – НГР Северного борта/Моздокско-Кизлярский, в – НГР Сулакского прогиба (месторождения: 3 – Хазри 4 – Титонское (в разведке)). А4. Южно-Мангышлакская НГО: а – Сегендыкский НГР (месторождения: 1 – Хвалынское, 2 – 170-й км, 3 – им. Кувыкина, 4 – Южное (в разведке)); б – Тюб-Караганский НГР, в – Южно-Сегендыкский ПНГР, г – Жетыбай-Узеньский НГР, д – Жазгурлинский НГР. А5. Центрально-Каспийская НГО: а – Ялама-Самурский НГР (месторождения: 1 – Центральное), б – Песчаномыско-Ракушечный НГР, в – Аксу-Кендырлинский ГНР, г – Казахского залива ПНГР. А6. Западно-Карабогазская ПНГО

### **Выводы**

Оценка условий формирования Центрально-Каспийского региона позволит провести анализ миграции и уточнение структурных элементов, что позволили определить перспективные направления ГРП на нефть и газ

### **Библиография**

1. Серикова У.С., Романов П.А. Оценка условий формирования и распределения ловушек и залежей в Каспийском регионе. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022;(4):64-80. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-4-64-80>
2. Kerimov V. Yu. Mustaev R. N. Lavrenova E. A. Romanov P. A. Regularities of hydrocarbons accumulations in the Meso-Cenozoic complex of the Black Sea-Caspian region SOCAR Proceedings DOI: 10.5510/OGP2022SI100656

3. Kerimov V. Yu. Mustaev R. N. Lavrenova E. A. Romanov P. A. Modeling of hydrocarbons migration and accumulation processes in the Meso-Cenozoic complex of the Black Sea-Caspian Region SOCAR Proceedings DOI: 10.5510/OGP2022SI100657
4. Kerimov V. Yu. Lavrenova E. A. Mustaev R. N. Romanov P. A. Forecast of hydrocarbons accumulations in the Meso-Cenozoic complex of the Black Sea-Caspian region from modeling results SOCAR Proceedings DOI: 10.5510/OGP2022SI100658

**Оценка влияния пористости на упруго-прочностные свойства образцов керн  
Верхнеказымского месторождения.**

*Усманов Д.Т.\* (МГРИ, dinislam\_00@list.ru),*

*Научный руководитель: Попов С.Н. (ИПНГ РАН, popov@ipng.ru)*

**Аннотация**

На основе данных испытаний образцов керн Верхнеказымского месторождения были выявлены закономерности между упруго-прочностными свойствами и пористостью для различных образцов песчаника.

Также были получены корреляционные зависимости, что даёт возможность для вычисления упруго-прочностных параметров на основе распределения пористости, полученной на геологической модели или при геофизических исследованиях скважин.

**Ключевые слова**

Пористость, порода, керн, упруго-прочностные свойства, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел прочности, коэффициент корреляция.

**Теория**

Упруго-прочностные свойства пород являются важными характеристиками, определяющими их поведение при механических нагрузках. Пористость, в свою очередь, является одним из ключевых структурных параметров пород, влияющих на их физические и механические свойства [1].

Следует отметить, что модуль Юнга и коэффициент Пуассона характеризуют упругие свойства горных пород, в то время как показатели предельного растяжения и сжатия относятся к прочностным параметрам [2].

В качестве исходных данных были взяты результаты упруго-прочностных испытаний образцов горных пород Верхнеказымского месторождения. Для получения более наглядных результатов было решено использовать только данные по песчанику.

При построении графиков зависимости модуля Юнга (рис. 1) и коэффициента Пуассона (рис. 2) от пористости были получены коэффициенты корреляции равные 0,73 и 0,61 соответственно, что довольно неплохой результат. В целом можно отследить следующую вполне закономерную тенденцию:

- модуль Юнга уменьшается с увеличением пористости, что вполне логично, ведь поры обуславливают уменьшение плотности породы и мешают передаче напряжений, тем самым снижается жёсткость породы [3].
- коэффициент Пуассона также уменьшается с увеличением пористости, хотя интервал изменения данного параметра достаточно невелик.

На следующем этапе были построены графики зависимостей пределов прочности на сжатие (рис. 3) и растяжение (рис. 4) от пористости. Коэффициенты корреляции для них составили 0,84 и 0,61, что говорит о достаточно высокой связи этих параметров.

С увеличением пористости уменьшаются как предел прочности на сжатие, так и предел прочности на растяжение. Это объясняется тем, что поры служат местами начала разрушения материала и препятствуют нормальному распределению напряжений, что уменьшает его прочность.

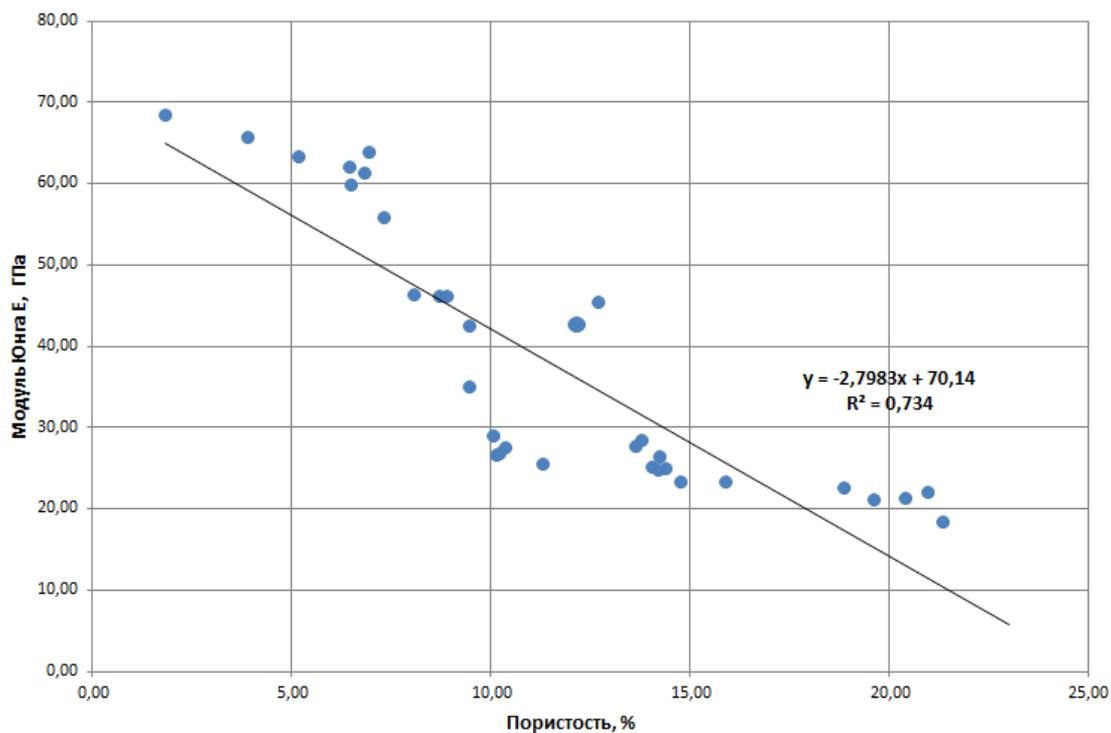


Рисунок 1. График зависимости модуля Юнга от пористости

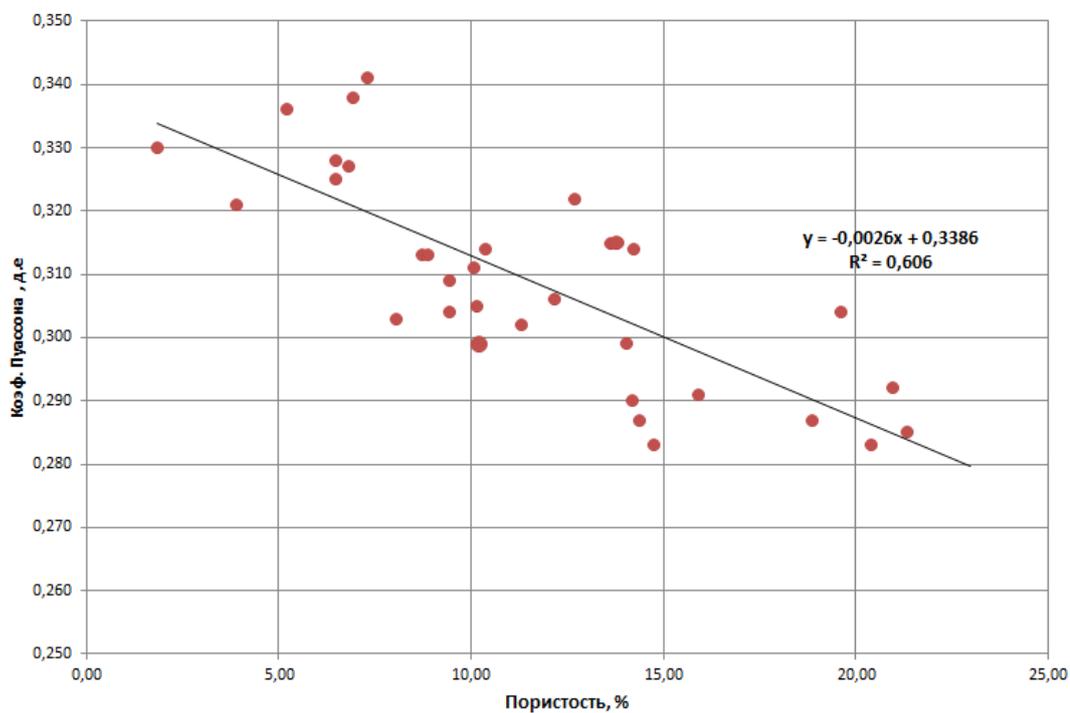


Рисунок 2. График зависимости коэффициента Пуассона от пористости

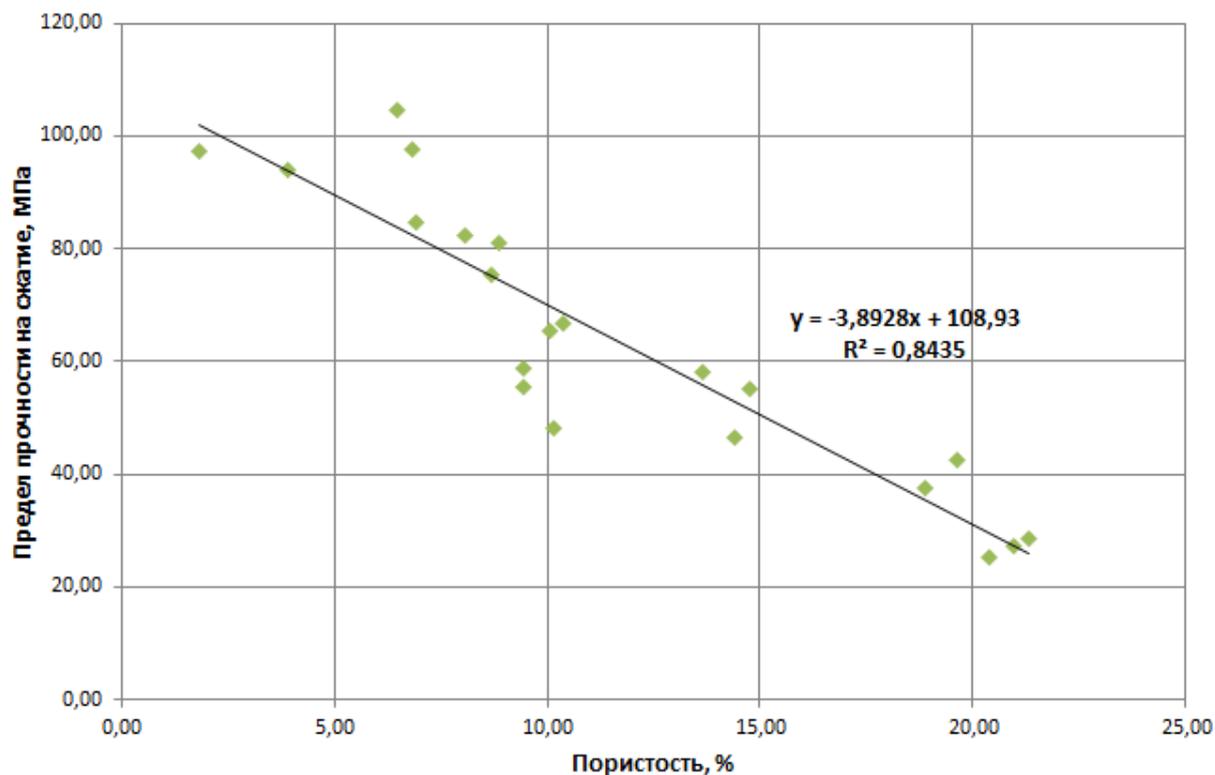


Рисунок 3. График зависимости предела прочности на сжатие от пористости

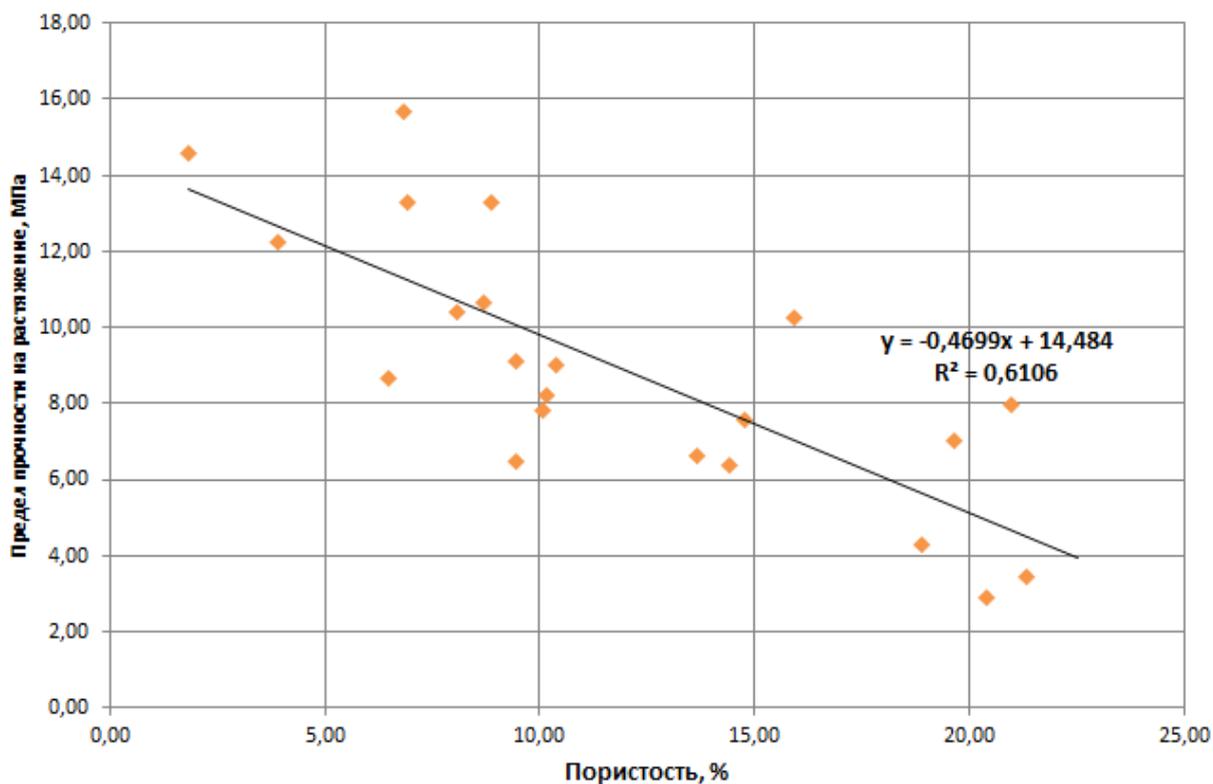


Рисунок 4. График зависимости предела прочности на растяжение от пористости

### **Выводы**

Исходя из полученных зависимостей и данных корреляции, можно сделать вывод о том, что наличие пустотного пространства, безусловно, оказывает существенное влияние на упруго-прочностные параметры горных пород. Увеличение пористости приводит к уменьшению модуля Юнга и коэффициента Пуассона, а также снижению пределов прочности на сжатие и растяжение. В целом пористость достаточно хорошо коррелирует с данными параметрами и минимальное значение коэффициента корреляции составил 0,61 (для коэффициента Пуассона), лучше всего с пористостью коррелирует предел прочности на сжатие – 0,84. Кроме этого, стоит отметить, что при выборе данных для исследования не были учтены такие параметры как карбонатность, степень насыщения флюидами, структура и текстура песчаника, которые могли повлиять на результаты исследований.

Полученные зависимости очень сильно могут помочь на этапе проектирования и строительства скважин, где необходимо учитывать упруго-прочностные параметры пород с учётом их пористости для выбора оптимальных методов бурения и обсадки скважин, для чего обычно строится геомеханическая модель [4], чтобы прогнозировать поведение залегающих толщ при механических и силовых воздействиях. Кроме того, знание упруго-прочностных параметров позволяет оптимизировать процессы разработки и увеличить эффективность добычи.

### **Библиография**

1. Городнов А.В., Черноглазов В.Н., Равилов Н.Ш. Упругие свойства горных пород при статических и динамических нагрузках // Геофизика. 2017. № 6. С. 19-24.
2. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 10 с.
3. Павлов В.А., Лапин К.Г., Гаврись А.С. и др. Оценка влияния геомеханических эффектов на изменение фильтрационно-емкостных свойств в условиях слабосцементированного коллектора // Территория Нефтегаз. 2019. № 10. С. 46-52.
4. Субботин М.Д., Павлов В.А. и др. Комплексное планирование лабораторных исследований кернa для геомеханического моделирования на примере объектов АО "Сибнефтегаз" // Каротажник. 2022. № 6 (320). С. 44-56.

***Условия формирования и сохранности ловушек углеводородов в пределах сочленения  
Кортаихинской впадины и складчато-надвиговых зон Урала***  
***Бондарева Л.И.\* (ИПНГ РАН, liana\_bondareva@ipng.ru),***  
***Осипов А.В. (МГРИ, osipovav@mgri.ru),***  
***Бондарев А.В. (Рок Флоу Динамикс, jcomtess@yandex.ru)***

**Аннотация**

Кортаихинская впадина – тектоническая структура Предновоземельского передового прогиба Урало-Новоземельской складчатой системы, осложненная складчато-надвиговыми зонами.

Впадина недостаточно изучена сейсморазведкой и слабо изучена бурением. Однако, при бурении ряда поисковых скважин на уголь и опорно-параметрических скважин на нефть и газ были выявлены признаки нефтегазоносности в палеозойских отложениях, что определяет перспективы рассматриваемой территории.

В работе с применением методики структурно-кинематического моделирования изучены тектонодинамическая эволюция, типы разрывных нарушений, условия формирования и сохранности ловушек углеводородов различного генезиса в пределах сочленения Кортаихинской впадины и Васьягино-Сабриягинской и Вашуткино-Талотинской складчато-надвиговых зон.

В результате исследования выделены и ранжированы ловушки благоприятные для формирования залежей нефти и газа.

**Ключевые слова**

Кортаихинская впадина, складчато-надвиговые зоны, структурно-кинематическое моделирование, структурные парагенезы, ловушки углеводородов.

**Источники финансирования**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Теория**

Кортаихинская впадина характеризуется наличием пликативных дислокаций и дизъюнктивных нарушений взбросо-надвигового типа, которые были сформированы за счет коллизионных процессов. Впадина имеет слабую геолого-геофизическую и буровую изученность, вместе с тем имеющиеся признаки нефтегазоносности свидетельствуют о том, что вышеописанные структуры могут служить благоприятными ловушками углеводородов (УВ).

С целью выявления перспективных ловушек для поисков нефти и газа было проведено двумерное структурно-кинематическое моделирование в ПК «Move» компании Midland Valley. Структурно-кинематическое моделирование позволяет провести балансировку, палеорекопструкцию, изучить геометрию движения слоев, типизировать разрывные нарушения и структуры [2,5]. Для проведения исследования был выбран разрез №15-РС (интерпретация Макаревича В.Н., ВНИГРИ, 2009 г.), пересекающего Кортаихинскую впадину и складчато-надвиговые зоны.

Для создания ретроспективных динамических структурных моделей были изучены «структурные парагенезы» – устойчиво повторяющиеся, целостные комплексы структурных форм. Были выделены следующие парагенезы: Васьягино-Сабриягинский, Вашуткино-Талотинский надвиг (II), серия наклонных и опрокинутых складок в аллохтоне (III), серия прямых и слабо наклонных складок в автохтоне (IV), серия взбросов, сбросов (V), надвиговая система «чешуйчатый веер» (VI), надвиговая система – дуплексная (VII), рамповая складка (IX), «цветочная» структура (X), ретро-надвиг (XI) (Рисунок 1) [1].

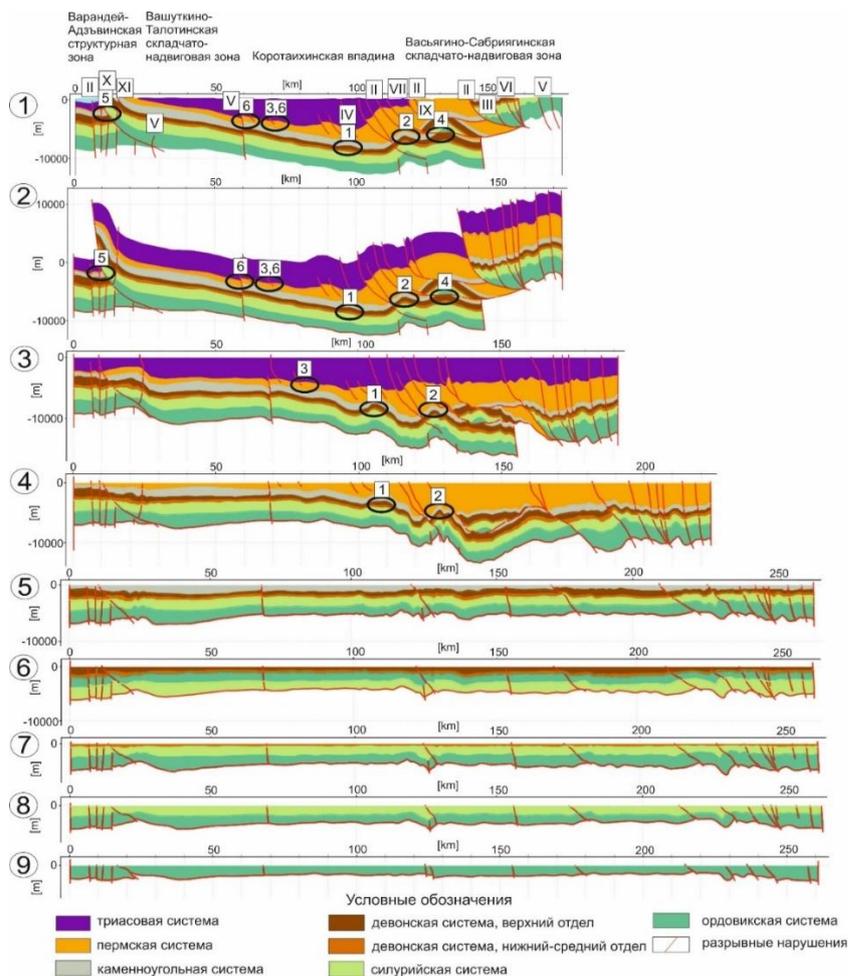


Рисунок 1. Палеореконструкция сейсмогеологического разреза №15-РС, пересекающего Кортаихинскую впадину и складчато-надвиговые зоны Урала [1]. Условные обозначения: римскими цифрами – структурные парагенезы., арабскими цифрами – ловушки УВ; 1 – оцифрованный разрез, 2 – сбалансированный разрез, 3 – к концу триасового периода, 4 – к концу пермского периода, 5 – к концу каменноугольного периода, 6 – к концу позднедевонской эпохи, 7 – к концу среднедевонской эпохи, 8 – к концу силурийского периода, 9 – к концу ордовикского периода

Метод балансировки используется для проверки структурной интерпретации сейсмических данных и качества построения разрезов [2]. Балансировка разрезов позволяет провести реконструкцию и оценить мощности эродированных отложений, учет которых очень важен при моделировании [3,6]. Восстановление эродированных поверхностей производилось вручную. Удлинения палео профилей позволяют оценить интенсивность горизонтального сжатия. По результатам балансировки рассчитанные максимальные амплитуды эрозии составляют до 6 км, удлинение разреза к концу триасового периода составило 18% (Рисунок 1, профиль 1).

Палеореконструкции позволяют восстановить геометрию и конфигурацию слоев до формирования складчато-надвиговых зон в предеформационное состояние [2,4]. Была проведена интерполяция взаимного расположения дислокаций и структурных форм между палео профилями. До среднего девона в условиях растяжения при спокойных обстановках происходило осадконакопление преимущественно терригенно-карбонатных и сульфатно-галогенных отложений, формировались сбросовые дислокации (Рисунок 1, профиль 7) [1,3,4].

Далее за счет активных процессов сжатия начали формироваться взбросовые нарушения, которые являлись благоприятными путями для миграции нефти и газа (Рисунок 1, профиль 6). В позднем палеозое происходила коллизия по типу «континент-континент» [7], взбросы преобразовались в надвиги – Вашуткино-Талотинский и Васьягино-Сабриягинский, сформировались рамповая антиклиналь и взбросо-складки (Рисунок 1, профиль 4). В позднепермское-триасовое время происходило «залечивание» разрывных нарушений и эрозионно-денудационные процессы. В зоне сочленения Коротаихинской впадины и складчато-надвиговых зон были эродированы отложения от триасового до силурийского возраста (Рисунок 1, профиль 1).

Структурно-кинематическое моделирование позволяет оценить условия формирования и сохранности ловушек УВ различного генезиса. Изучались структурные сводовые и тектонически-экранированные ловушки в палеозойских отложениях. Так, в раннепермское время, за счет «мягкой коллизии» по Пучкову В.Н. [7] были сформированы сводовые ловушки УВ в отложениях девонского (№1-нумерация ловушек в разрезе) и каменноугольного (№2) возраста (Рисунок 1, профиль 4). На этапе «жесткой коллизии» [9] к концу триасового периода происходило преобразование ловушек, а также формирование ловушек сводового типа в отложениях пермского возраста (№3). В постколлизийное время часть ловушек изменили конфигурацию, часть разрушились, другие преобразовались в ловушки тектонически-экранированного типа в структурах «пальмового цветка» и «пулл-аппарт» в отложениях девонского (№4), каменноугольного (№5) и позднепермского (№6) возраста (Рисунок 1, профиль 1-2). Вышеуказанные ловушки сохранены до настоящего времени и залегают на глубинах: от 2000-7000 м (Рисунок 1, профиль 1). В пределах Васьягино-Сабриягинской и Вашуткино-Талотинской складчато-надвиговой зоны большинство ловушек УВ в отложениях палеозойского возраста были разрушены за счет эрозионных процессов.

### **Выводы**

В ходе исследования было изучено геологическое строение и нефтегазоносность Коротаихинской впадины, а также прилегающих складчато-надвиговых зон.

С помощью структурно-кинематического моделирования были проведены балансировка, палеорекострукция, а также ранжированы разрывные нарушения, а также ловушки по следующим критериям: тип ловушек, тектонические события, время формирования ловушек, стратиграфия, глубина залегания.

Разрывные нарушения до коллизионных процессов являлись преимущественно сбросами, на этапе «мягкой коллизии» флюидопроводящими УВ взбросами, на этапе «жесткой коллизии» - флюидопроводящими УВ надвигами, на постколлизийном этапе флюидонепроводящими надвигами. Частично разломы сохраняли свой исходный тип.

Благоприятными объектами для поисков скоплений УВ являются ловушки палеозойского возраста, сводового типа, сформированные на этапе «мягкой» и «жесткой коллизии» и сохранившиеся до настоящего времени, а также тектонически-экранированного типа, сформированные на постколлизийном этапе.

### **Библиография**

1. Бондарева Л.И., Осипов А.В. Формирование и размещение ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральяского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. № 3. с. 52-65, 2023 г.
2. Гайдук В.В., Куксов С.В., Земцов П.А., Грищенко Д.В. Технология структурного кинематического моделирования на этапах поиска и разведки в складчато-надвиговых зонах // Научно-технический вестник ОАО «НК-Роснефть» №4, Выпуск 37, с. 5-9, 2014 г.

3. Керимов В.Ю. Моделирование углеводородных систем и месторождений нефти и газа. – М.: Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, с. 303, 2021 г.

4. Минлигалиева Л.И., Ермолкин В.И., Осипов А.В., Бондарев А.В., Монакова А.С. Геодинамическая эволюция и условия формирования ловушек углеводородов в зоне сочленения Предуральского краевого прогиба и Передовых складок Урала на основе структурно-кинематического моделирования // Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. №4 (297) с. 43-59, 2019 г.

5. Минлигалиева Л.И., Керимов В.Ю., Косьянов В.А., Мустаев Р.Н. Геомеханическое моделирование взбросо-надвиговых поясов южной части Предуралья // В сборнике: GEOMODEL 2019 - 21-я конференция по геологоразведке и разработке нефти и газа, Геленджик, 2019 г.

6. Минлигалиева Л.И., Керимов В.Ю. Условия формирования ловушек и залежей углеводородов в поднадвиговых зонах Предуралья // Недропользование XXI век, №4, с. 34-45, 2019 г.

7. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, с. 280, 2010 г.

*Ачимовский нефтегазоносный комплекс Западной Сибири –  
перспективный объект поисков крупных месторождений углеводородов  
Пуанова С.А. \* (Институт проблем нефти и газа РАН, [puanova@mail.ru](mailto:puanova@mail.ru)),  
Шакиров Р.Р. (ООО «НОВАТЭК НТЦ», [ravilshakirov@yandex.ru](mailto:ravilshakirov@yandex.ru))*

**Аннотация**

В докладе рассмотрены особенности углеводородных скоплений ачимовских отложений северных регионов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (НГБ). Приводится литофациальная характеристика комплекса, подчеркивается комбинированный сложный тип ловушек (клиноформы), оценивается нефтегазоматеринский потенциал ачимовского нефтегазоносного комплекса (НГК). Охарактеризованы количественные показатели крупности скоплений. Выделены зоны распространения флюидов различного фазового состояния и физико-химических свойств. В результате выполненного анализа геолого-геофизических данных определены границы распространения клиноформных комплексов в районе Ярудейского мегавала. Приведены существующие палеогеоморфологические условия, которые способствуют накоплению коллекторов с улучшенными свойствами в картируемых сейсмокомплексах.

**Ключевые слова**

Ачимовский нефтегазоносный комплекс, месторождения углеводородов, клиноформы, Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, крупность скоплений.

**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**

Ачимовские отложения Западной Сибири являются перспективным объектом поисков крупных месторождений УВ в Западной Сибири, одним из основных источников восполнения минерально-сырьевой базы страны. Однако, несмотря на то что неокомский НГК в Западной Сибири изучен относительно полно, ачимовские отложения, приуроченные к низам нижнемеловых толщ (берриас-нижний валанжин) и распространенные практически на территории всей Западной Сибири, продолжают оставаться недостаточно освещенными. О большой значимости и перспективности отложений говорит и проведенная на базе компании НОВАТЭК 23–24 мая 2023 в г. Тюмени геологическая конференция «Перспективы нефтегазоносности ачимовского и юрского комплексов севера Западно-Сибирской НГП» и заявление о необходимости проведения подобной конференции в дальнейшем для расширения площадки для научных и производственных дискуссий. Для оценки перспективности осадочного разреза нефтегазоносного бассейна необходим широкий комплекс исследований – геохимических, геоморфологических, палеотектонических, геофизических и др., именно эти проблемы и были озвучены на конференции и представлены в докладе.

Неокомский НГК можно охарактеризовать как один из важнейших в Западно-Сибирском НГБ. В нем содержится около 35% суммарных ресурсов УВ, в структуре которых доля нефти несколько превышает долю газа. С этим комплексом связано около 95% всей добычи нефти в бассейне. Потенциальные ресурсы этих залежей оцениваются как минимум в 5 млрд т нефти, 4,8 трлн м<sup>3</sup> газа и 1 млрд т конденсата [1].

**Литофациальные особенности ачимовских отложений**

Ачимовская толща, залегающая на глубинах 2500–4000 м, представлена пластами плотных мелкозернистых песчаников с глинисто-карбонатным цементом, разделенных пропластками глиен различной толщины (до 10–15 м). Характерной особенностью ачимовских отложений

является литологическая невыдержанность, чередование глинистых и песчаных пластов, клиноформное строение, а также изменчивая мощность и неравномерное распространение. А.А. Поляков и др. [4] на основе анализа 1200 залежей проводят деление ловушек по «морфологическому» строению, так как именно эти признаки важны на стадии разведки, когда основной задачей является выявление формы ловушки, вмещающей залежь УВ. Согласно предлагаемой классификации залежей нефти и газа, ловушки клиноформного строения относятся к группе литогенетических, к подгруппе несводовых, к типу – линз и полостей и классу седиментационных. Линзовидно-турбидитная глубоководно-морская природа ачимовской толщи до сих пор оспаривается некоторыми геологами. Так, Ермаков и др. (1997) отмечают, что на севере Западной Сибири ачимовская толща по всем признакам отвечает фациям русел, дельт, авандельт и мелкого моря.

#### **Геохимическая характеристика органического вещества ачимовских отложений**

Вопрос о принадлежности ачимовских глинистых пород к нефтематеринским до настоящего времени остается открытым из-за отсутствия достаточного фактического материала. Исследованные образцы аргиллитов имеют невысокое или близкое к нижнему пределу потенциально нефтематеринской породы содержание органического углерода – 0,61-2,41%. Нами были проанализированы данные пиролиза Рок-Эвал (аналитические материалы В.А. Скоробогатова, 1997 г.) по ачимовским и нижнесреднеюрским отложениям полуострова Ямал, а также исследования сверхглубокой Тюменской скважины СГ-6. Анализ фактического материала показал, что ОВ ачимовских отложений на п-ове Ямал характеризуется умеренным катагенезом и смешанным сапропелево-гумусовым составом и отвечает зоне «нефтяного окна». Здесь на глубинах до 3800 м прогнозируются нефтяные скопления, а ниже до 4500 м – газоконденсатнонефтяные (ГКН). Иная картина отмечена на Уренгойском поднятии. Здесь по данным пиролиза граница ГКН зоны опущена ниже до глубин 4250 м на Уренгойской и Тюменской площадях и до 4750 м на Самбургской и Геологической [7].

#### **Нефтегазоносность ачимовских отложений**

Ачимовские отложения рассматриваются как самостоятельный НГК, входящий в состав неокомского продуктивного мегакомплекса. Об этом свидетельствует наличие мощной глинистой покрывки, перекрывающей ачимовскую толщу и линзовидное строение ачимовских резервуаров, не имеющих гидродинамической связи с шельфовыми пластами. В результате обобщения большого фактического материала по нефтегазоносности Надым-Тазовской области нами составлена база данных, включающая глубины залегания, конденсатный фактор, газовый фактор, вид газа, давление и температуру пласта, физико-химическую характеристику флюидов (плотность, содержания твердых парафинов, серы и суммы смол и асфальтенов) [6, 7]. Приводится уточненный тип залежей, а также типизация флюидов. Установлены границы зон распространения флюидов различного фазового состояния и различных физико-химических свойств. В центральной части региона о контуре зона развития ГКН залежей, залегающих на глубинах от 2743 м до 4059 м. В эту зону входят гигантское Уренгойское и такие крупные по геологическим запасам месторождения, как Восточно-Уренгойское, Самбургское, Есетинское, Северо-Пуровское, Ямсовейское, Ево-Яхинское, а также менее крупные – Вьюжное, Стерховое и некоторые другие. Более глубокопогруженные залежи в ачимовских отложениях на месторождениях Самбургское, Северо-Самбургское и Непонятное (глубины от 3710 до 4059 м) можно охарактеризовать как переходные от конденсатных к сверхлегким и легким нефтям. Основные нефтяные месторождения расположены южнее развития зоны ГКН залежей. По плотностным характеристикам нефтей выделяются три зоны: сверхлегкие нефти – плотность равна или меньше  $0,82 \text{ г/см}^3$ , легкие нефти – плотность изменяется от  $0,82$  до  $0,85 \text{ г/см}^3$  и средние и с плотностью от  $0,85$  до  $0,87 \text{ г/см}^3$  [6, 7].

Отмечается территориальная приуроченность уникального и средних по запасам месторождений УВ к крупным положительным структурным элементам – мега- и мезовалам.

Мелкие по запасам залежи тяготеют к сводам и впадинам. Однако в ачимовском комплексе современные тектонические структуры не контролируют распространение разных по запасам УВ скоплений. Как показано было выше, уникальность этой толщи и разномасштабность ее залежей обусловлены в основном фациально-литологическим фактором. Степень катагенетического преобразования ачимовских отложений незначительно отличается от вехнеюрских. Градации катагенеза изменяются, в основном, от слабого (МК<sub>1</sub>) до умеренного (МК<sub>2</sub>). Уникальное по запасам и средние ГКН месторождения приурочены к зонам МК<sub>2</sub> – это центральные и северные районы Надым-Пурской НГО. В юго-восточной части региона, в зоне МК<sub>1</sub> встречены средние по запасам нефтяные скопления, а в юго-западной – мелкие.

Геолого-геофизические данные существенно дополняют проведенные геолого-геохимические исследования по всему мезозойскому разрезу, и с частности по ачимовскому НГК [3, 5]. Так, большое внимание уделяется анализу седиментационных процессов, которые ответственны за формирование разнообразных клиноформных образований. На основе обобщения большого объема материалов сейсморазведки 2D/3D и бурения, получены новые данные о характеристике клиноформных тел и определены поисковые критерии выявления перспективных ловушек углеводородов разнообразного типа [2]. На рис. 1 дана детализация строения клиноформного ачимовского комплекса Ярудейского мегавала, что позволило выделять перспективные ловушки внутри комплекса БН<sub>4</sub> и четырех подкомплексов. Показаны их зоны распространения и выклинивания и общие толщины каждого из подкомплексов. В каждом сейсмокомплексе по характерным признакам – «ярким пятнам» на сейсмических разрезах и распределении толщин целевых пластов – выделены предполагаемые зоны развития коллекторов [4].

### Выводы

Анализ размещения месторождений УВ флюидов с разными категориями запасов в ачимовском НГК по площади изучаемой территории показал, что современные тектонические структуры не контролируют полностью распространение разномасштабных по запасам залежей. В отличие от юрских НГК, ачимовские скопления обусловлены в основном фациально-литологическим фактором, а именно стратиграфическими, морфологическими и палеобатиметрическими особенностями этих отложений. Комплексное изучение ачимовского НГК геологическими, геохимическими и геофизическими методами позволит эффективнее оценивать возможность обнаружения крупных скоплений УВ в этом комплексе.

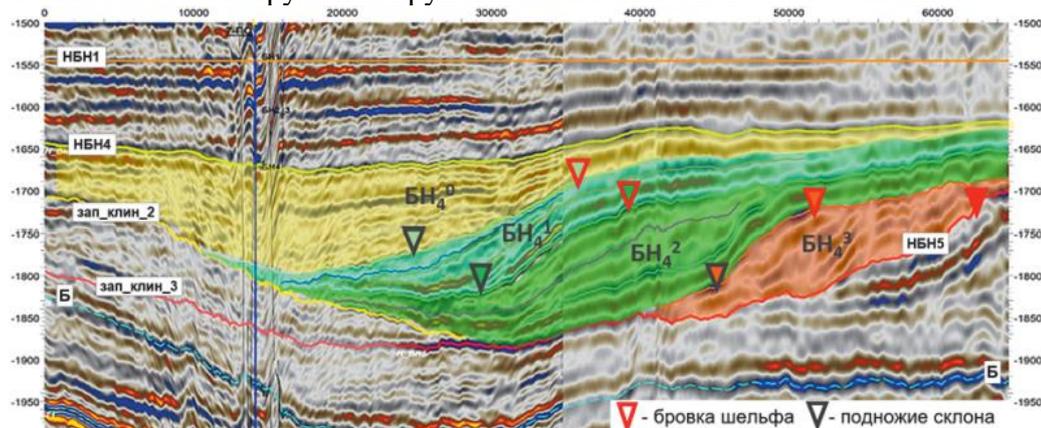


Рисунок 1. Строение клиноформного комплекса БН<sub>4</sub> по сейсмическим данным  
Б – кровля баженовской свиты

### **Библиография**

1. Бородкин В.Н., Курчиков А.Р. К вопросу уточнения западной и восточной границ ачимовского клиноформного комплекса Западной Сибири // Геология и геофизика, 2015, т. 56, № 9. С. 1630–1642.
2. Бородкин В.Н., Смирнов О.А. Морфотипы клиноформных образований неокома севера Западно-Сибирской низменности с учетом особенностей седиментационных процессов // Георесурсы. 2023. 25(3). С. 4–12. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.2>
3. Конторович В.А., Аюнова Д.В., Гусева С.М. и др. Сейсмогеологическая характеристика осадочных комплексов и нефтегазоносность Ямальской, Гыданской и Южно-Карской нефтегазоносных областей (арктические регионы Западной Сибири, шельф Карского моря) // Геофизические технологии. 2018. № 4. С. 10–26. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802403>.
4. Осипова М.В., Шакиров Р.Р., Кощев А.Г., Писарчук С.В., Наймушин А.Г., Нестеров О.П. Особенности геологического строения ачимовского комплекса Ярудейского мегавала (Западная Сибирь) // Георесурсы. 2023. 25(3). С. 34–39. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.5>
5. Петрова Н.В., Ершов С.В., Карташова А.К., Шестакова Н.И. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности ачимовской толщи Западно-Нерутинской нефтегазоносной зоны // Геология нефти и газа. 2018. № 2. С. 41–50. DOI: 10.31087/0016-7894-2018-2-41-50).
6. Пунанова С.А., Виноградова Т.Л. Углеводородные скопления ачимовских отложений севера Западной Сибири // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 2. С. 42–52.
7. Пунанова С.А. Углеводородные скопления ачимовских отложений северных регионов Западной Сибири // Экспозиция Нефть Газ. 2020. № 3. С. 10-13. DOI:10.24411/2076-6785-2019-10081.

*Перспективы нефтегазоносности малоизученной территории Енисей-Хатангского  
регионального прогиба*

*Сидорчук Е.А.\* (ИПНГ РАН, elena\_sidorchuk@mail.ru),  
Добрынина С.А. (ИПНГ РАН, dobrinini2002@mail.ru),  
Попов А.С. (ИПНГ РАН, andrey.popov.mb@gmail.com)*

**Аннотация**

Открытие новых месторождений нефти и газа, особенно крупных и уникальных по величине запасов, можно ожидать в малоизученных территориях нефтегазоносных бассейнов. Северо-восточное ответвление Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна относится именно к таким малоизученным и нефтегазоперспективным территориям. Тектонически эта территория приурочена к Енисей-Хатангскому региональному прогибу (ЕХРП).

Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности центральной части ЕХРП с позиций локальной геодинамики предполагает существование здесь скоплений углеводородов (УВ). Изучение геодинамической активности и истории развития тектонических структур разного порядка влияет на оценку нефтегазового потенциала территории. Расположение изучаемой территории в арктической зоне повышает актуальность исследований.

Анализ современного ландшафта позволил выявить особенности новейшей структуры ЕХРП и показать значение сдвиговых горизонтальных перемещений отдельных объемов осадочного чехла. По характерному морфоструктурному облику, образованному формой русел рек, выделены локальные геодинамические обстановки типа «вытолкнутый блок». В наиболее изученных частях ЕХРП к ряду таких локальных геодинамических обстановок приурочены месторождения УВ. В наиболее малоизученной территории центральной части ЕХРП также выделены подобные локальные геодинамические обстановки.

**Ключевые слова**

Нефтегазоносность, локальная геодинамика, современный ландшафт, 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 базируется на изучении палеогеодинамических реконструкций нефтегазоносных осадочных бассейнов и применении современной геодинамики при выделении конкретных объектов поисков скоплений углеводородов. ЕХРП протягивается с юго-запада на северо-восток в современном плане на 1100 км, достигая в ширину 650 км. Глубина осадочного чехла достигает 15 км в западной части, в сторону к Анабаро-Хатангской седловине мощность осадочного чехла значительно уменьшается. Мезозойская часть осадочного чехла ЕХРП достигает 10-12 км. Многие исследователи изучали и продолжают изучать историю формирования ЕХРП, в том числе с позиций перспектив нефтегазоносности [2, 4, 7]. В течение геологического развития выделены несколько этапов активизации геодинамических процессов [6]. Начиная с олигоцена неотектоническое развитие Арктики определялось раскрытием Евразийского бассейна [3]. Это привело к активизации северо-восточных разрывов в рассматриваемом регионе, имеющих те же простирания, что и трансформные разломы зоны спрединга хребта Гаккеля, что подтверждает активное развитие региона на современном этапе. Сжатие, растяжение, срыв, надвиг и прочие деформации, являющиеся последствием

перемещения отдельных объемов осадочного чехла, создают различные локальные геодинамические обстановки, которые находят отражение в особенностях современного рельефа и элементах гидрографии. Географически изучаемая территория расположена в пределах Северо-Сибирской низменности с развитой речной сетью. Регион расположен в зоне тундры (арктическая и субарктическая климатические области) с характерным для нее ландшафтом, растительным и животным миром. Анализ рельефа проводился по топокартам масштаба 1:500 000 с использованием всех доступных геологических материалов (рисунок 1). Средние высоты не превышают 100-150 м. Поверхность осложнена грядами неправильной формы. Такие холмы чередуются с заболоченными котловинами и широкими долинами рек. Высота гряд 180-200 м, иногда даже больше 200 м. Хорошо проявлены линейменты двух направлений – северо-западные, а также северо-восточные, которые могут свидетельствовать о разрывных нарушениях в фундаменте. В современное время ЕХРП испытывает устойчивое опускание, однако в его пределах наблюдается рост локальных поднятий [3]. По характерному морфоструктурному облику, образованному формой русел рек, выделены локальные геодинамические обстановки типа «вытолкнутый блок» (рисунок 2) [5]. Новые технологии и методы научного анализа позволили выделить перспективные объекты по различным уровням юрско-мелового интервала разреза [1, 2] в относительно хорошо изученной западной части ЕХРП, где расположено подавляющее большинство открытых месторождений нефти и газа. ФГБУ «ВНИГНИ» выполнено бассейновое моделирование Гыданско-Усть-Енисейского и Балахнинско-Анабаро-Хатангского блоков, выделенных по геологическому строению и степени геолого-геофизической изученности. В пределах Гыданско-Усть-Енисейского блока зоны аккумуляции меловых НГК хорошо коррелируются с местоположением открытых месторождений УВ с залежами в неокомском и апт-альб-сеноманском нефтегазоносном комплексах. Между выделенными блоками изучение не проводилось в связи с отсутствием необходимых исходных данных. На рисунке 2 показано сопоставление зон аккумуляции в пределах ЕХРП с расположением локальных геодинамических обстановок типа «вытолкнутый блок». Часть выделенных обстановок совпадает по расположению на территории с зонами аккумуляции юрского, мелового комплексов. Особенно это касается западной части территории изучения. На восточной стороне территории изучения надо отметить совпадение обстановки сдвига (4) с зонами аккумуляции мелового, триасового и пермского комплексов в районе Балахнинского месторождения. На малоизученной территории между Гыданско-Усть-Енисейским и Балахнинско-Анабаро-Хатангским блоками также выделены локальные обстановки сдвига на реках Большая Соните (3), Хета (6). Недалеко от локальной обстановки сдвига на реке Новая (4), к которой приурочено Балахнинское месторождение, выделена еще одна сдвиговая обстановка на реке Захарова Рассоха (5) [5].

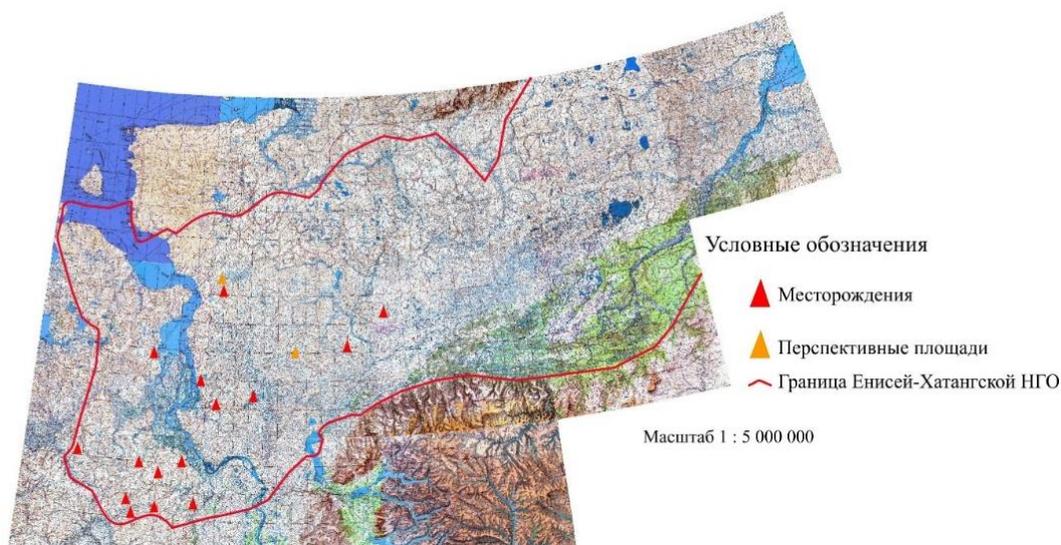


Рисунок 1. Фрагмент топографической карты с выделенной Енисей-Хатангской нефтегазоносной областью и месторождениями нефти и газа

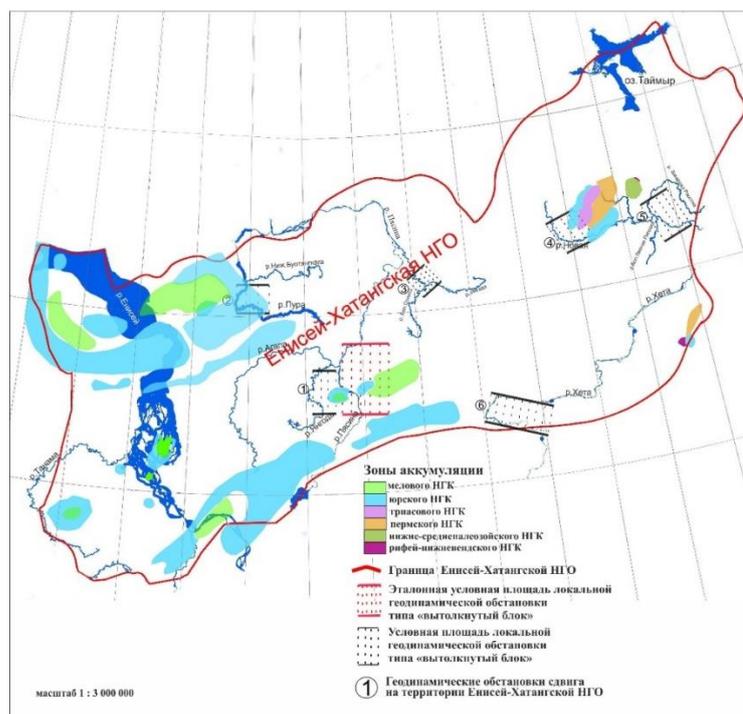


Рисунок 2. Сопоставление зон аккумуляции в пределах изучаемой территории ЕХРП с расположением локальных геодинамических обстановок типа «вытолкнутый блок»

### Выводы

Современное размещение залежей УВ в ЕХРП находится в тесной связи с последней активизацией геодинамических процессов и перестройкой структурного плана (олигоцен-четвертичный). Переформирование залежей происходило вследствие резкого изменения термобарических условий во время поднятия этих территорий.

По характерному рисунку речной сети с точки зрения геодинамики авторами выделены локальные геодинамические обстановки сдвига типа «вытолкнутый блок». При таком типе

геодинамических напряжений русло реки резко меняет направление течения и близко по форме к «вытолкнутому блоку». В малоизученной центральной части ЕХРП, не охваченной бассейновым моделированием и другими современными методами также возможно открытие новых месторождений нефти и газа. По аналогии с западной (Гыданско-Усть-Енисейский блок) и восточной (Балахнинско-Анабаро-Хатангский блок) территориями возможно открытие месторождений нефти и газа на центральных участках, приуроченных к выделенным локальным геодинамическим обстановкам типа «вытолкнутый блок».

### **Библиография**

1. Афанасенков А.П., Бондаренко М.Т., Кондратьев И.К. и др. Выявление и детализация перспективных объектов в Енисей-Хатангской и Гыданской нефтегазоносных областях с применением пластовой инверсии данных сейсморазведки // Геология нефти и газа. 2017. № 5. С. 79–87.
2. Балдин В.А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности верхнеюрско-неокомских отложений западной части Енисей-Хатангского прогиба // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – М.: ВНИГНИИ, 2001. 225 с.
3. Брянцева Г.В., Демина Л.И., Промыслова М.Ю., Косевич Н.И. Новейшие структуры Западного Таймыра // Вестник Московского государственного университета. Серия 4. Геология. 2019. № 6. С. 17-23.
4. Новиков Д.А., Борисов Е.В. Прогноз нефтегазоносности юрских резервуаров зоны сочленения Енисей-Хатангского и Западно-Сибирского бассейнов // Геология и геофизика. 2021. Т.62. №2. С.216-237.
5. Сидорчук Е.А., Добрынина С.А. Геодинамические критерии прогноза нефтегазовых скоплений в сложнопостроенных резервуарах [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2022. Т.17. №2. 17с. Режим доступа: [https://ngtp.ru/rub/2022/9\\_2022.html](https://ngtp.ru/rub/2022/9_2022.html).
6. Сидорчук Е.А., Ульмасвай Ф.С., Добрынина С.А. Геодинамические напряжения как проявление тектонических механизмов нефтегазонакопления на больших глубинах. [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 3(22). 8 с. Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru>.
7. Shuvaev A., Khodo T., Musikhin K., Abraeva T., Sabirianova R. Tectonic Development of Yenisei-Khatanga Regional Trough and its Influence on Petroleum Systems Evolution // SPE Russian Petroleum Technology Conference held in Moscow, Russia, 22 – 24 October 2019.

*Анализ распределения запасов и параметров нефтяных оторочек на месторождениях  
России*

*Федосеева Е.Н.\* (ФБУ «ГКЗ», fedoseeva@gkz-rf.ru),  
Потемкин Г.Н. (МГРИ, potemkingn@mgri.ru),  
Дронова К.П. (МГРИ, dronova.kat@mail.ru)*

**Аннотация**

Работа посвящена систематизации и анализу данных о запасах и геолого-промысловых параметрах нефтяных оторочек и подгазовых зон всех месторождений России. Приведены актуальные данные о количестве месторождений, запасах и добыче по каждой нефтегазоносной провинции, проведен анализ состояния освоения и ключевых геолого-промысловых параметров нефтяных оторочек и сопряженных с ними газовых шапок.

**Ключевые слова**

Нефтяная оторочка, подгазовая зона, газовая шапка, запасы нефти, распределение запасов.

**Теория**

В работе проведен анализ геологических и промысловых характеристик нефтяных оторочек по большинству месторождений Российской Федерации с целью получения объективной актуальной статистики для изучения характеристики освоения оторочек и установления ключевых факторов, определяющих продуктивность таких объектов. В рамках исследования понятие «нефтяная оторочка» используется в широком смысле, то есть включает участки пласта, содержащие запасы нефти, в пределах газонефтяных, нефтегазовых и нефтегазоконденсатных залежей вне зависимости от соотношения нефте- и газонасыщенных объемов, а также условий залегания (подгазовые зоны и краевые оторочки).

Нефтяные оторочки являются одним из наиболее сложных объектов с точки зрения разработки. Наличие газовых шапок и подстилающей воды осложняет освоение залежей. К перечню факторов, которые существенно осложняют разработку таких объектов, также относится небольшая нефтенасыщенная толщина, повышенная вязкость нефти и низкая проницаемость коллектора, высокая неоднородность пласта и близость (во многих случаях равенство) начального пластового давления к давлению насыщения [1-4].

В исследовании использованы данные по 371 месторождению всех регионов России с установленными запасами нефтяных оторочек, среди которых 294 разрабатываемых и 77 разведываемых. По состоянию на 2023 год охвачено более 95 % всех подобных объектов (не входят полностью выработанные объекты).

Месторождения с нефтяными оторочками выявлены в семи нефтегазоносных провинциях (НГП) России: Западно-Сибирской, Волго-Уральской, Тимано-Печорской, Лено-Тунгусской, Северо-Кавказской, Охотоморской и Прикаспийской, при этом подавляющее большинство месторождений (около 2/3) открыты в Западно-Сибирской и Волго-Уральской провинциях (рисунок 1).

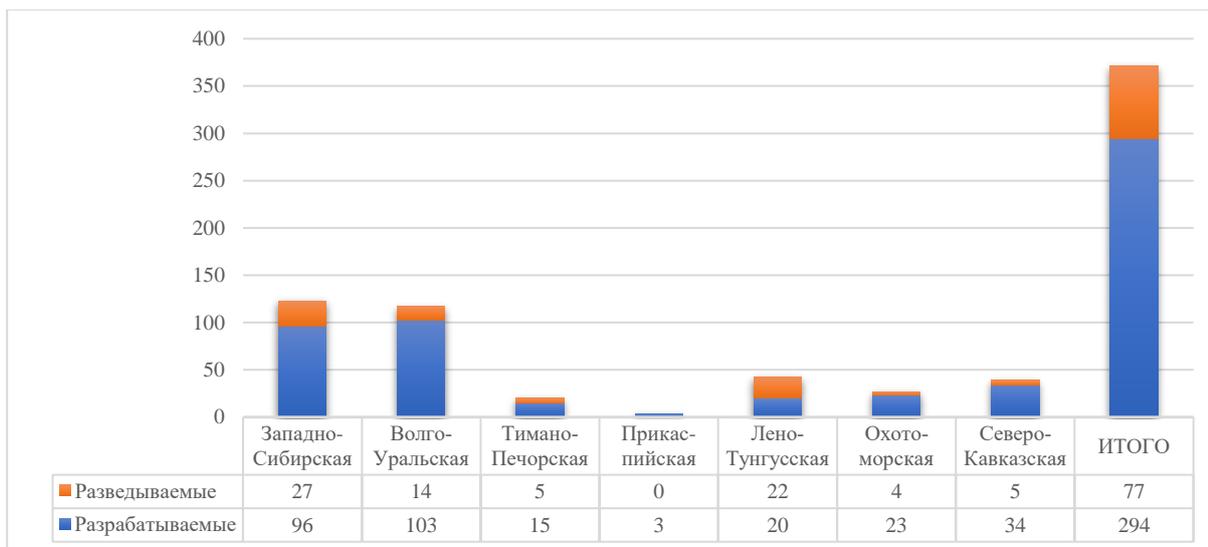


Рисунок 1. Распределение количества месторождений с наличием нефтяных оторочек по нефтегазоносным провинциям России

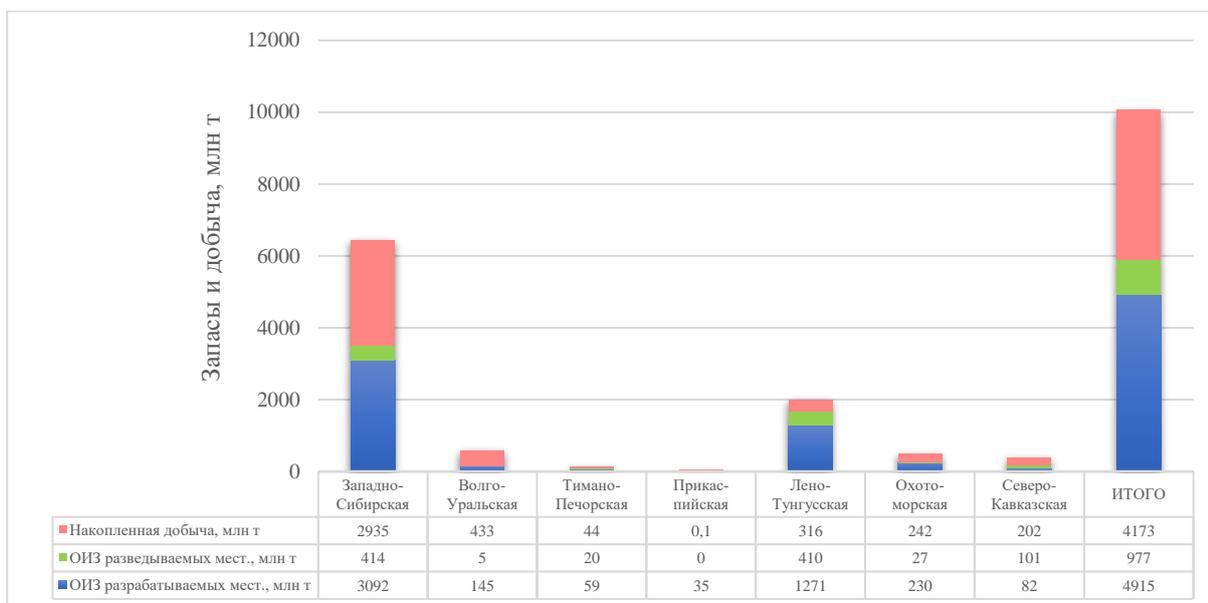
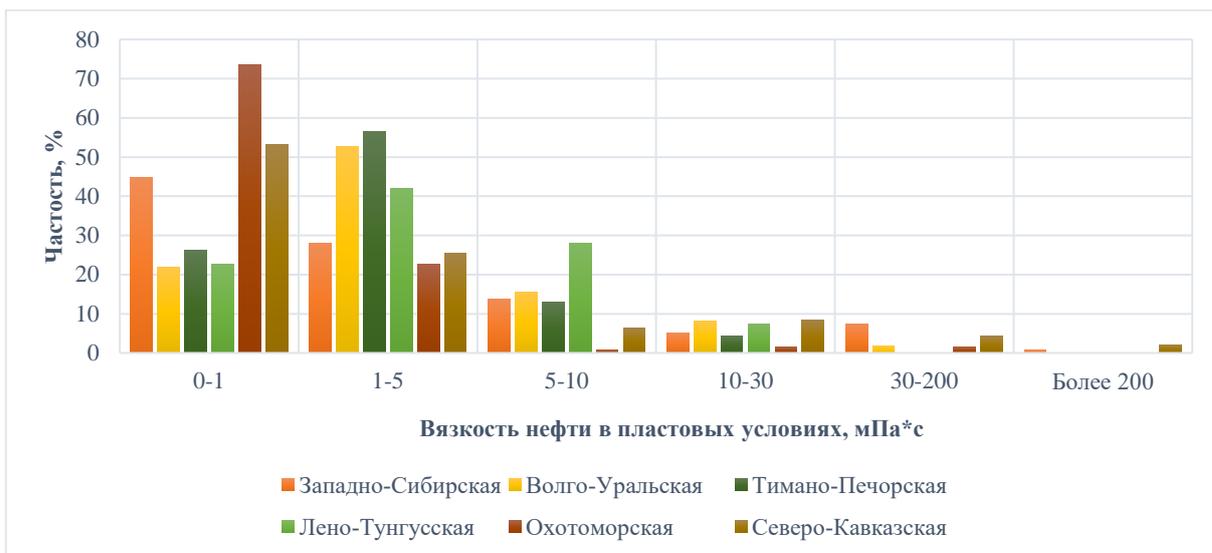


Рисунок 2. Распределение остаточных извлекаемых запасов (ОИЗ) нефтяных оторочек и накопленной добычи по нефтегазоносным провинциям России (по состоянию на 2023 год)

Суммарные начальные запасы нефтяных оторочек в целом по России составляют 34,7 млрд т (геологические) и 10,1 млрд т (извлекаемые), при этом добыто по состоянию на 2023 год 4,2 млрд т, степень выработки начальных извлекаемых запасов 42 %, ежегодно добывается около 100 тыс. т. Распределение добычи нефти и остаточных запасов с дифференциацией на разрабатываемые и разведываемые месторождения показано на рисунке 2. Основная доля текущих запасов сосредоточена на месторождениях Западной и Восточной Сибири, наибольшая накопленная добыча относится к Западной Сибири и Волго-Уральской провинции. Обращает на себя внимание существенная величина запасов нефтяных оторочек на разведываемых месторождениях Восточной Сибири – 410 млн т, что составляет более 40 % запасов нефтяных оторочек всех разведываемых месторождений России.



Нефтегазоносная провинция	Статистические характеристики вязкости, мПа*с			
	Минимум	Максимум	Среднее	Среднеквадратическое отклонение
Западно-Сибирская	0.1	377	10.6	14.8
Волго-Уральская	0.1	107	4.9	4.7
Тимано-Печорская	0.6	16.3	3.2	2.4
Лено-Тунгусская	0.2	29.3	4.5	3.0
Охотоморская	0.3	50	2	2.2
Северо-Кавказская	0.3	466	14.5	22.1

Рисунок 3. Распределение вязкости нефти оторочек (в пластовых условиях) по нефтегазоносным провинциям России и статистические характеристики распределений

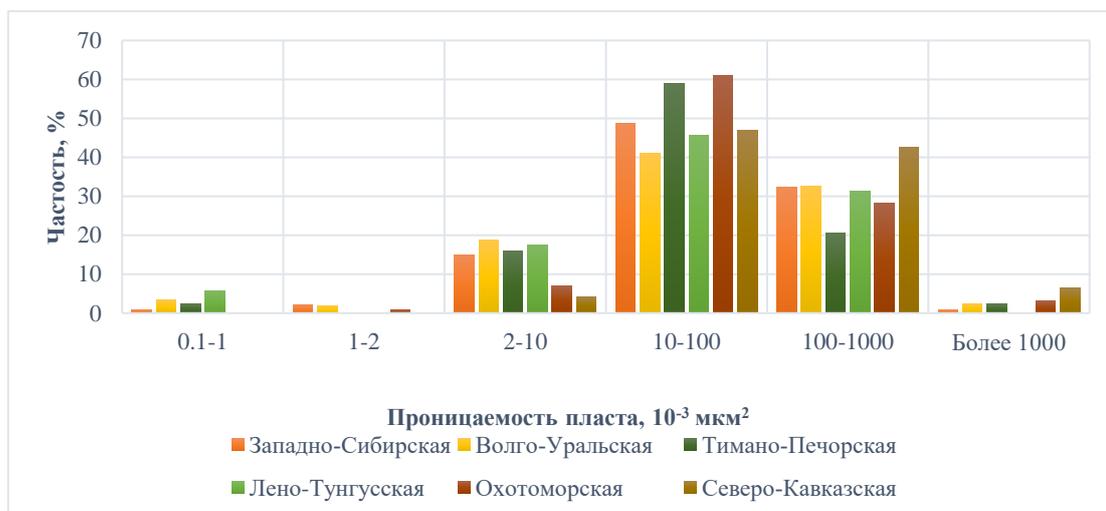


Рисунок 4. Распределение проницаемости пластов, содержащих нефтяные оторочки по нефтегазоносным провинциям России

Наиболее выработаны запасы нефтяных оторочек Волго-Уральской провинции (74 %) и Северного Кавказа (71 % по разрабатываемым месторождениям и 53 % – в целом), на 40-50 % выработаны оторочки Западной Сибири и Дальнего Востока, Тимано-Печоры – на 36 %, минимальные значения выработки характерны Лено-Тунгусской провинции (16 %) и Прикаспия (менее 1 % - установлено всего три месторождения с нефтяными оторочками с суммарными извлекаемыми запасами 35 млн т).

Средний проектный коэффициент извлечения нефти (КИН) изменяется от 0,20 (Прикаспийская НГП) до 0,36 (Северо-Кавказская НГП), для Западной Сибири составляет 0,30, для Волго-Урала – 0,34, для Восточной Сибири – 0,25, для Тимано-Печоры – 0,26, для Дальнего Востока – 0,27. В среднем по всем нефтяным оторочкам проектный КИН равен 0,29. Достигнутый (текущий) КИН максимален в Волго-Уральской провинции – 0,25, для Северо-Кавказской составляет 0,19, для Западной Сибири и Охотоморской провинции около 0,14, в остальных провинциях менее 0,1. В среднем по стране по нефтяным оторочкам достигнут КИН 0,12.

Анализ геолого-промысловых характеристик показывает значимые различия вязкости нефти по регионам (рисунок 3). Увеличение доли залежей с повышенной и высокой вязкостью нефти характерно для Лено-Тунгусской, Тимано-Печорской и Волго-Уральской провинций, а наиболее маловязкие нефти в среднем относятся к Охотоморской нефтегазонасной провинции.

Распределение проницаемости пластов, содержащих нефтяные оторочки, в целом имеет относительно равномерный характер (рисунок 4), медианные значения лежат в диапазоне  $40 - 60 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> по всем провинциям, кроме Северо-Кавказской, где медиана составляет  $100 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, а распределение демонстрирует смещение в сторону более высоких проницаемостей.

### **Выводы**

В нефтяных оторочках и подгазовых зонах месторождений России содержатся значительные запасы нефти, которые характеризуются как трудноизвлекаемые. Анализ запасов и промысловых характеристик таких объектов указывает на значительный их потенциал. Программа освоения оторочек должна базироваться на тщательном анализе геологических и промысловых параметров для корректного подбора технологий и стратегии разработки.

### **Библиография**

1. Буракова С.В. и др. Проблемы освоения тонких нефтяных оторочек газоконденсатных залежей Восточной Сибири // Вести газовой науки. – 2013. – № 5 (16). – С. 124-132.
2. Закиров С.Н. Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. – М.: Струна, 1998. – 628 с.
3. Ковальчук С.В., Полушина Е.В., Горенкова Е.А. Результаты изучения и примеры реализации проектов разработки месторождений с нефтяными оторочками компании "Газпром нефть" // РРОнефть. Профессионально о нефти. – 2019. – № 1 (11). – С. 12-17.
4. Швецова А.И. Оценка эффективности разработки нефтяных оторочек нефтегазоконденсатных пластов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 190-192.

*Типовые разрезы моктаконской свиты нижнего кембрия (Южно-Тунгусская НГО, Лено-Тунгусская НПП)*

*Рязанов А.Р. \* (ФГБУ «ВНИГНИ», alexsandr\_w9ke@list.ru),  
Носкова Е.С. (ФГБУ «ВНИГНИ», noskova07@mail.ru),  
Агафонова Г.В. (ФГБУ «ВНИГНИ», agafonovagalina@inbox.ru)*

**Аннотация**

В работе детально описаны типовые разрезы моктаконской свиты Южно-Тунгусской НГО. Установлены 3 типа разреза, каждый из которых связан с локальными обстановками осадконакопления. Выделены пачки внутри типовых разрезов скважин.

**Ключевые слова**

Карбонатные породы, нижний кембрий, моктаконская свита, Южно-Тунгусская НГО.

**Теория**

В Южно-Тунгусской НГО нефтегазоперспективные свиты связаны с отложениями нижнего кембрия [2-4]. Одна из них, моктаконская, вскрыта рядом скважин: Холминская-212, Намурская-1, Буруская-201, Вакунайская-3, Малькитконская-211, Нижнетунгуская-2, Нижнетунгуская-6, Таначинская-7, Таначинская-8, Таначинская-9, Кочумдекская-3, Усть-Кочумдекская-202, Моктаконская-1, Моктаконская-2, Моктаконская-3, Моктаконская-5, Моктаконская-6, Моктаконская-7, Марская-217, Усть-Дельтулинская-214, Западно-Малькитконская-216, Хурингдинская-1.

В результате испытаний были получены притоки: Моктаконская-1 (нефть дебитом 93 м<sup>3</sup>/сут), Намурская-1 (незначительный приток нефти с газом), Усть-Дельтулинская-214 (газ – 500 тыс. м<sup>3</sup>/сут), что доказывает перспективность моктаконской свиты [1,2].

Цель исследования - детальное изучение разрезов моктаконской свиты на территории Южно-Тунгусской НГО, определение генетических типов отложений, установление связи их литотипов с фильтрационно-емкостными свойствами для оценки коллекторских свойств карбонатных пород, их особенностей и закономерностей развития.

На начальном этапе работы собран фактический материал, состоящий из описания керна и шлама, результатов испытаний, проанализированы каротажные диаграммы по 8 скважинам, открывших кровлю и подошву моктаконской свиты: Намурская 1, Вакунайская 3, Марская 217, Таначинская 7, Таначинская 8, Моктаконская 3, Моктаконская 6, Усть-Кочумдекская 202.

В скважинах: Намурская 1, Вакунайская 3 и Марская 217 проведено расчленение разрезов на пачки и осуществлена типизация разрезов. Границы между пачками установлены в местах резкой смены характера записи кривых ГК и НГК. Ниже приводится детальная характеристика каждой пачки в выделенных типах разрезов (Рисунок 1).

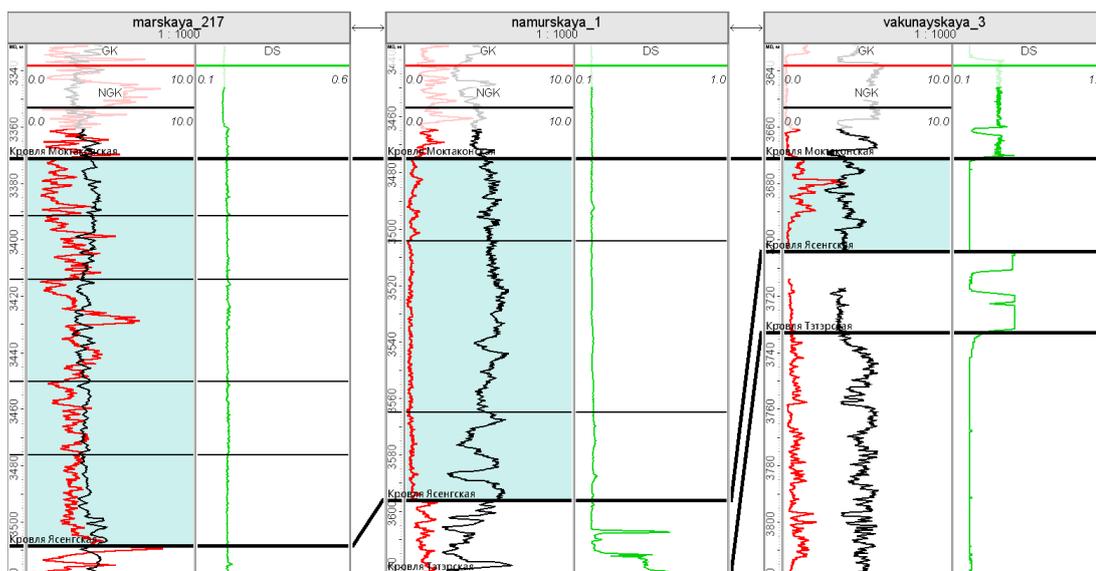


Рисунок 1. Типовые разрезы моктаковской свиты

В скважине *Марская-217* выделено 5 пачек.

**1 пачка** (инт. гл. 3476.00 – 3508.00 м). Сложена доломитами и известняками. Доломиты темно-серые с коричневатым оттенком мелко-микроструктурные. Известняки темно-серые микроструктурные. В подошве пачки по кривой ГК и НГК наблюдается пласт плотных глинистых известняков мощностью 4 метра. Мощность пачки 32 метра.

**2 пачка** (инт. гл. 3450.00 – 3476.00 м). Пачка отличается от 1 пачки резкой дифференциацией кривой ГК и слабой дифференциацией кривой НГК. Сложена доломитами, известняками с редкими прослоями ангидритов. Доломиты серые до темных с коричневатым оттенком мелкокристаллические, массивные, плотные. Известняки серые, темно-серые до черных мелкокристаллические. Ангидрит белый, голубовато-белый. В нижней части пачки чередуются слои слабоглинистых доломитов с глинистыми известняками. Вверх по разрезу до кровли пачки выделяются слои чистых доломитов, переслаивающихся с слабоглинистыми известняками. Мощность слоев от 2 до 5 метров. Мощности пачки 26 метров.

**3 пачка** (инт. гл. 3414.00 – 3450.00 м). Пачка характеризуется ещё более резкой дифференциацией кривой ГК. Сложена доломитами, известняками с прослоями аргиллитов. Доломиты серые до темных с коричневатым оттенком мелкокристаллические, массивные, плотные, крепкие, местами глинистые. Известняки серые, темно-серые до черных, мелкозернистые, плотные, крепкие, частично доломитизированные, глинистые. Аргиллиты бурые, плотные, крепкие, тонкоплитчатые, с частыми включениями и прослоями светло-серого ангидрита. Нижняя часть пачки характеризуется переслаиванием слабоглинистых доломитов и известняков с сильноглинистыми доломитами и известняками. В средней части пачки по резкому скачку кривой ГК выделяется слой сильноглинистого известняка и слой аргиллита мощностью 4 метра. Верхняя часть пачки представлена доломитами, слабоглинистыми доломитами и известняками. Мощности пачки 36 метров.

**4 пачка** (инт. гл. 3391.00– 3414.00 м). Сложена доломитами и известняками. Доломит темно-серый с коричневатым оттенком мелко-микроструктурный, плотный, крепкий, засоленный, местами глинистый, ангидритизированный. Известняки серые, темно-серые до черных мелко-микроструктурные, плотные, крепкие, частично доломитизированные, сильно глинистые. От подошвы и до середины пачки по кривой ГК и НГК наблюдается переслаивание сильноглинистых известняков и слабоглинистых доломитов. В верхней части выделяются доломиты с прослоями глинистых доломитов. Мощности пачки составляет 23 метра.

**5 пачка** (инт. гл. 3370.00 – 3391.00 м). Сложена доломитами и известняками. Доломит темно-серый с коричневатым оттенком мелко-микрористаллический, плотный, крепкий, засоленный, местами глинистый, ангидритизированный. Известняки серые, темно-серые до черных мелко-микрористаллические, плотные, крепкие, частично доломитизированные, глинистые. Нижняя и средняя часть пачки представлена доломитами с прослоями сильно глинистых известняков мощностью 1 метр, которые отбиваются по характерным скачкам кривой ГК. В кровле пачки наблюдаются известняки с прослоями слабоглинистых известняков. **Мощность пачки 19 метров.**

Мощность моктаконской свиты 138 метров.

Скважина *Намурская-1* охарактеризована 3-мя пачками

**1 пачка** (инт.гл. 3564.00 – 3596.00 м). Сложена известняками от светло-серых до темно-серых часто с коричневатым оттенком, местами засоленными, ангидритизированными, глинистыми, крепкими, плотными с редкими субвертикальными открытыми трещины, с линзами неправильной формы, выполненными белым сахаровидным ангидритом. Каверны в местах засоления образованы выщелачиванием соли при бурении. В подошве пачки наблюдается слой плотных известняков мощностью 5 метров, с прослоем слабоглинистого известняка мощностью 1 метр. Немного выше по разрезу происходит резкое падение кривой НГК и выделяется слой мощностью 4 метра с кавернозными и трещиноватыми известняками с прослоем слабоглинистых известняков мощностью 1 метр. В средней части пачки выделяется слой мощностью 5 метров, сложенный плотными, крепкими, предположительно, органогенными известняками, выделенными по минимальным значениям кривой ГК. В верхней части пачки происходит заметное падение кривой НГК и выделяется слой известняков кавернозных и трещиноватых мощностью 8 метров. В верху пачки наблюдается слой, плотных известняков мощностью 5 метров. **Мощность пачки 32 метра.**

**2 пачка** (инт.гл. 3504.00 – 3564.00 м). Сложена известняками от светло-серых до темно-серых, часто с коричневатым оттенком, засоленных, ангидритизированных, местами глинистых, крепких, плотных. Наблюдаются редкие преимущественно субвертикальные открытые трещины частые каверны; многочисленные включения белого сахаровидного ангидрита неправильной формы размером до 2 см. От подошвы до средней части пачки наблюдается переслаивание плотных известняков с кавернозными и трещиноватыми известняками. В кровле пачки выделяется слой мощностью 18 метров предположительно биогермных известняков, характеризующийся минимальными значениями кривой ГК и умеренной дифференциацией кривой НГК. **Мощность пачки 60 метров.**

**3 пачка** (инт. гл. 3474.00 – 3504.00 м). Сложена известняками светло-серыми до темно-серых, засоленных, ангидритизированных, прослоями глинистых, крепких, плотных. Пачка отличается от 1 и 2 пачки заметной дифференциацией кривой ГК, что говорит о повышенной глинистости.

Мощность моктаконской свиты 122 метра

Скважина *Вакунайская-3*

Пачки в скважине *Вакунайская 3* не выделяются, ввиду малой мощности свиты (33 метра) и однородности разреза. Свита сложена известняками темно-серыми, редко с зеленоватым оттенком, слабоглинистыми, засоленными, мелко-тонкозернистым, крепкими, плотными, с прослоями до 1-2 мм выполненными темно-серым до черного органично-минеральным материалом, горизонтально и волнисто слоистыми. В средней части разреза пласт существенно глинистых пород.

## **Выводы**

В ходе исследования установлено, что скважина Намурская-1 представлена чисто карбонатным, предположительно рифовым типом разреза, сложенным преимущественно

известняками, местами кавернозными и трещиноватыми с тонкими прослоями глинистых известняков.

Скважина Марская-217 – имеет карбонатно-глинистый состав, увеличенную мощность и соответствует отложениям склона бассейна.

Скважина Вакунайская-3 характеризуется аномальным строением с резко сокращенной мощностью и преимущественно карбонатным составом, с прослоями глинистых пород. Вакунайский разрез снизу и сверху ограничен пластами солей и соответствует небольшой карбонатной постройке зарифовой зоны.

### **Библиография**

1. Кринин В.А. геологические модели, прогноз зон нефтегазоаккумуляции в нижне-среднекембрийских отложениях бахтинского мегавыступа и сопредельных территорий // Геология нефти и газа. 2022, 9-22 с.
2. Е.Н. Кузнецова, А.О. Гордеева, Л.Н. Константинова, В.Н. Глинских, И.А. Губин. Модели строения месторождений нефти и газа Южно-Тунгусской нефтегазоносной области // Геология нефти и газа. 2014, №1, 93-102 с.
3. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. – 177 с.
4. Мельников Н.В. Нефтегазоносность кембрийских рифов Сурингдаконского свода / Н.В. Мельников, Л.И. Килина, В.А. Кринин, А.В. Хоменко // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа. – Новосибирск: Наука, 1991.

***Особенности геологического строения Сенегало-Мавританского бассейна и перспективы  
нефтегазоносности месторождения Большой Торту-Ахмейим в пределах шельфа  
Мавритании***

***Ахмедина Ш.А. \* (RUDN University, e-mail:1042205029@pfur.ru),  
Мотузов И.С. (RUDN University, e-mail:motuzov\_is@pfur.ru),  
Тюкавкина О.В. (RUDN University, e-mail:tyukavkina-ov@rudn.ru)***

**Аннотация**

Сенегало-Мавританский бассейн расположен на западном шельфе Африки, имеет протяженность более 300 км и занимает площадь более чем 160 тыс.км<sup>2</sup>, из которых 100 тыс. км<sup>2</sup> морской зоны. Бассейн охватывает такие страны как Сенегал, Мавританию и частично Западную Сахару и Гвинею-Бисау. Данный бассейн представляет большой интерес с точки зрения особенностей геологического строения и перспектив нефтегазоносности западной окраины африканского континента. История развития данного бассейна играла решающую роль в распределении полезных ископаемых в регионе. В последние годы ведется активное изучение глубокого шельфа в пределах данного бассейна с целью поиска месторождений нефти и газа. В настоящей работе исследуется геологическое строение Сенегало-Мавританского бассейна, изучается его формирование, стратиграфия, седиментология, тектоника и углеводородный потенциал. Синтезируя данные сейсморазведки, каротажа скважин и геологических исследований, мы стремимся обеспечить глубокое понимание эволюции бассейна и ее последствий для поиска и разведки ресурсов и геологических исследований.

**Ключевые слова**

Мавритания, Сенегал, шельф, нефть, Ахмейим.

**Теория**

Исследование Сенегало-Мавританского бассейна, выделяющегося своей сложной геологической структурой и экономическим значением, активно продолжается последние десятилетия. В этой статье представлены результаты анализа опубликованной литературы о современном понимании его геологического строения, о истории его формирования, природе его осадочного заполнения и его более широкой тектонической обстановке. Кроме того, в работу мы включаем информацию о значительных открытиях залежей углеводородов, которые привлекли наибольший интерес к геологической разведке в регионе.

Сенегало-Мавританский бассейн расположен вдоль атлантической окраины Западной Африки и образовался в результате открытия Атлантического океана в позднеюрском-раннемеловом периоде. Этот рифтогенный процесс привел к разделению Африканской и Южно-Американской плит, в результате чего образовался ряд разделяющихся бассейнов, включая Сенегало-Мавританский бассейн. На развитие бассейна повлияло сочетание тектоники растяжения, термического опускания и осадочных процессов.

Формирование и эволюцию Сенегало-Мавританского бассейна можно разделить на несколько ключевых этапов: *Предрифтовая* фаза (от позднего палеозоя до раннего мезозоя): характеризуется отложением континентальных и речных отложений. *Синрифтовая* фаза (от средней юры до раннего мела): отмечена значительной вулканической активностью и отложением синрифтовых отложений в континентальной и мелководной морской среде, *Постинрифтовая* фаза (от позднего мела до настоящего времени): преобладает термическое опускание и накопление мощных осадочных толщ, в основном морских по происхождению.

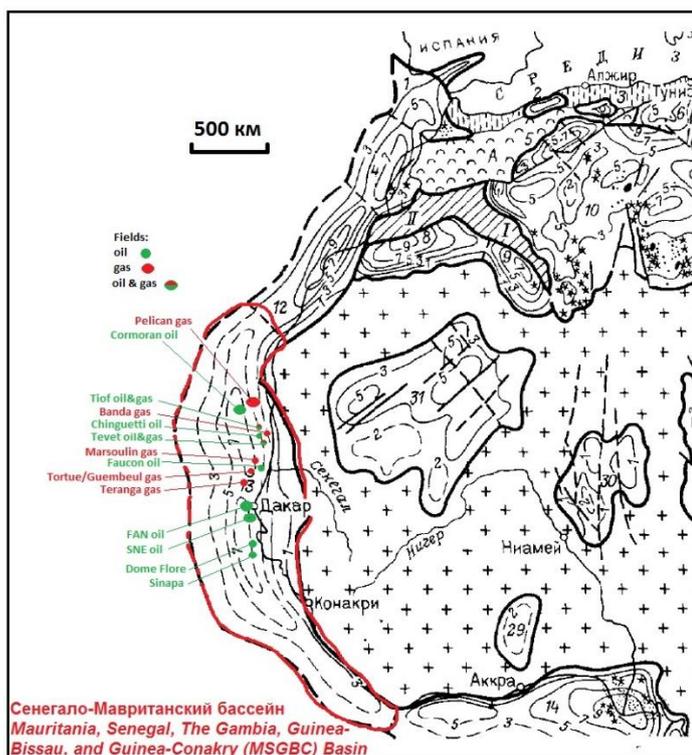


Рисунок 1. Сенегало-Мавританский бассейн на западном побережье Африки и расположение основных нефтяных и газовых месторождений бассейна (Мотузов И.С., 2024)

Стратиграфическая последовательность Сенегало-Мавританского бассейна сложна и отражает разнообразные условия осадконакопления и тектонические события, которые формировали бассейн с течением времени. Стратиграфию можно условно разделить на три группы: *синрифтовые* отложения нижнего мела, состоящие из континентальных и мелководных морских обломков (эти отложения связаны с начальной фазой рифтинга); *морские отложения* от верхнего мела до палеогена (характеризуются глубоководными сланцами, карбонатами и турбидитовыми отложениями, что указывает на переход к пассивной окраинной обстановке); *континентальные и мелководные отложения* от неогена до четвертичного периода (эти слои отражают продолжающуюся седиментацию в бассейне).

Тектоническая эволюция Сенегало-Мавританского бассейна тесно связана с открытием Атлантического океана и последующими региональными тектоническими процессами. К основным структурным особенностям бассейна относятся:

- Системы разломов: многочисленные сбросы, связанные с начальной фазой рифтогенеза, которые повлияли на формирование ловушек и миграцию углеводородов.
- Соляные диапиры: в результате мобилизации эвапоритов триаса и юры эти структуры создали ловушки для скоплений углеводородов.

Сенегало-Мавританский бассейн превратился в значительную углеводородную провинцию, где в последнее десятилетие сообщалось о нескольких коммерческих открытиях нефти и газа (Рис.1). Углеводородный потенциал бассейна связан, прежде всего, с верхнемеловыми глубоководными турбидитовыми системами и третичными дельтовыми отложениями (Рис.2). Доказанные запасы нефти в Мавритании составляют 3 млн. т (2021 г.) и примерно 20 млрд. м<sup>3</sup> (2021) природного газа, что является незначительной величиной по сравнению со 140 млн. тонн нефти и 1 трлн. м<sup>3</sup> потенциально извлекаемых запасов всего бассейна (2023). На текущий момент из относительно крупных на континентальном шельфе

Мавритании открыто и до 2017 года находилось в разработке месторождение Шингетти (Chinguetti), а сенегальском секторе – месторождение Гадиага (Gadiaga), ещё находящееся в разработке.

Месторождение Шингетти (Chinguetti) расположено на шельфе Мавритании, представляет собой антиклинальную куполовидную структуру, нарушенную разломом, общей площадью около 12 км<sup>2</sup> и диаметром около 4,5 км. Залежь нефти, связанная с терригенными отложениями глубоководных конусов выноса миоцена, залегает на глубине 1,3 км (от морского дна), осложнена разломом, простирающимся с запада на восток. Суммарные (доказанные + вероятные + возможные) запасы нефти на месторождении Шингетти оцениваются в 7,25 млн. т.

Месторождение газа Большой Торту/Ахмейим (Greater Tortue/Ahmeyim - GTA) было открыто на шельфе Мавритании в 2015 году и было объявлено одним из крупнейших месторождений этого региона. В геологическом отношении залежь газа на месторождении GTA связана с глубоководными турбидитными отложениями мелового возраста: нижний альб, верхний альб, нижний сеноман, верхний сеноман). Газоносность более глубокого аптского горизонта пока окончательно не подтверждена.

### Выводы

Сенегало-Мавританский бассейн представляет собой ключевой элемент геологического и экономического ландшафта Западной Африки. Его сложная геологическая структура, сформированная серией тектонических, осадочных и вулканических событий, содержит значительные ресурсы углеводородов. Продолжающиеся исследования и разведочные работы необходимы для полного раскрытия потенциала этого бассейна, предоставления информации о его геологической истории и внесения вклада в региональную экономику.

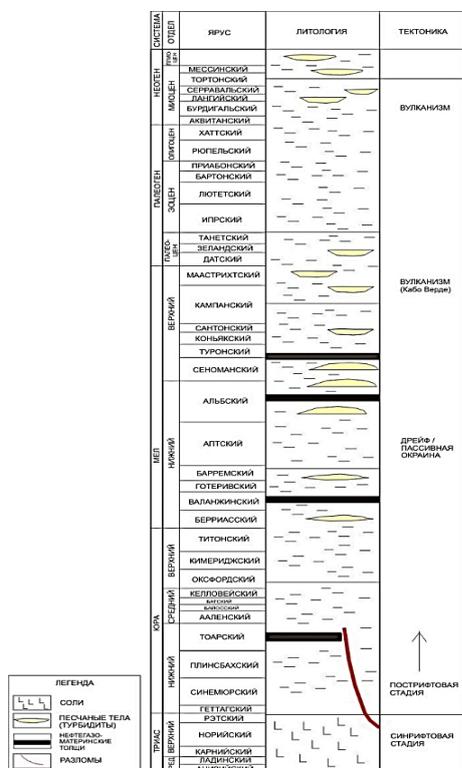


Рисунок 2. Сводная стратиграфическая колонка отложений мавританского сектора глубоководного шельфа Сенегало-Мавританского бассейна

### **Библиография**

1. Высоцкий И.В., Высоцкий В.И., Оленин В.Б. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990.
  2. Долгинов Е.А., Замиль М. Условия генерации углеводородов в осадочных бассейнах Северной Африки. Вестник Российского университета дружбы народов серия: Инженерные исследования, 2015 №3. Стр. 83-89.
  3. BP Greater Tortue Ahmeyim Phase 1. Corporate material, available at [https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/en\\_sn/senegal/home/pdf/greater-tortue-ahmeyim-fact-sheet-english.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/en_sn/senegal/home/pdf/greater-tortue-ahmeyim-fact-sheet-english.pdf).
  4. Envoi, 2015. Offshore Senegal/Guinea-Bissau AGC. Brochure available from [www.envoi.co.uk](http://www.envoi.co.uk).
- Jaehong Ko. Petroleum Geology of the Mauritania, Senegal, The Gambia, Guinea-Bissau, and Guinea-Conakry (MSGBC) Basin in the Northwest African Atlantic Margin <https://www.researchgate.net/publication/328653103>.

*Механизмы формирования пустотного пространства в нефтегазоносных отложениях  
нижнеберезовской подсвиты в пределах северной части Западной Сибири*

*Шмыглева П.К. \* (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, polyshmigleva.ru@mail.ru),  
Зуева О.А. (РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, oa\_zueva@mail.ru)*

**Аннотация**

В работе представлено исследование минерального состава, параметров структуры пустотного пространства и условий формирования силицитов нижнеберезовской подсвиты, а также определение источников кремнезема и детальное изучение структуры нанокварца.

Нижнеберезовская подсвита верхнего мела представляет собой сложный резервуар с нетрадиционными породами-коллекторами, расположенный в северной части Западной Сибири. Глинисто-кремнистые отложения нижнеберезовской подсвиты представлены различными типами силицитов, обладающими уникальными петрофизическими и минералогическими характеристиками, вызывающими значительные трудности при разработке сопутствующих продуктивных пластов. Целью исследований является изучение их минерального состава, параметров структуры пустотного пространства и условий образования, а также определение источников кремнезема и детальное изучение структуры нанокварца.

**Ключевые слова**

Нанокварц, кристобалит, пустотное пространство, породы-коллекторы, Западная Сибирь.

**Теория**

Глинисто-кремнистые породы нижнеберезовской подсвиты верхнемеловых отложений северной части Западной Сибири являются уникальным с точки зрения литологических характеристик, генезиса, минералогии, структуры пустотного пространства объектом в нефтегазовой геологии. Их очень высокая пористость, достигающая 40-45%, и очень низкая проницаемость, не превышающая 1-2 мД, позволяет отнести газовые ресурсы, приуроченные к этим отложениям, к трудноизвлекаемым.

Целью исследования является изучение механизмов формирования пустотного пространства в отложениях нижнеберезовской подсвиты в пределах северной части Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели были применены специальные методические приемы, предусматривающие использование и комплексный анализ результатов широкого спектра лабораторных исследований, включающий оптическую микро- и стереоскопию, растровую электронную микроскопию, рентгеноструктурный анализ, микротомографию.

Исследуемые породы нижнеберезовской подсвиты различаются по минеральному составу, текстуре, структуре и составу породообразующих организмов. В минеральном составе пород преобладают кварц, кристобалит, опал, глинистые минералы, в качестве акцессорных минералов присутствуют цеолиты, а также пирит и калиевые полевые шпаты, плагиоклазы. Глинистые минералы преимущественно представлены монтмориллонитом, иллитом. Текстуальные характеристики пород во многом определяются многочисленными следами жизнедеятельности роющих организмов. Основными породообразующими организмами для отложений нижнеберезовской подсвиты являются радиолярии, диатомеи, губки. [1]

В разрезе наблюдается дифференциация по содержанию форменных элементов, количеству кварца, кристобалита, цеолитов и монтмориллонита. (Рисунок 1) Это обусловлено дифференциацией условий осадконакопления.

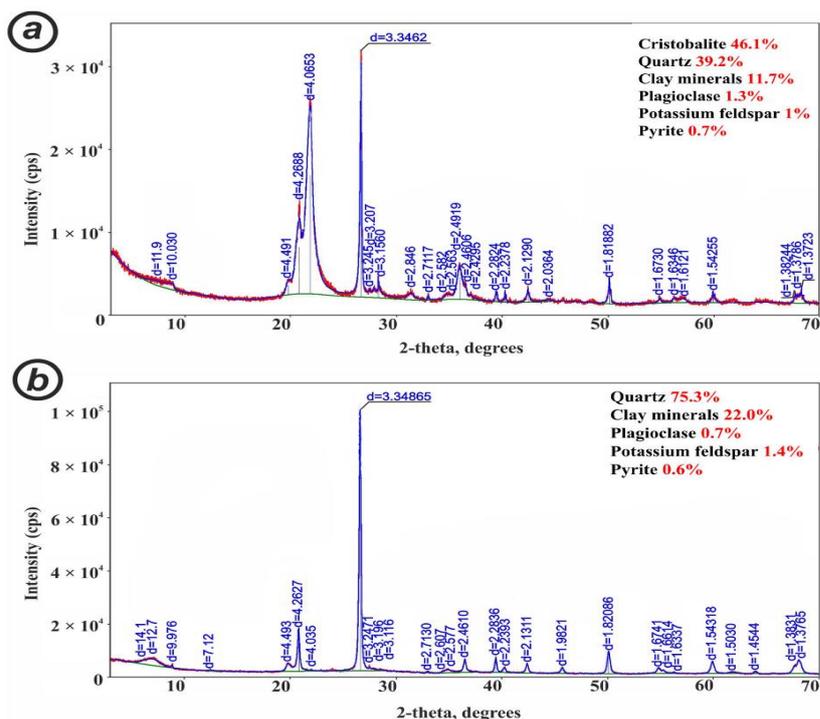


Рисунок 1. Диффрактограммы образцов горных пород верхней (а) и нижней (б) частей разреза. Обозначение: d- межплоскостное расстояние, измеряемое в ангстремах

В исследуемых породах отмечаются многочисленные пустоты различные по генезису, формам и размерам. Генетические типы пустот различаются по морфометрическим параметрам, закономерностям распределения в объеме породы и характеру минерализации стенок. На основе комплексирования разномасштабных методов исследования были выделены следующие типы пустотного пространства: пустоты, приуроченные к микростилолитовым швам, пустоты, приуроченные к ходам роющих организмов, внутрiformенные пустоты, межформенные пустоты, линзовидные пустоты, ячеистые пустоты. [3]

Часть из этих пустот, приурочена к определённым литотипам или их компонентам, а часть имеет универсальный характер. К такому типу пустотам можно отнести пустоты, приуроченные к микростилолитовым швам. Этот тип пустот достаточно широко распространен в разрезе в различных литотипах. В отдельных образцах на 0,5 см<sup>2</sup> может приходиться порядка 50 такого типа пустот. Они имеют вытянутый характер (0,5-7 мм), а раскрытость их достигает 0,1 мм. Стенки пустот минерализованы кварцем и в отдельных случаях пиритом. Такого рода пустоты широко развиты в скважине Вынгапуровская 701. Пустоты, приуроченные к микростилолитовым швам, в разрезах сенона на Медвежьем месторождении в основном заполнены частично или полностью глинистым веществом.

Достаточно широко распространены во всех литотипах являются пустоты, приуроченные к ходам роющих организмов, рисунки. Геометрия этих пустот во многом определяется видовой принадлежностью тех или иных организмов-биотурбаторов. Эти пустоты играют решающую роль в создании каналов связанности между различными генетическими типами пустот в породах сенона. Отдельные наиболее крупные ходы представляют собой высокопористые зоны, в которых сосредоточены пустоты, приуроченные к межзерновому и межкристалловому пространству. Пустотность этой зоны может достигать до 50% общего объема хода. Необходимо отметить, что при изучении ходов роющих организмов на электронном микроскопе отчетливо видна пористая структура стенки хода, что является решающим фактором для связанности хода со всем объемом пустотного пространства породы. Минерализация стенок

пустот, приуроченных к ходам роющих организмов, крайне разнообразна. На стенках этих пустот отмечаются аутигенные кристаллы кристобалита, пирита, цеолитов, ангидрита, а также чешуйки глинистых минералов. Размеры зон повышенной пустотности, связанной с ходами иллоедов, очень сильно колеблется. В поперечном срезе они изменяются от десятых долей мм до 1 см. По протяженности они могут достигать нескольких см. [4]

Одним из самых значимых типов пустот являются внутриформенные пустоты, приуроченные к реликтам порообразующих организмов. Значительная часть этих пустот связана с реликтами радиолярий, диатомей и спикулами, рисунки. В шлифах пустоты, связанные с реликтами радиолярий, представляют собой скопления мелких пор, ограниченных скелетом радиолярии. Размер таких участков колеблется от 0,05 до 0,18 мм. Аналогичный размер пустот приурочен и к реликтам диатомей. Размер пустот, приуроченный к спикулам, колеблется в широком диапазоне. В поперечном срезе он составляет от 10 мкм до нескольких десятых мм. Продольный разрез может достигать 200-300 мкм. Характер минерализации внутриформенных пустот крайне разнообразен. На стенках внутриформенных пустот отмечены многочисленные шарообразные скопления кристобалита, имеющего микробиальную природу, кристаллы цеолитов, пирита, глинистых минералов. Зачастую во внутреннем пространстве спикул выделяются вытянутые палочковидные бактериальные образования, сложенные кристобалитом, глинистыми минералами и цеолитами. [2]

Межформенные пустоты в отдельных литотипах могут играть значительную роль. В частности, на Вынгапуровском месторождении в разрезе выделяется достаточно мощная пачка, сложенная силицитами кварц-кристобалитовыми с реликтами радиолярий глинистыми, в которых эти пустоты являются основными. Эти пустоты приурочены к пространству между коккоидными кристобалитовыми бактериальными шарообразными формами. Размер пустот составляет 1-3 мкм. Можно предположить, что связанность этих пустот будет высокой, что должно обеспечивать высокие значения проницаемости.

Наиболее широко распространенным типом пустот являются межагрегатные (линзовидные и ячеистые) пустоты в глинистой массе породы. Размер ячеистых пустот, которые имеют в основном изометричные очертания составляет от 1 до 5 мкм. Линзовидные пустоты имеют вытянутую форму и размер по длинной оси до 10 мкм, а по короткой – от 1 до 5 мкм. Стенки пустот часто минерализованы щетками кварца, размер кристаллов в которых не превышает долей мкм. В отдельных случаях межагрегатные пустоты заполнены скоплениями органического вещества. В верхних частях разреза на Вынгапуровском месторождении на стенках межагрегатных пустот выделяются игольчатые кристаллики кристобалита.

### **Выводы**

Пустотное пространство отложений нижеберезовской подсвиты представляет собой сложнопостроенную и иерархическую систему, состоящую из различных генетических типов пустот в широком размерном диапазоне.

На основе комплексирования разномасштабных методов исследования были выделены следующие генетические типы пустотного пространства: пустоты, приуроченные к микростилолитовым швам, пустоты, приуроченные к ходам роющих организмов, внутриформенные пустоты, межформенные пустоты, линзовидные пустоты, ячеистые пустоты.

Полученные результаты по выделенным генетическим типам пустотного пространства будут использованы для цифрового моделирования пород-коллекторов, которое лежит в основе прогноза зон развития и свойств пород-коллекторов нижеберезовской подсвиты.

### **Библиография**

1. Родивилов, Д.Б.; Косарев П.Н.; Мамяшев В.Г. Нетрадиционный коллектор нижнеберезовской подсвиты и критерии его поиска. Нефть Газ 2018 , 3 , 37–43. [ Академия Google ] [ CrossRef ] [ Зеленая версия ]
2. Рыбьяков А.Н.; Нерсесов С.В.; Соколовский, РА; Постников А.В.; Постникова О.В.; Зуева, О.А.; Кузнецов А.С.; Дорошенко А.А.; Дорошенко А.А.; Карымова Ю.О.; и другие. Генезис силицитов и пород-коллекторов пустотного пространства коньяк-сантонских газоносных отложений. Газовая инд. 2020 , 8 , 54–62. [ Google Scholar ]
3. Черепанов В.В.; Меньшиков С.Н.; Варягов С.А.; Гладков Д.Ю.; Бондарев В.Л.; Миротворчество, МОИ; Клоков В.П. Проблемы оценки нефтегазоносности залежей нижнеберезовской подсвиты севера Западной Сибири Геология. Геофизика. Дев. Нефтегазовые месторождения 2015 , 2 , 11–26. [ Google Scholar ]
4. Zueva O.A., Postnikova O.V., Postnikov A.V., Nanoquartz in Late Cretaceous Deposits in the Lower Berezovskaya Subformation // Minerals 2023, 13(8), 993.

*Глобальный прогресс в исследованиях газовых гидратов*

*Ли Шэнцзе\* (РУДН, shentsze@mail.ru),  
Хавкин А. Я. (РУДН, aykhavkin@yandex.ru)*

**Аннотация**

В статье подробно рассмотрены ходы исследований гидратов природного газа в России, США, Японии, Китае.

**Ключевые слова**

Гидрат природного газа; новая энергетика; прогресс исследований; разведка и разработка.

**Теория**

Гидрат природного газа, также известный как «горючий лед», представляет собой кристаллическое соединение, состоящее из углеводородных газов, главным образом метана и воды. Как эффективный и чистый новый источник энергии, он привлек внимание стран всего мира. Американский учёный Квенволден [1] предсказывает, что общие мировые ресурсы гидратов природного газа составляют около  $2,0 \times 10^{16} m^3$ , что примерно в два раза превышает известные в настоящее время традиционные запасы ископаемой энергии в мире, включая уголь, нефть, природный газ и т. д. Гидраты природного газа широко распространены на континентальных склонах с низкой температурой ( $0\text{ }^\circ\text{C} \sim 10\text{ }^\circ\text{C}$ ) и высоким давлением (10 МПа), в морских глубоководных средах и континентальных зонах вечной мерзлоты. Среди них 99% морских ресурсов составляют и наземные ресурсы. составляют лишь 1% [2-3].

Россия: газовое Месояхское месторождение было открыто в конце 1960-х гг. Это первое и пока единственное газовое месторождение, которое было коммерчески освоено для добычи гидрата природного газа. Россия: Газовое месторождение было открыто в конце 1960-х гг. Это первое и пока единственное газовое месторождение, которое было коммерчески освоено для добычи гидрата природного газа. Газовое месторождение расположено на северо-западе Западной Сибири бывшего Советского Союза. Мощность многолетних мерзлых грунтов на территории газового месторождения превышает 500 м, что создает благоприятные условия для залегания природных газовых гидратов. Газовое месторождение Месояхского является традиционным газовым месторождением. Природный газ в газовом месторождении мигрирует через покрывки, и при благоприятных природных условиях над газовым месторождением образуется слой гидратов природного газа. [4]

Соединенные Штаты были первыми, кто пробурил скважины для поиска гидратов природного газа на шельфе, а затем Япония также пробурила образцы гидратов. С тех пор, на протяжении более 20 лет, Соединенные Штаты, Япония, Индия, Китай, Россия, Канада, Южная Корея и другие страны последовательно проводили бурение на гидраты в районе моря. В настоящее время разработка гидратов природного газа вступила в стадию экспериментальной добычи в таких странах, как Соединенные Штаты, Япония, Индия, Южная Корея, Китай, Россия и Канада, и были достигнуты значительные успехи.

Соединенные Штаты: В 1998 году геологическая служба Соединенных Штатов сделала прогноз, что объем запасов природного газа на месте в Соединенных Штатах составлял около  $9\ 067 \times 10^{12} m^3$  [5], в основном распределенных в пяти регионах: район моря Аляски (52,5%), район моря Аляски (52,5%), морской район Аляски (52,5%) и морской район Аляски (52,5%), Тихий океан (19.1%), Мексиканский залив (12.0%), Атлантический океан (16.1%) и площадь суши Аляски (0,2%). В 1995 году Соединенные Штаты провели исследование гидратов природного газа на Черноморской платформе в западной части Атлантического океана. Это впервые доказало, что гидраты широко распространены, и подтвердило их коммерческую ценность для разработки. На основе ряда результатов, полученных в результате этого исследования, Сенат Соединенных

Штатов принял решение в 1998 году включить гидраты природного газа в качестве стратегического источника энергии для национального развития в национальный долгосрочный план. В последнее время исследовательская работа Соединенных Штатов по гидратам природного газа в районе моря в основном сосредоточена на Мексиканском заливе. Исследования показали, что общее количество природного газа в северо-западной части Мексиканского залива составляет около  $(10-14) \times 10^{12} m^3$ , что почти равно или немного ниже, чем запасы гидратов природного газа во всем Мексиканском заливе [6]. В последние годы Соединенные Штаты сократили свои инвестиции в исследования гидратов, но по-прежнему придают большое значение фундаментальным научным исследованиям и участию в крупных международных планах/проектах по гидратам. Например: планирование бурения и отбора керна на нескольких площадках в Мексиканском заливе; сотрудничество с Японией для проведения долгосрочных пробных работ на берегу на Аляске (планируется, что они продлятся от нескольких месяцев до года); полное участие в долгосрочных проектах. пробное морское производство в Индии, завершение второго проекта совместно с Южной Кореей и т. д.

Япония: Во впадине Юго-Западных островов, впадине Южно-Китайского моря, восточной части полуострова Босо, впадине Тысячи островов, восточной оконечности Японского моря, Татарской впадине и Охотском море имеется в общей сложности около  $44\ 000\ km^2$  аналогичного отражающего слоя морского дна (Bottom Simulating Reflector, BSR) ареал распространения [7], подсчитано, что запасы гидрата метана в Японском море составляют около  $(4.7 \sim 7.4) \times 10^{12} m^3$ . Среди них впадина Южно-Китайского моря является наиболее перспективным районом распространения гидратов природного газа [8], с наибольшей площадью распространения BSR, на которую приходится от 80% до 90% от общей площади, а емкость хранилища метилана составляет около  $(0,42 \sim 4.2) \times 10^{12} m^3$  [9]. Японский план исследований и разработок гидратов природного газа (Methane hydrate & Dprogram, MH21) разработан и реализуется Министерством экономики, торговли и промышленности Японии (METI) и разделен на три этапа [10]. На первом этапе (2001–2008 годы) на этом этапе в основном проводились фундаментальные научные исследования, включая технологию разведки, технологию разложения и генерации, технологию производства и оценку воздействия на окружающую среду. С 2001 по 2002 год были проведены сейсморазведочные работы 2D и 3D, а в 2004 году во впадине Южно-Китайского моря были завершены буровые работы на 16 станциях и 32 буровых скважинах в 3 районах. Были идентифицированы три различных типа гидратов, и была выяснена корреляция между выживаемостью гидратов и BSR [11]. Замечательным результатом этого этапа является завершение оценки ресурсов, разработки и полевых испытаний гидратов метана в Японском море и определение технологии добычи природного газа. На втором этапе (2009–2015 гг.) основная работа на этом этапе заключается в проведении одного производственного испытания на суше и двух производственных испытаний на шельфе. [12] В марте 2013 года исследовательское судно “Earth” использовалось в восточных водах впадины Южно—Китайского моря для проведения первой в мире пробной добычи гидрата метана на шельфе. Газообразный метан был успешно отделен от гидрата метана на морском дне. В мае и июне 2017 г. [13] были проведены две опытно-промышленные испытания, обе из которых успешно добыли газ из богатых песком пластов морского дна, однако добыча была приостановлена из-за выноса песка и замерзания льда соответственно. Производительность двух пробных горных работ не удалось эффективно улучшить, что указывает на то, что технология добычи все еще нуждается в совершенствовании. [14] При тестировании добычи гидратов Япония также придает особое значение установлению процессов разведки и оценки ресурсов, установлению процессов оценки резервуаров, экологической и экономической оценки, а также участию в соответствующей международной деятельности. [15]

Китай: В 2006 году Геологическая служба Китая обсудила план бурения гидратов газа в Южно-Китайском море с международными учеными. В 2007 году в водах Шэньху был получен

первый физический образец гидрата в Китае. Проводя исследования гидратов в морских районах, геологическая служба Китая провела исследования гидратов природного газа в районах вечной мерзлоты, таких как Северо-Восточный Китай и Цинхай-Тибетское нагорье, и обнаружила признаки гидратов. В 2010 году Банк развития Китая и Геологическая служба Китая совместно завершила «Средне- и долгосрочный план Китая по гидратам природного газа (2010-2030 гг.)», который способствовал созданию и реализации нового раунда национальных специальных проектов по гидратам природного газа. В 2017 году Бюро морской геологической службы Гуанчжоу провело первую пробную добычу гидратов природного газа в районе моря Шенху. Природный газ был успешно извлечен из залежей гидратов природного газа на глубине от 203 до 277 метров под морским дном на глубине 1266 метров. Пробная добыча продолжалась 60 дней, а совокупная добыча газа превысила  $300\,000\text{ м}^3$ , при среднесуточной добыче газа более  $5000\text{ м}^3$ , при максимальной добыче газа в  $3,5$  миллиона кубометров  $50\,000\text{ м}^3/\text{сутки}$ . В ходе этого испытания был достигнут ряд важных прорывных результатов, таких как длительное время непрерывной выработки газа, стабильный поток газа и экологическая безопасность [16].

### **Выводы**

Россия, США, Япония, Индия, Южная Корея, Китай и другие страны провели различные исследования и пробную добычу гидратов природного газа и добились прорывного прогресса, но есть также некоторые проблемы и задач. Например: как добиться недорогих и высокоэффективных решений в области разработки. Как максимально защитить окружающую среду и избежать экологических и геологических катастроф, вызванных добычей гидратов.

### **Библиография**

1. *KVENVOLDEN K A. A primer on the geological occurrence of gas hydrate*[C]//*HENRIET J P, MIENERT J. Gas hydrates:relevance to world margin stability and climate change. London, Geological Society, Special Publication; 1998,9-30.*
2. *Wang Shuling, Sun Zhangtao. The current situation and development trend of global natural gas hydrate exploration and production research [J]. Frontiers of Marine Geology, 2018, 34 (7): 24-32.*
3. *Sha Zhibin, Xu Zhenqiang, Wang Pingkang, etc. The implications of the research and development of natural gas hydrates in the world for China to accelerate its industrialization [J]. Frontiers of Marine Geology, 2019, 35 (8): 1-10.*
4. Хавкин А. Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа /М.- Нефть и газа. - 2016. - 358с.
5. U. S. Department of Energy Office of Fossil Energy. A strategy for Methane Hydrates Research & Development R]. U. S. Department of Energy Office of Fossil Energy, 1998,34
6. *ALEXEI V. MILKOV, ROGER SASSEN. Estimate of gas hydrate resource, northwestern Gulf of Mexico continental slope[J]. Marine Geology, 2001,179,71-83.*
7. *LU S M. A global survey of gas hydrate development and reserves Specifically in the marine field[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015,41:884- 900.*
8. *OKUDA Y. Natural gas hydrate as future resources[J]. J Jpn Inst Eng. 1993.6: 425-435.*
9. *SATO M. MAEKAWA T, OKUDA Y. Estimation of a amount of methane and resources of natural gas hydrates in the world and around Japan[J]. J Geol Soc Jpn, 1996,102(11):959 -971.*
10. *METI. Japanese methane hydrate development plan[R]. METI,2001,8.*
11. *SATO M. Evaluation of natural gas hydrate resources in Haicheng such as the South China Sea Trough J]. day Natural Gas Earth Science,2003,14(6): 512-513.*
12. *COLWELL F, MATSUMOTO R, REED D. A review of the gas hydrates, geology, and biology of the Nankai Trough[J]. Chemical Geology, 2004,205(3-4): 391-404.*
13. *KRASON J. Study of 21 marine basins indicates wide prevalence of hydrates[J].*

International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1994, 54(8):34 -35.

14. USGS. International Gas Hydrate Research[R]. USGS, 2014.
15. *TAKAHASHI H, TSUJI Y.* Multi-well exploration program in 2004 for natural hydrate in the Nankai-Trough offshore Japan[C]//Offshore Technology Conference, Houston, Texas, U. S. A. ,2005,10.
16. *CHEN L, FENG Y, OKAJIMA J, et al.* Production behavior and numerical analysis for 2017 methane hydrate extraction test of Shenhu, South China Sea[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2018,53.55 - 56.

***Влияние глубины залегания продуктивных отложений Западно-Сибирской  
нефтегазоносной провинции на их фильтрационно-емкостные неоднородности**  
Ромеро Барренечеа О.В. \* (РУДН им. Патриса Лумумбы, drakosha56@bk.ru),  
Страхов П. Н. (РУДН им. Патриса Лумумбы, strakhov-pn@rudn.ru)*

**Аннотация**

В статье проведён анализ фильтрационно-ёмкостных свойств и водоудерживающей способности терригенных пород-коллекторов, залегающих на различных глубинах.

За основу были взяты результаты лабораторного изучения образцов керна из разновозрастных продуктивных отложений Вать-Ёганского, Ярайнерского, Западно-Тугровского, Узбекского, Филипповского, Сыморьяхского, Потанай-Картопьянского месторождений углеводородов.

Была проведена сравнительная характеристика фильтрационно-емкостных свойств коллекторов с учетом глубины их залегания и возраста составляющих их терригенных отложений. Выявлены эмпирические зависимости вероятности существования проницаемости от пористости, а также фильтрационно-емкостных свойств от водоудерживающей способности коллекторов.

**Ключевые слова**

Пористость, проницаемость, водоудерживающая способность, ТриЗ, флюид, фильтрация, нефть, газ, пустотное пространство, поры, капилляры, коллектор, гравитационное уплотнение.

**Теория**

При изучении продуктивных горизонтов многопластовых месторождений Западной Сибири была выявлена тенденция последовательного уменьшения кондиционных значений пористости коллекторов вниз по разрезу.

В частности, если при выделении коллекторов в продуктивных отложениях верхней части Покурской свиты (Сеноманский ярус) пороговое значение пористости принимается на уровне 20-25%, то для пород Юрской системы данный показатель редко превышает 12-14%. Ухудшение емкостных свойств терригенных отложений представляется вполне естественным ввиду изменения термобарических условий залегания горных пород. При изучении данной закономерности, возникают вопросы формирования устойчивой дренажной системы в породах, пористость которых сокращается более чем в 2 раза. Выявление причин развития данного явления наряду с увеличением точности оценки запасов углеводородов позволит повысить эффективность освоения залежей с трудноизвлекаемыми запасами (ТриЗ).

Для достижения поставленной цели особое внимание уделялось исследованиям неоднородностей функционального вида [2]. К ним относятся существенные расхождения эмпирических зависимостей между целевыми параметрами, рассчитанными для сопоставляемых объектов; отличия в характерах распределений целевых параметров анализируемых коллекций; отклонения от трендов и т. д. Были проанализированы результаты определений петрофизических параметров по чуть менее чем 7500 образцам. Особый интерес вызывают результаты сравнения эмпирических зависимостей между пористостью и проницаемостью, определенными для разновозрастных отложений. Часто при сопоставлении образцов одного и того же месторождения, имеющих практически равную пористость, лучшую проницаемость имеют более древние породы (рис 1).

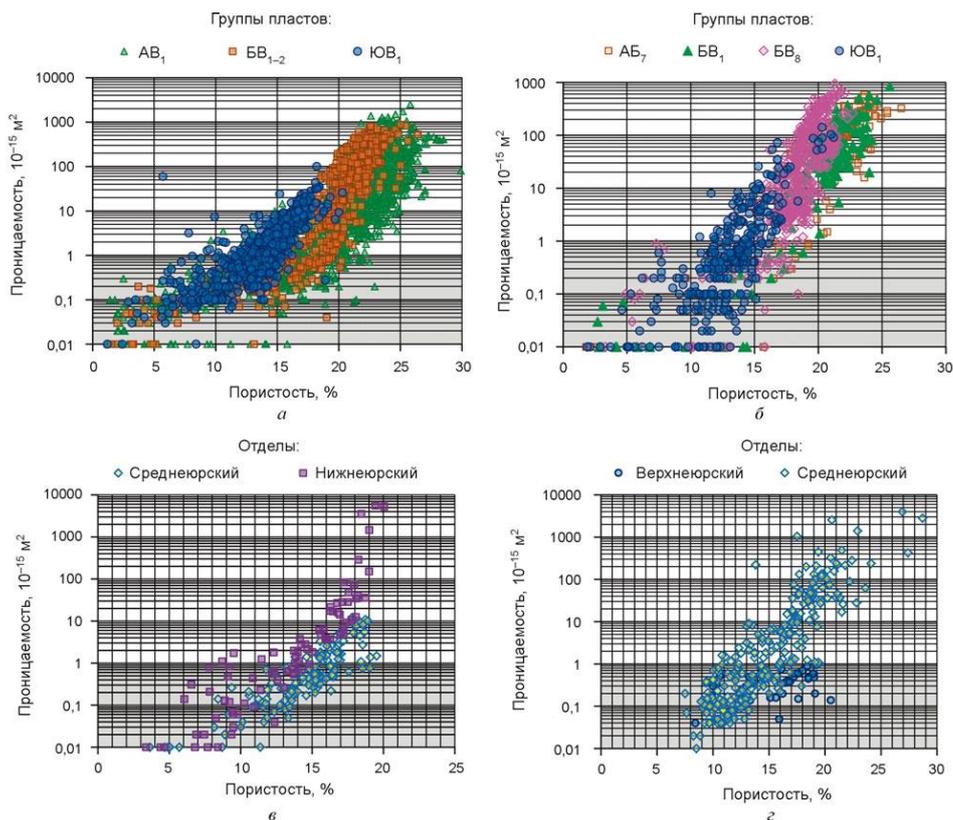


Рисунок 1. Сравнение особенностей соотношений пористости и проницаемости разновозрастных пород. Месторождения: а – Вать-Ёганское; б – Ярайнерское; в – Западно-Тугровское; г – Узбекское

В ходе анализа функциональных неоднородностей Вать-Ёганского месторождения Нижневартовского нефтегазоносного района (НГР) исследовались результаты определений пористости и проницаемости коллекций образцов групп пластов АВ1, БВ1-2 и ЮВ1 (см. рис. 1, а). Средняя абсолютная глубина залегания пород исследуемых выборок соответственно изменяется от –2150 до –2865 м. Замечено, что при сопоставлении пород с одинаковыми ёмкостными свойствами просматривается тенденция увеличения значений проницаемости вниз по разрезу. При прочих равных условиях наилучшие фильтрационные свойства характерны для образцов, отобранных из группы пластов ЮВ1, наихудшие – АВ1.

Похожая картина наблюдается при сопоставлении фильтрационно-ёмкостных свойств пород Ярайнерского месторождения (Пуровский НГР) для коллекций образцов групп пластов АВ7, БВ1, БВ8 и ЮВ1 (см. рис. 1, б). Средняя абсолютная глубина залегания сравниваемых объектов в данном направлении последовательно изменяется от –2150 до –2915 м. При сравнении разновозрастных пород с практически одинаковой пористостью наибольшие значения проницаемости, как правило, имеют представители коллекции наиболее древней группы пластов ЮВ1, наименьшие – АВ7.

Аналогичная закономерность прослеживается при изучении функциональных неоднородностей пород юрской системы Западно-Тугровского (Сергинский НГР) и Узбекского месторождений (Шаимский НГР).

Соответственно образцы коллекции нижнеюрского отдела Западно-Тугровского месторождения (см. рис. 1, в) имеют лучшие фильтрационные свойства, чем породы среднеюрского отдела, имеющие при этом такую же пористость. В свою очередь, терригенные разности верхнеюрского отдела Узбекского месторождения (см. рис. 1, г) характеризуются

ухудшенной проницаемостью относительно образцов с такими же ёмкостными свойствами среднеюрского отдела.

Близкие функциональные неоднородности отмечаются при изучении фильтрационно-ёмкостных свойств разновозрастных пород, залегающих на различных глубинах. В частности, это достаточно хорошо иллюстрируют результаты сопоставлений коллекторских свойств коллекций образцов тюменской свиты для ряда месторождений Приуральской нефтегазоносной области.

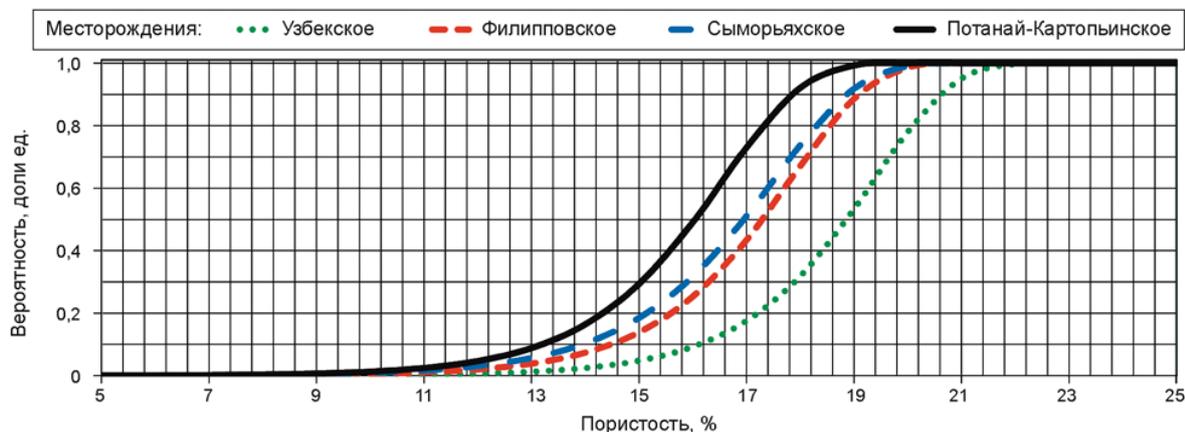


Рисунок 2. Эмпирические зависимости вероятности существования проницаемости не менее 10–15 мД от пористости образцов тюменской свиты

При оценке фильтрационного потенциала продуктивных отложений учитывалось, что связь между пористостью и проницаемостью имеет вероятностный характер. Это позволяет использовать математические методы, которые разработаны для анализа случайных явлений.

В данном случае рассматривались связи между вероятностью отнесения породы к коллекторам (проницаемость не меньше 10–15 мД) от пористости, которые с большой степенью достоверности аппроксимируются формулой (рис. 2, табл. 1):

Таблица 1

Параметры, характеризующие зависимости вероятности существования коллектора от пористости

Параметры	Месторождения			
	Узбекско е	Филиппов ское	Сыморьях ское	Потанай- Картопынское
Коэффициент А (формула (1))	0,6875	0,6697	0,6272	0,6628
Коэффициент В (формула (1))	-13,336	-11,95	-11	-11
Квадратичный коэффициент корреляции	0,91	0,96	0,92	0,93
Средняя глубина залегания пород, м	-1600	-1850	-1900	-2000

$$P_{k \text{ керн}} = 1 - \exp[-\exp(A \times K_{п \text{ керн}} - B)], \quad (1)$$

где:  $P_{k \text{ керн}}$  – вероятность отнесения образца к коллекторам, доли ед.;

$K_{п \text{ керн}}$  – пористость, определённая по керну, доли ед.;

$A, B$  – коэффициенты пропорциональности.

Просматривается тенденция улучшения проницаемости по мере увеличения глубины залегания разновозрастных пород, имеющих практически одинаковые ёмкостные свойства. Так, если из выборки пород Узбекского месторождения (средняя глубина залегания составляет –1600 м) с пористостью, равной 15%, только 4,7% можно классифицировать в качестве коллектора, то для аналогичных образцов Филипповского месторождения (–1850 м) данный показатель составит 13,8%, Сыморьяхского месторождения (–1900 м) – 18,4% и Потанай-Картопьянского (–2000 м) – 29,3%.

Очевидно, что по мере увеличения глубины залегания терригенных отложений происходят существенные изменения строения пустотного пространства. Интересно что, при равной пористости, среднестатистические образцы юрской системы будут иметь меньшие значения водоудерживающей способности, чем их более молодые аналоги. Увеличение параметра, характеризующего, в определённой степени, остаточную водонасыщенность, косвенно указывает на усложнение строения пустотного пространства. Как правило, это отражает как присутствие в породе системы пор, сообщаемость которых с основной дренажной системой ухудшена, так и наличие капилляров.

Рассмотренная ранее тенденция увеличения вниз по разрезу проницаемости пород позволяет говорить о возможности развития в породах микротрещин в процессе их погружения, наличие в образцах ядра залеченных трещин убедительно указывает на развитие соответствующих процессов в прошлом. Тем не менее только увеличением содержания в системе пустотного пространства микротрещин по мере погружения продуктивных отложений не просто объяснить тенденцию наблюдаемого относительного улучшения проницаемости пород вниз по разрезу. В этом случае также стало бы маловероятным существование сравнительно устойчивых зависимостей между ёмкостными и фильтрационными свойствами пород, которые наблюдаются при изучении реальных коллекций образцов (см. рис. 1).

Возможно, данная картина эволюции коллекторских свойств пород стала результатом неравномерного уплотнения пород. Интенсивность уплотнения мелких пор и капилляров возрастает по мере погружения терригенных отложений, так как для удаления из них флюидов требуется более существенное воздействие [1]. Таким образом, представляется правомерным предположение, что по мере увеличения горного давления основная потеря объёма пустот будет происходить за счет наиболее мелких пор. В свою очередь, отжимаемая из данных пор вода, для которой характерно относительно повышенное давление, будет поступать в систему достаточно крупных пор, формирующих дренажную систему пласта.

### **Выводы**

При погружении терригенных отложений внутрь земной коры в их пустотном пространстве происходит значительное изменение пустотного пространства за счет гравитационного уплотнения, затрагивающего в первую очередь систему капилляров, а также за счет развития микротрещин. При разработке залежей нефти и газа целесообразно учитывать, что локальное уменьшение пластового давления способствует удалению поровых флюидов из вмещающих отложений, определяя тем самым интенсификацию развития процессов уплотнения. В свою очередь, это будет способствовать попаданию в общую дренажную систему пласта углеводородов, первоначально насыщавших породы, фильтрационно-ёмкостные свойства которых хуже кондиционных значений. Данное явление представляет определённый интерес при проведении работ по повышению эффективности освоения залежей с трудноизвлекаемыми запасами.

### **Библиография**

1. Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1986. – 310 с.

2. Страхов П.Н. Изучение и классификация литологопетрофизических неоднородностей продуктивных отложе-

ний // Теоретические основы и технологии поисков и разведки нефти и газа. – 2012. – № 2. – С. 50–53.

3. Страхов П.Н., Филиппов В.П., Колосков В.Н., Сапожников А.Б., Богданов О.А., Мусихин К.В. Влияние глубины залегания Продуктивных отложений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции на их фильтрационно-емкостные неоднородности // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. №8, 2017, с 28-32.

*Структурная характеристика и тектоническая эволюция Суэцкого залива (Египет)  
Седдик А. А. А. М. \* (РГУ Нефти И Газа (НИУ) имени И.М. Губкина и Университет Сохаг,  
Egynet, a\_elmotashar87@science.sohag.edu.eg),  
Научный руководитель: Постникова О. В. (д.г.-м.н., профессор, РГУ Нефти И Газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина, olgapostnikova@yandex.ru)*

#### **Аннотация**

В результате отделения Аравийской плиты от Африканского континента образовался континентальный рифт, ориентированный на север северо-восток - юг юго-запад, в Суэцком заливе и Красном море. Бассейн Суэцкого залива и Красного моря является идеальным примером разрыва континентов и открытия новых океанов.

Залив представляет собой межконтинентальный рифт, простирающийся примерно на 325 км к северу от города Хургада. Активная фаза рифтообразования приходится на миоцен. Природные резервуары углеводородов формировались как на предрифтовой, так и на пострифтовой стадиях развития Суэцкого рифта, [1].

#### **Ключевые слова**

Суэцкий залив, тектоника, рифт, зоны аккомодации, Египет.

#### **Теория**

Бассейн Суэцкого залива и Красного моря является идеальным примером разрыва континентов и открытия новых океанов. Суэцкий залив и Красное море возникли как континентальные рифты на начальных этапах отделения Аравии от Африки. После определенного периода раздвижения континентов они были отделены друг от друга в процессе образования Мертвого моря, что позволило продолжить расширение Красного моря и сократить Суэцкий разлом. Продолжение расширения Красного моря привело к дальнейшему ослаблению земной коры и спредингу морского дна.

Раскрытие рифта в районе Суэцкого залива и Красного моря началось в позднем олигоцене - раннем миоцене [2]; [3]; [4], а трансформация Мертвого моря проявилась позднее.

В пределах территории Суэцкого залива выделяется несколько крупных мегаграбенов, ограниченных системами наклонных разломов [5]. Две зоны аккомодации разделяют три мегаполуграбена Суэцкого рифта, рис. (1). Мустафа признал наличие аккомодационных зон в рифте Суэцкого залива и назвал их шарнирными зонами вместо более позднего термина "аккомодационные зоны" [6]. Мустафа назвал зоны аккомодации Суэцкого залива зонами Галала-Зенима и Моргана.

В каждом из трех мегаграбенов Суэцкого залива основные разломы, ограничивающие рифтовые блоки, погружаются в противоположные стороны. Основные рифтовые блоки в северном и южном мегаграбенах Суэцкого рифта погружаются в направлении юго-запада, а в центральном мегаграбене - в направлении северо-востока, рис (2).

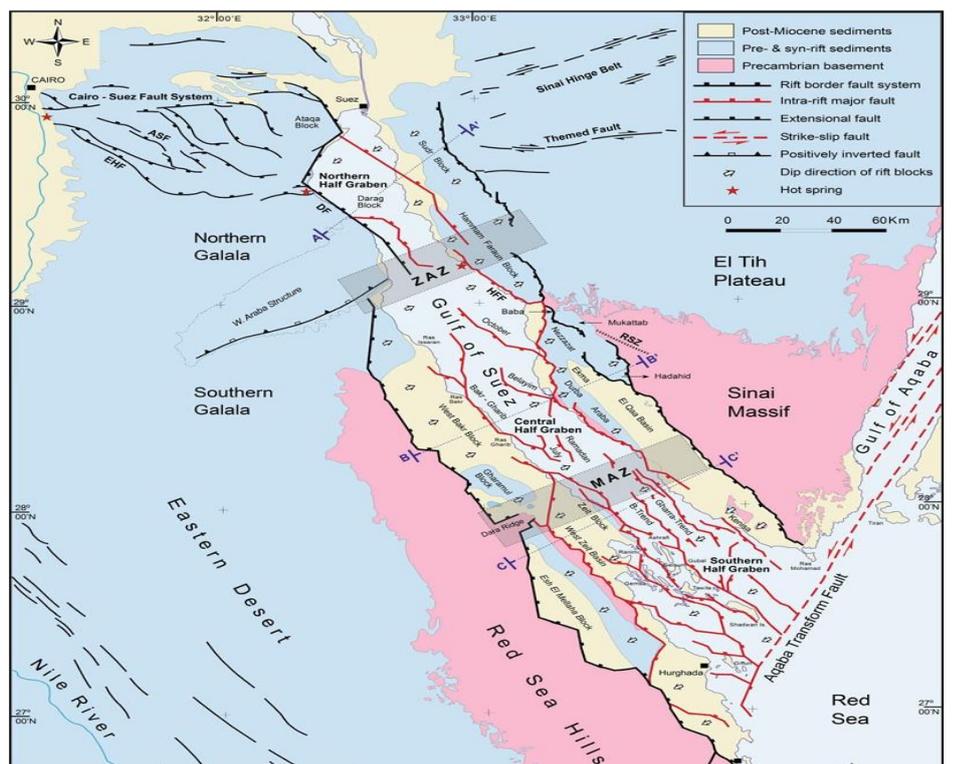


Рисунок 1. Упрощенная структурная карта, на которой показаны рифтовые блоки Суэцкого залива и северо-западной части Красного моря и зоны аккомодации между мегаграбенами (зоны аккомодации Заафарана (ZAZ) и Моргана (MAZ)) модифицированная после Moustafa и Khalil (2020)

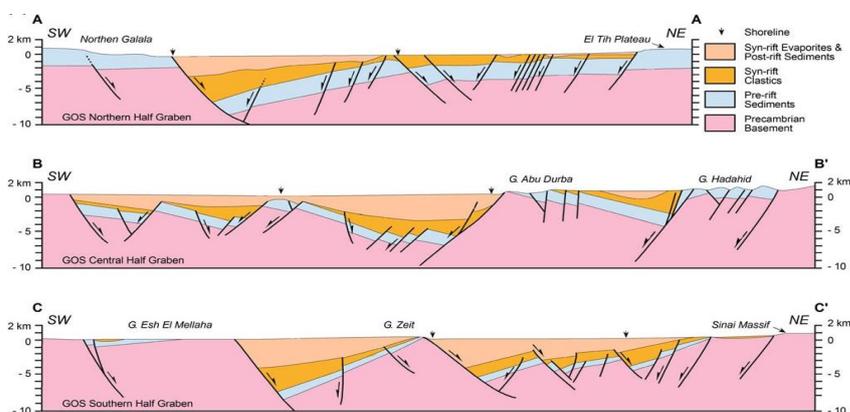


Рисунок 2. Структурные разрезы AA', BB' и CC' после Moustafa и Khalil (2020) Расположение этих разрезов см. на рис. 1

Часть разломов Суэцкого залива имеют преимущественную ориентацию на северо-северо-запад, отдельные разломы имеют и другие направления. Эти разломы совместно формируют границы рифтовых блоков и плеч рифта, что приводит к характерной зигзагообразной геометрии разломов.

Раскрытие рифта в районе Суэцкого залива и Красного моря началось в позднем олигоцене - раннем миоцене [2]; [3]; [4], а трансформация Мертвого моря проявилась позднее. В пределах территории Суэцкого залива выделяется несколько крупных мегаграбенов,

ограниченных системами наклонных разломов [5]. Две зоны аккомодации разделяют три мега-полуграбена Суэцкого рифта. [5].

В Суэцком заливе существует несколько предрифтовых структур, которые повлияли на геометрию рифта. Структура Вадии Араба представляет собой крупную позднемиоценовую инверсионную антиклиналь, погружающуюся на восток и простирающуюся на расстояние около 80 км между Северным и Южным Галальскими плато. Антиклиналь Вадии Араба контролировала северное распространение Суэцкого рифта, определяя расположение зоны аккомодации Заафарана между северным и центральным мегаграбенами рифта [7, 8]. По мере приближения к структуре Вадии-Араба разломы северного и центрального мегаграбенов Суэцкого рифта постепенно переходят друг в друга.

Стратиграфический разрез Суэцкого залива включает три тектоностратиграфические последовательности. Это дорифтовая, синрифтовая и пострифтовая.

### **Выводы**

Суэцкий Залив представляет собой межконтинентальный рифт. Раскрытие рифта в районе Суэцкого залива и Красного моря началось в позднем олигоцене - раннем миоцене. В пределах территории Суэцкого залива выделяется несколько крупных мегаграбенов, ограниченных системами наклонных разломов. Две зоны аккомодации разделяют три мега-полуграбена Суэцкого рифта.

### **Библиография**

1. Atta, M.A., et al. Petroleum potential of the Gemsa Basin, southern Gulf of Suez, Egypt. in International petroleum conference and exhibition. 2002.
2. Moustafa, A.R., Structural characteristics and tectonic evolution of the east-margin blocks of the Suez rift. Tectonophysics, 1993. 223(3-4): p. 381-399.
3. Patton, T., et al., Tectonic evolution and structural setting of the Suez rift: chapter 1: Part I. Type basin: Gulf of Suez. 1994.
4. Bosworth, W. and K. McClay, Structural and stratigraphic evolution of the Gulf of Suez rift, Egypt: a synthesis. Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle (1993), 2001. 186: p. 567-606.
5. Moustafa, A. Block faulting in the Gulf of Suez. in Proceedings of the 5th Egyptian General Petroleum Corporation Exploration Seminar. 1976.
6. Bosworth, W., Geometry of propagating continental rifts. Nature, 1985. 316(6029): p. 625-627.
7. Moustafa, A.R., Internal structure and deformation of an accommodation zone in the northern part of the Suez rift. Journal of Structural Geology, 1996. 18(1): p. 93-107.
8. Moustafa, A.R., Controls on the geometry of transfer zones in the Suez rift and northwest Red Sea: Implications for the structural geometry of rift systems. AAPG bulletin, 2002. 86(6): p. 979-1002.

*Анализ геологической изученности карбонатного природного резервуара биостромного  
типа с целью выявления перспективных нефтеносных зон*

*Хамидуллин Д.Р.\* (АГТУ «Высшая школа нефти», damir230604@gmail.com),  
Бурханов Р.Н. (АГТУ «Высшая школа нефти», burkhanov\_rn@mail.ru)*

**Аннотация**

В работе рассматривается структура карбонатных природных нефтеносных резервуаров, на примере заволжских карбонатных отложений Ромашкинского месторождения. Нефтеносность этих отложений доказана, отличаются пониженной продуктивностью по сравнению с ниже залегающими основными терригенными верхне и среднедевонскими отложениями. Изучались транзитными скважинами, этим и объясняется их пониженная геологическая изученность. В условиях высокой выработанности основных эксплуатационных объектов, анализ геологической изученности и доизучение фаменских отложений с целью выявления перспективных на нефть участков для дальнейшего вовлечения их в разработку является актуальной задачей. Целью работы является выявление новых перспективных нефтеносных участков в пределах разрабатываемой залежи нефти в карбонатном природном резервуаре. Для достижения этой цели проводился ретроспективный анализ геологической изученности залежи. Рассматривались керновые материалы, каротажи в открытом и закрытом стволе, данные опробования, испытания и разработки. Были построены карты изученности, структурные карты и карты изопахит, которые использовались как картографическая основа для выявленных перспективных участков. Установлено, что структурный и литологический факторы являются определяющими в пространственном распределении нефтеносности фаменских отложений. Для окончательного подтверждения нефтеносности выявленных участков рекомендуются дополнительные скважинные геолого-геофизические исследования, при благоприятных сведениях провести вскрытие и опробование перспективных интервалов в транзитных скважинах. При подтверждении нефтеносности предлагается обосновать метод вовлечения их в разработку. Предлагается добуривание боковых и горизонтальных стволов, гидроразрыв, кислотные обработки, одновременно-раздельная эксплуатация и другие методы, наиболее эффективные в карбонатных породах.

**Ключевые слова**

Залежь, нефть, природный резервуар, геологическая изученность, керн, геофизическая изученность.

**Теория**

Карбонатные резервуары состоят из известняков, которые образуются при диагенезе органических остатков, микроорганизмов и минералов, осаждавшихся в водных морских бассейнах. Могут быть различных видов в зависимости от условий образования и состава – меловые, доломитовые, рифовые, кристаллические и другие. Известняки изучаемого природного резервуара могут быть отнесены к рифовому типу, нередко со следами доломитизации и сульфатизации. Представлены микрозернистыми, неравномерно перекристаллизованными и кальцитизированными, плотными разностями, с порами и мелкими кавернами, эффективными перпендикулярными и наклонными, реже хаотическими трещинами. Коллекторы каверно-трещинного, порово-кавернисто-трещинного типа. Наличие нефти отмечается в порах, кавернах, эффективных трещинах. То есть изучаемые породы были затронуты вторичными процессами на стадиях катагенеза, а трещиноватость указывает на то, что они подверглись тектоническим нагрузкам. Нефтенасыщенные прослои органогенно-детритовых известняков характеризуются наилучшими коллекторскими свойствами. Тип коллектора - поровый. Их отличает сложная структура порового пространства, представленная межформенными и внутриформенными

порами, пораами выщелачивания, перекристаллизации, нередко присутствуют мелкие каверны. Основными породообразующими составляющими этих известняков являются фаунистический и растительный детрит, сгустки и комки микрозернистого кальцита, иногда встречаются обломки известняков. Кроме того, встречаются пропластки известняков псевдобрекчвидных, что обусловлено неровными плоскостями наложения с неравномерным распределением глинистого материала. Нефть на этих участках присутствует в виде небольших слабых пятен (рис. 1а) [1].

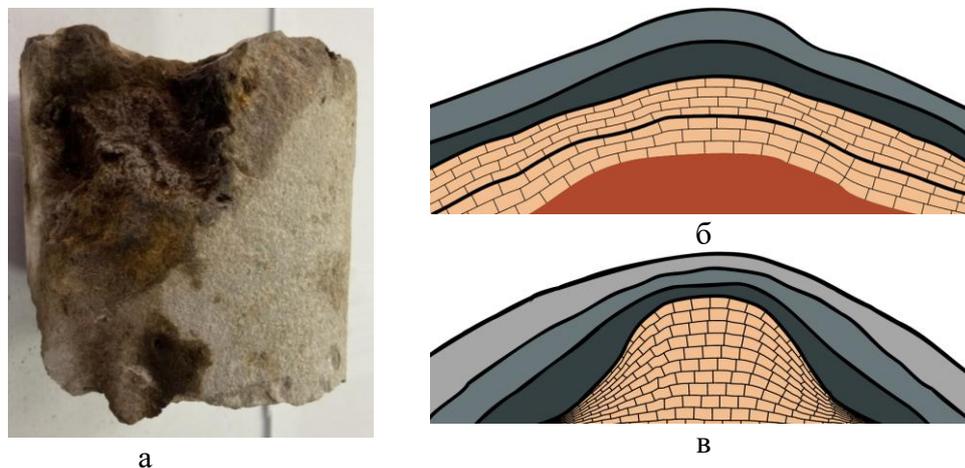


Рисунок 1. Строение и структура карбонатного природного резервуара (а - образец известняка заволжского надгоризонта в керне, б - биострома, в - биогерма)

Изучение седиментологии карбонатных осадков включает в себя анализ происхождения и образования, структуры и текстуры, композиции и состава, процессов диагенеза, включающих цементацию, компактацию, кристаллизацию и другие изменения под действием давления и температуры. Большое значение имеет исследование палеогеографического окружения и обстановки осадконакопления. Известны два основных типа биогенных осадочных образований, которые образуются в результате жизнедеятельности организмов. Биогерма представляет собой мощный слой карбонатных осадков, образованный морскими организмами, такими как кораллы, моллюски и водоросли (рис. 1б). Биогермы обычно имеют крупные размеры и могут составлять значительную часть подводных рифов. Биострома представляет собой тонкий слой органических отложений, образованный преимущественно микроскопическими водорослями и бактериями. Биостромы обычно имеют менее выраженную структуру по сравнению с биогермами и часто встречаются в прибрежных зонах и на мелководье (рис. 1в). Таким образом, основное различие между биогермами и биостромами заключается в их размере, структуре и распределении. Биогермы обычно более крупные и имеют более сложную структуру, чем биостромы, которые представляют собой более тонкие и менее организованные отложения. По характеру накопления образования выделяются постседиментационные и конседиментационные структуры. Постседиментационная структура образуется после осаждения и накопления осадочных пород. Накопление осадков в конседиментационном режиме происходит на существующей структуре [3]. Природный резервуар заволжского надгоризонта может быть отнесен к бистрольному конседиментационному типу.

Методика работ включала анализ геологической изученности, являющейся характеристикой полноты и степени надежности знаний о геологическом строении объекта исследования, составляется по атрибутам изученности и определяется масштабом карты, на которую наносятся [2]. Чем крупнее масштаб такой карты, тем детальнее исследована территория, тем выше ее геологическая изученность. Геологическое изучение второстепенных и возвратных объектов на многопластовых месторождениях осуществляется транзитными

скважинами, само изучение носит спорадический характер, поэтому сбор, систематизация и обобщение накопленных сведений из разных источников является трудоемкой задачей. Для заволжского надгоризонта проанализированы многолетние первичные и вторичные источники информации, уточнены критерии выделения коллекторов по пористости и нефтеносности по истинному сопротивлению пород. К первичным источникам геоинформации относятся паспорта скважин, las файлы и сканы каротажных диаграмм, а также акты отбора полноразмерного керна и образцов сверлящими кernoотборниками СКО, испытания пластов комплектом испытательных инструментов КИИ, вторичного вскрытия и сведения по эксплуатации скважин. К вторичным переработанным источникам информации относятся отбивки пластопересечений, макроописания и результаты лабораторных исследований емкостно-фильтрационных свойств керна, а также заключения по результатам испытания или опробования, интерпретации геофизических исследований скважин в открытом стволе РИГИС и в колонне, вторичному вскрытию пластов. В структуре заволжского резервуара выделяются 4 коллектора, разделенные плотными известняками. Причем нижние и верхние пласты образуют самостоятельные гидродинамические системы с собственными водонефтяными контактами ВНК. В нижних двух пластах ВНК выделен на отметке -942 м, а верхних двух пластах на отметке – 904 м [4].

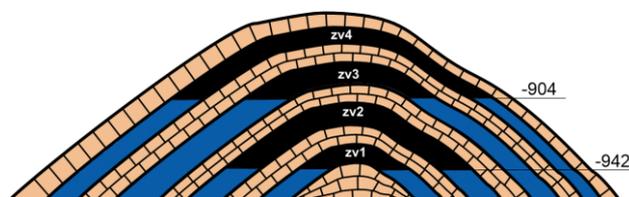


Рисунок 2. Структура заволжского надгоризонта

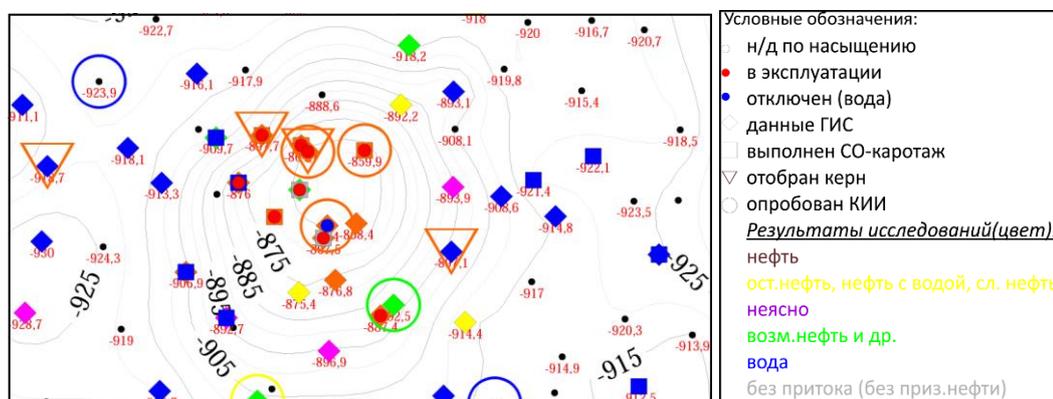


Рисунок 3. Карта геологической изученности заволжского надгоризонта

### Выводы

Геологическая изученность играет ключевую роль в нефтяной сфере при разведке и разработке месторождения. Ретроспективный анализ геологической изученности позволяет выявить перспективные нефтеносные зоны в транзитных скважинах, дальнейшее их геологическое изучение и вовлечение в разработку возможно с применением наиболее современных методов и практик. По результатам анализа геологической изученности заволжского природного резервуара выявлены скважины №1 №2, показанные на карте изученности и рекомендуемые в качестве перспективных для дальнейшего изучения и включения в них заволжских отложений разработку.

### **Библиография**

1. Базаревская В.Г., Фахреева О.Г., Файзуллин И.Н., Шарафутдинов В.Ф. (2004). Методы повышения прироста запасов нефти на территории деятельности НГДУ «Иркеннефть». Нефтяное хозяйство, №7, с.44-46.
2. Бурханов Р.Н., Лутфуллин А.А., Максютин А.В., Раупов И.Р., Валиуллин И.В., Фаррахов И.М., Швыденко М.В. (2022). Алгоритм ретроспективного анализа по выявлению и локализации остаточных запасов разрабатываемого многопластового нефтяного месторождения. Георесурсы, 24(3), с. 125-138. <https://doi.org/10.18599/grs.2022.3.11>
3. Милосердова Л.В., Мацера А.В., Самсонов Ю.В. Структурная геология. - Москва: Нефть и газ, 2004. - 536 с.
4. Шафикова С.Х., Хисамов Р.С. (2006). Технологическая схема разработки залежей № 767, 769 заволжского горизонта Ромашкинского месторождения. Бугульма: ТатНИПИнефть.

### **References**

1. Bazarevskaya V.G., Fakhreeva O.G., Faizullin I.N., Sharafutdinov V.F. (2004). Methods of increasing oil reserves increment in the operating area of NGDU "Irkenneft". Oil Industry, No.7, pp.44-46.
2. Burkhanov R.N., Lutfullin A.A., Maksyutin A.V., Raupov I.R., Valiullin I.V., Farakhov I.M., Shvydenko M.V. (2022). Algorithm for retrospective analysis to identify and localize residual reserves of a developed multi-layer oil field. Georesources, 24(3), pp. 125-138.
3. Miloserdova L.V., Macera A.V., Samsonov Ju.V. Structural geology. - Moskva: Neft' i gaz, 2004. - 536 s (in Russ).
4. Shafikova S.H., Hisamov R.S. (2006). Reservoir Development Plan No. 767, 769 for the Zavolzhsy Horizon of the Romashkinskoye Field. -Bugulma: TatNIPIneft (in Russ).

*Буровой раствор для бурения многолетнемерзлых горных пород  
Третьяк А.Я.\* (ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru),  
Чумаков А.А. (ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова (ЮРГПУ(НПИ),  
a-chumakow@mail.ru),  
Кривошеев К.В (ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова,  
kirillkriwosheev@yandex.ru)*

#### **Аннотация**

Задачей исследования является выполнение анализа современного состояния технологии бурения нефтегазовых скважин в многолетнемерзлых породах (ММП), разработка рецептуры промывочной жидкости, обеспечивающей снижение аварийности при бурении скважин в вечной мерзлоте.

Целью работы является повышение эффективности промывки скважин в условиях залегания ММП на основе применения очистных агентов с низкой теплопроводностью. Предложен состав бурового раствора, замерзающий при  $-7^{\circ}\text{C}$ , определены его оптимальные параметры.

#### **Ключевые слова**

Многолетнемерзлые породы, бурение скважин.

#### **Теория**

Многолетнемерзлые породы составляют основную массу криолитозоны, распространены в основном в Северном полушарии Земли и занимают порядка 65 % территории России. ММП – это породы, которые постоянно находятся в условиях отрицательных температур. Распространена многолетняя мерзлота на территории Магаданской, Иркутской, Читинской, Омской, Новосибирской, Тюменской, Томской, Свердловской областей, Республики Саха (Якутия), Бурятии, Коми, Хабаровского и Красноярского краёв и занимает площадь более 13 млн км<sup>2</sup>. Известно, что ММП залегают на глубине до 1400 метров с температурой до минус 8<sup>o</sup>C. Крупнейшие нефтегазовые месторождения находятся на территории распространения ММП – это Медвежье, Уренгойское, Возейское, Русское, Варьганское и др. Необходимо отметить, что геолого-геологические условия залегания ММП, их льдистость, теплофизические свойства изучены не достаточно. Известно, что температура мерзлоты изменяется от минус 3<sup>o</sup>C до минус 8<sup>o</sup>C. В ММП кристаллы льда заполняют всё поровое пространство. Льдистость пород является основной характеристикой, от которой зависит степень осложнений при сооружении скважин на газ, нефть и газоконденсат. С глубиной льдистость, как правило, уменьшается.

При бурении ММП происходят сложные процессы, как с горной породой, так и со льдом, при этом это взаимодействие усиливается физико-химическими процессами, которые происходят даже при отрицательных температурах. В соответствии с вышеизложенным возникает острая необходимость в использовании, при бурении скважин, бурового раствора, который не замерзал бы при температуре до минус 8<sup>o</sup>C.

Бурение скважин в зоне распространения ММП отличается от аналогов, расположенных в районах с положительной температурой. Влияние на технологию бурения скважины оказывают одновременно горно-геологические, горнотехнические, мерзлотные и климатические факторы. Осложнения, возникающие при проходке ММП, обуславливаются температурным фактором, который возникает на контакте резцов долота с горным массивом. При этом происходит таяние мерзлых пород, что, в конечном счете, приводит к осложнениям и авариям. Колебания теплового режима приводят к изменению прочности ММП, так как часть воды переходит из твердого состояния (лёд) в жидкое (вода). Лёд является основным компонентом ММП. В процессе бурения мерзлых пород механическая энергия превращается в тепловую, которая нагревает долото и окружающие ствол скважины горные породы, что оказывает влияние на целостность ствола

скважины и свойства бурового раствора. Таким образом, обозначенные выше проблемы являются актуальными в настоящее время.

В последнее время основные объекты буровых работ на углеводородное сырье выполняются на Крайнем Севере, поэтому вопрос выбора эффективной промывочной жидкости стоит очень остро.

Предлагается использовать раствор на водной основе. В качестве противоморозных добавок в водный раствор вводят  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{KCl}$ . С повышением их концентрации температура замерзания раствора, естественно, снижается и может быть доведена на  $-16^\circ\text{C}$ . Однако при этом возрастает скорость растворения льда. Для получения требуемых свойств в раствор вводят бентонитовую глину, а также калиевую целлюлозу (ПАЦ 800/75), которая снижает водоотдачу растворов различной минерализации, в том числе и ингибированных хлоридом калия ( $\text{KCl}$ ). Для бурения ММП предлагается использовать буровой раствор, состоящий из: структурообразователя – мраморная крошка –  $\text{CaO}$  – 2–5 %, ПАЦ – 2,5 %; химреагенты, снижающие температуру замерзания и ингибирующие стенки скважины – пропиленгликоль – 1–5 %; хлорид кальция – 1–4 %, морозол 2 – 1–5 %; хлорид калия – 1–4 %, поверхностно-активное вещество – ПАВ-ОП-10 – 2–5 %.

Лабораторные испытания подтвердили высокую эффективность разработанного бурового раствора (табл. 1).

Таблица 1

Параметры буровых растворов

№ п/п	Состав бурового раствора	Параметры				Примечание
		плотность, $\text{г/см}^3$	вязкость, С	водоотдача, $\text{см}^3/30$ мин	температура замерзания, град.С	
1	2	3	4	5	6	7
1	Мраморная крошка – 5 ПАЦ – 5 Пропиленгликоль – 5 Морозол 2 – 5 Хлорид калия – 4 ПАВ-ОП-10 – 5 Хлорид кальция – 4 Остальное – вода	1,22	22	3,0	$-7^\circ\text{C}$	
2	Мраморная крошка – 5 ПАЦ – 4 Пропиленгликоль – 4 Морозол 2 – 4 Хлорид калия – 3 ПАВ-ОП-10 – 4 Хлорид кальция – 3 Остальное – вода	1,19	22	4,1	$-5,5^\circ\text{C}$	
3	Мраморная крошка – 5 ПАЦ – 3 Пропиленгликоль – 3 Морозол 2 – 3 Хлорид калия – 2	1,14	21	5,2	$-3,5^\circ\text{C}$	

	ПАВ-ОП-10 – 3 Хлорид кальция – 2 Остальное – вода					
4	Мраморная крошка – 5 ПАЦ – 2 Пропиленгликоль – 2 Морозол 2 – 1 Хлорид калия – 1 ПАВ-ОП-10 – 2 Хлорид кальция – 1 Остальное – вода	1,1	21	6,1	– 2°С	

Оптимальным оказался раствор № 1, имеющий состав: мраморная крошка – 5 %, ПАЦ – 5 %, пропиленгликоль – 5 %, морозол 2 – 5 %, хлорид калия – 4 %, ПАВ-ОП-10 – 5 %, хлорид кальция – 4 %, остальное – вода. Температура замерзания такого раствора составила минус 7°С.

### **Выводы**

Выполненные экспериментальные исследования позволили подобрать оптимальный состав бурового раствора, состоящий из: мраморной крошки, ПАЦ, пропиленгликоля, морозола, хлорида кальция, ПАВ-ОП-10, хлористого калия, остальное вода и рекомендовать его для бурения скважин в ММП.

На разработанной, с низкой температурой замерзания, буровой раствор подана заявка на изобретение.

### **Библиография**

1. Третьяк А.Я., Кривошеев К.В., Полторац М.Н. Химические реагенты для буровых растворов на водной основе при низкотемпературных условиях бурения скважин. Междунар. научная конф. «Актуальные проблемы недропользования – 2023», г. Новочеркасск, ЮРГПУ(НПИ), 27 апреля 2023 г.
2. Растворы для низкотемпературных условий бурения / А.Б. Тулубаев, И.А. Королева, А.М. Казанцева, Ж.С. Попова // Экспозиция Нефть Газ. – 2021. – № 6(85). – С. 68–71. – DOI 10.24412/2076-6785-2021-6-68-71.
3. Тимофеев Н.Г., Скрыбин Р.М., Атласов Р.А. О температурном режиме при бурении скважин в условиях криолитозоны // Наука и образование. – 2017. – № 3. – С. 51–56.
4. Тулубаев А.Б., Паникаровский Е.В. Научно-технологические аспекты и перспективы применения технологии криогенного бурения скважин // Нефть и газ. – 2020. – № 3. – С. 54–58.

*Подсекция 5.2. Инновационные технологии разработки и эксплуатации нефтяных и  
газовых месторождений*

*Внедрение водогазового воздействия для выработки остаточных запасов месторождения  
Татарстана*

*Ахметшина А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, akhmetshina-01@mail.ru),*

*Научный руководитель д.т.н., профессор Дроздов А.Н. (Российский государственный  
геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, Drozdov\_AN@mail.ru)*

**Аннотация**

В проекте представлен метод определения застойных и слабодренированных зон в процессе эксплуатации объекта. С его помощью можно оптимизировать внедрение третичных МУН. Выбран объект разработки, на котором предполагается внедрение водогазового воздействия. Предлагается нагнетать водогазовую смесь в участки пласта, которые содержат наибольшие остаточные запасы. В качестве газового компонента можно использовать нефтяной газ и дымовые газы котельной, которая находится поблизости. Данное решение позволит увеличить количество вытесняющего агента, повысить нефтеотдачу и снизить углеродный след.

**Ключевые слова**

Увеличение нефтеотдачи, остаточные запасы, водогазовое воздействие, заводнение, закачка дымовых газов, «умная» закачка.

**Теория**

Актуальным является задача увеличения нефтеотдачи и интенсификация добычи нефти. Фактические КИН по многим месторождениям отстают от проектных по ряду причин. Это указывает на необходимость разработки и внедрения способов, которые позволят увеличивать эффективность эксплуатации и адаптировать внедряемые технологии к различным промышленным условиям [1,2,4,8].

Заводнение – высокоэффективная технология, которая поддерживает пластовое давление и обеспечивает повышение нефтедобычи. Однако данный метод не всегда вовлекает в процесс разработки запасы слабодренлируемых и застойных зон [3,5,7,9,10].

С целью эффективного внедрения третичных методов увеличения нефтеотдачи необходимо определять зоны расположения остаточных запасов. Один из способов, суть которого заключается в определении накопленного отбора нефти, жидкости и воды, времени эксплуатации скважины и нефтенасыщенности пласта на выбранном участке скважины с добывающими и нагнетательными скважинами, с последующим нахождением приведенных коэффициентов дренируемости. Полученные значения выносятся на карту дренируемости по нефти, жидкости и воде с выбранным шагом. Сплошными изолиниями соединяются скважины с одинаковыми уровнями. В последующем выделенные зоны сравниваются на картах дренируемости, текущей нефтенасыщенности и текущих запасов нефти, что позволяет повысить точность определения перспективных зон доработки [6].

Данный метод определения застойных и слабодренированных зон позволит повысить эффективность выработки запасов за счёт целенаправленного воздействия МУН на выбранные очаги.

Одним из объектов можно выбрать месторождение R, расположенное в республике Татарстан. Данные промысловых исследований показали наличие значительных остаточных запасов в некоторых участках пласта. При этом классические технологии малоэффективны. Вблизи объекта имеется котельная – источник дымовых газов. Предлагается применить

технологии водогазового воздействия, при котором дымовые газы станут газовым компонентом закачиваемой смеси.

Водогазовое воздействие [5] является перспективным методом поддержания пластового давления и увеличения КИН. Для его внедрения могут быть применены различные технические устройства, однако наибольшей эффективностью обладают насосно-эжекторные системы.

Особенность выбранного объекта заключается в том, что нефти характеризуются низким газовым фактором. Из-за этого возникает нехватка попутного газа для получения нужного объема водогазовой смеси с необходимым газосодержанием. Для рационального использования имеющихся ресурсов целесообразно применить стратегию, указанную в [5]. Идея «умной» закачки в том, что необходимо закачивать водогазовую смесь не во все нагнетательные скважины, а только в те скважины, которые наилучшим образом подходят по своим промысловым условиям для закачки смеси. Эти скважины содержат значительное количество остаточных запасов.

В данном случае к нефтяным газам добавляются дымовые газы, что позволяет увеличить объем газового компонента, соответственно объем от получаемой водогазовой смеси. Полученная водогазовая смесь с необходимым газосодержанием дает возможность использовать больший объем пласта и повысить количество скважин, что позволяет нам увеличить нефтеотдачу и снизить углеродный след.

Для наиболее эффективного использования целенаправленного водогазового воздействия целесообразно использовать способ определения местоположения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи [6].

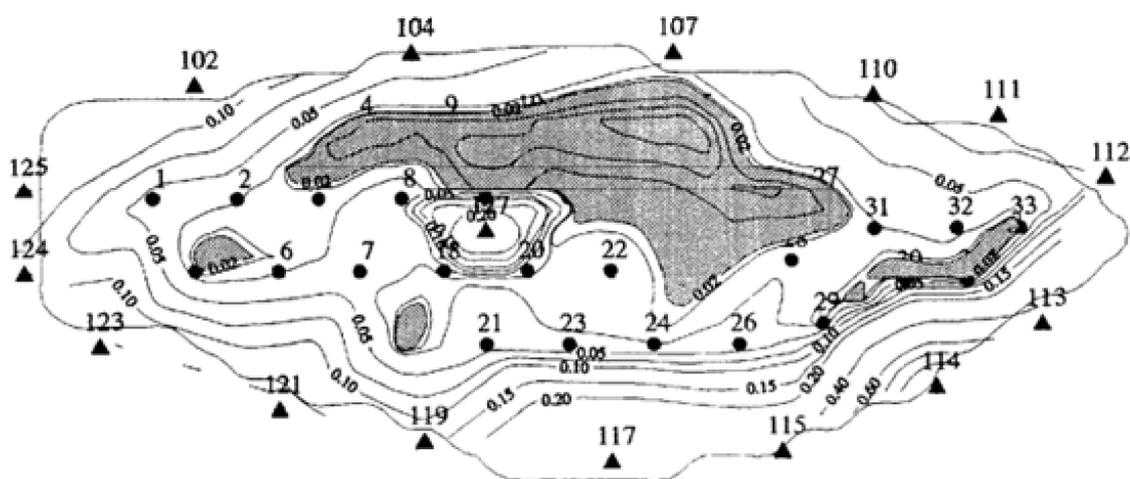


Рисунок 2. Карта дренируемости по нефти [6]

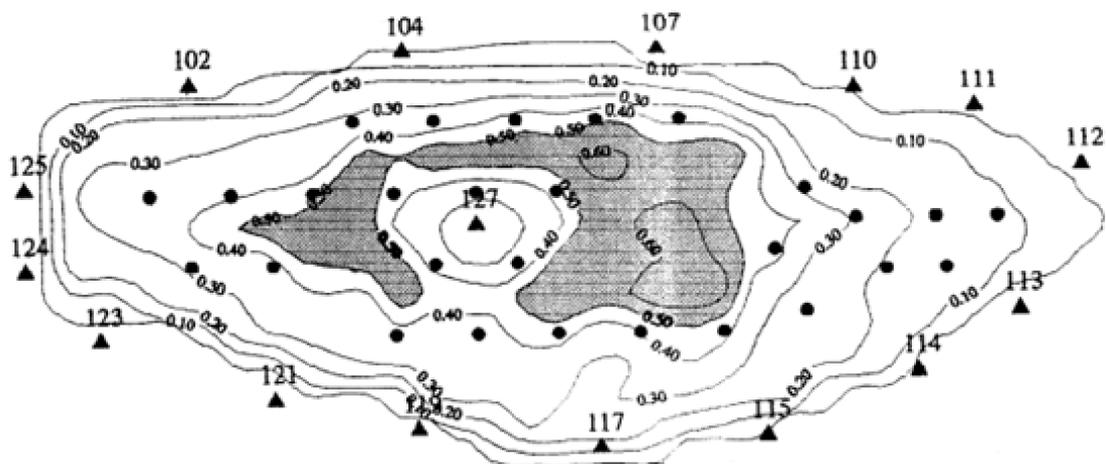


Рисунок 3. Карта текущей нефтенасыщенности [6]

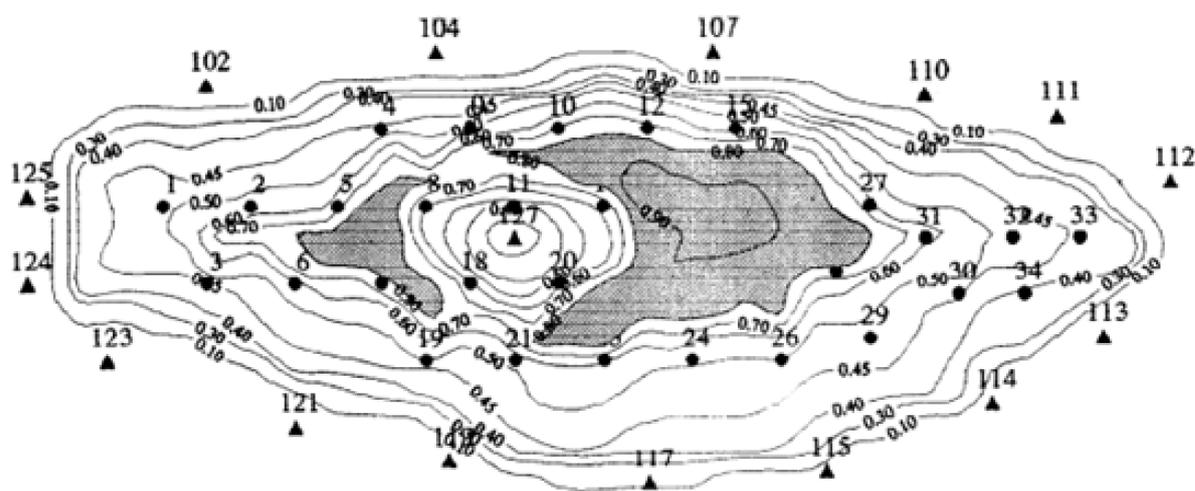


Рисунок 4. Карта текущего запаса нефти [6]

### **Выводы**

Представленный метод определения застойных и слабодренируемых зон позволяет определить зоны пласта, аккумулирующие остаточные запасы. На рассмотренном месторождении внедрение водогазового воздействия в такие участки позволяет наиболее эффективно применять добытый нефтяной газ, а также уменьшить углеродный след. Добавление дымовых газов позволяет увеличить объем получаемой водогазовой смеси с рациональным газосодержанием.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность коллективу кафедры «Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений» МГРИ им. С. Орджоникидзе и организаторам конференции «Молодые – Научкам о Земле» за предоставленную возможность участия.

### **Библиография**

1. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Jiang R., Vakhtiyarov S. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.

2. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрислоевой генерации газа / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Мандрик И.Э., Бахтияров С.И. // Нефтяное хозяйство. 2006. № 11. С. 76-80.
3. Концепция мониторинга и оптимизации процесса заводнения нефтяных пластов при неустойчивости фронта вытеснения / Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В. // Нефтяное хозяйство. 2021. № 11. С. 104-109.
4. Подготовка к внедрению водогазового воздействия на опытном участке ПАО «ТАТНЕФТЬ» / Князева Н.А. и др. // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 19-27. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP2022SI200737>.
5. Разработка технологии "умной" закачки водогазовых смесей с применением насосно-эжекторных систем / Дроздов А.Н. и др. // Бурение и нефть. 2022. № 2. С. 34-39.
6. Способ определения местоположения застойных и слабодренлируемых зон нефтяной залежи / Шахвердиев А.Х., Максимов М.М., Рыбичкая Л.П., Галушко В.В. // Патент на изобретение RU 2105136 C1, 20.02.1998. Заявка № 97114425/03 от 03.09.1997.
7. Способ разработки нефтяной залежи / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М. // Патент на изобретение RU 2244110 C1, 10.01.2005. Заявка № 2003110568/03 от 13.06.2002.
8. Шахвердиев А.Х. Некоторые концептуальные аспекты системной оптимизации разработки нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. 2017. № 2. С. 58-63. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-2-58-63.
9. Effect of surfactant on volume and pressure of generated CO<sub>2</sub> gas / Bakhtiyarov S.I., Shakhverdiyev A.K., Panakhov G.M., Abbasov E.M. // В сборнике: SPE Production and Operations Symposium, Proceedings. Сер. "SPE Production and Operations Symposium 2007 - Boom Times or a New Reality" 2007. С. 478-482.
10. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems / Shestopalov Y., Shakhverdiyev A. // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.

*Перспективы разработки месторождений на шельфе Суринама*

*Беклес З.А.М.\* (РУДН, zefanjabeckles@live.com),  
Байджиков К.А. (РУДН, kemal\_bey\_77@icloud.com),  
Тчаро Х. (РУДН, honoretcharo@yahoo.com)*

**Аннотация**

Данное исследование посвящено вопросу перспектив разработки месторождений на шельфе Суринама. Для обоснования выбора технологии разработки месторождения на шельфе Суринама изучены современные технологии добычи нефти и газа для морских месторождений, проанализированы условия и эффективность их применения на примере различных стран. Для Блока 58 морского месторождения Мака-Сентрал-1 с учетом существующих условий был выбран оптимальный метод добычи на шельфе.

**Ключевые слова**

Республика Суринам, шельф, технологические решения, морская добыча углеводородов, месторождение Мака-Сентрал-1.

**Теория**

Актуальным вопросом для стран Латинской Америки на сегодняшний день является развитие нефтегазового мощи для усиления своего влияния в регионе. Суринам – суверенное государство в Южной Америке (площадь 165 тыс. кв. км), расположенное на северо-востоке Атлантического океана Южной Америки. Северная граница Суринама проходит по Атлантическому океану. Восточная граница проходит по линии разделения с Французской Гвианой. Западная граница проходит по линии разделения с Гайаной. Южная граница проходит по линии разделения с Бразилией. Суринам всегда характеризовался как страна с такими полезными ископаемыми, как нефть и газ, бокситы, алюминий и золото.

В последние годы Суринам стал одной из самых перспективных новых нефтегазовых провинций в Латинской Америке. Самое маленькое по площади и населению государство Южной Америки в 2021-2022 гг. отметилось крупными открытиями в своих территориальных водах, а компания Epi прогнозирует увеличение запасов нефти в размере около 16,3 млн. т на основе продолжающейся череды открытий. На рисунке 1 приведена карта с указанием блоков месторождений на шельфе Суринама и компаний, занимающихся их разработкой. Государственная нефтяная компания Staatsolie заявляет о наличии на шельфе Суринама ресурсов с извлекаемыми запасами до 30 млрд. баррелей нефтяного эквивалента [1].

Однако перспективы Суринама в нефтегазовой отрасли будут зависеть от серьезных изменений на мировой энергетической арене. Новые проекты по разработке новых месторождений требуют снижения выбросов углекислого газа, что может привести к увеличению затрат и так дорогостоящих технологии разработки месторождений на морском шельфе.

Среди нефтегазовых активов Суринама наибольшее внимание вызвал шельфовый Блок 58 (см. рисунок 1). Данный блок разрабатывается в рамках соглашения о создании совместного предприятия на 2019 год между партнерами TotalEnergies и Apache Corporation, каждый из которых владеет 50 % акций [2]. Компании планируют добывать 200 000 баррелей/сут (около 26,3 тыс. т/сут), что в 10 раз превышает текущий суточный объем добычи в Суринаме.

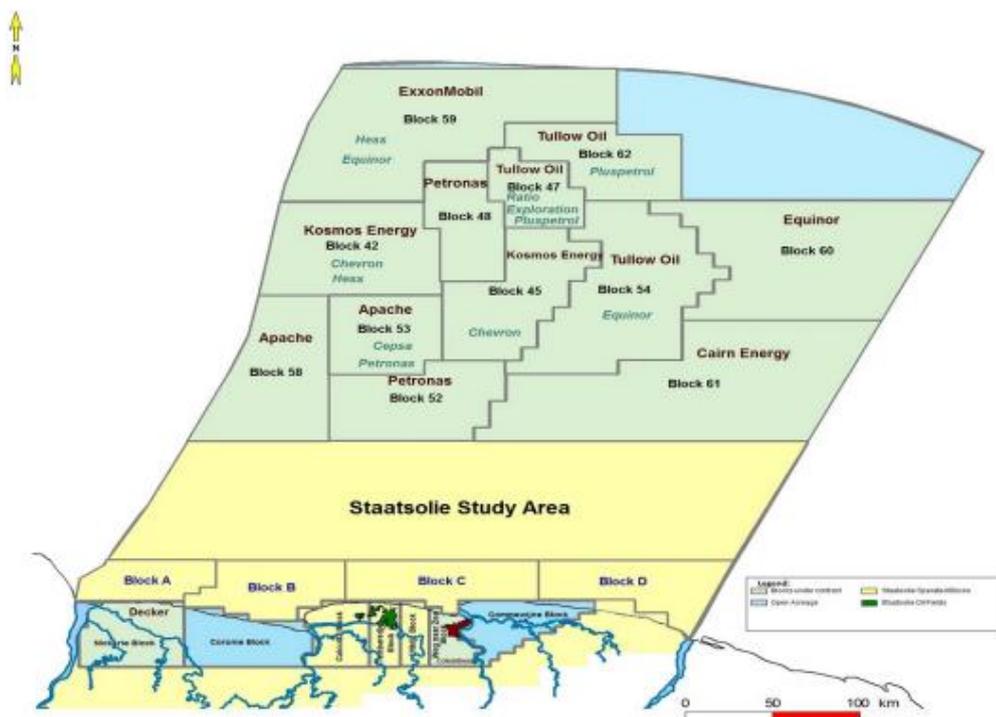


Рисунок 1. Карта Суринама с указанием местоположения нефти и газа [3]

Обоснование выбора технологии для Блока 58 производилось на основе изучения геологического строения и нефтегазового потенциала рассматриваемого региона, изучения коллекторских свойств и физико-химические свойства нефтяных и газовых месторождений Суринама, климатических особенностей региона. Для выбора технологии были проанализированы варианты технологических решений для добычи нефти на примере Ганы, Анголы, Норвегии, Канады, России, Бразилии и Венесуэлы.

По результатам бурения разведочных скважин Мака-1 в конце 2019 года, Крабдагу-1 (KBD-1), расположенная в центральной части блока, и Сапакапа Вест-1, пробуренной примерно в 15 км к юго-востоку от скважины Мака-1, были обнаружены залежи нефти и газового конденсата, сложенные высокопроницаемыми кампанскими и сантонскими пластами-коллекторами. В скважине Крабдагу-1 обнаружен более мелкий кампанский интервал, содержащий 50 метров (164 фута) чистого углеводородного коллектора [4]. Предварительные пробы жидкости и результаты испытаний указывают на наличие легкой нефти и газоконденсата с плотностью по API от 40 до 60 градусов, что составляет 738-824 кг/м<sup>3</sup>. Более глубокий сантонский интервал содержит 73 метра (240 футов) чистой нефтеносной залежи. Предварительные пробы флюидов и результаты тестов указывают на плотность нефти по API от 35 до 45 градусов (800-848 кг/м<sup>3</sup>, соответственно). Предварительные пробы жидкости и результаты испытаний Сапакапа Вест-1 [4] указывают на наличие не менее 79 метров чистой нефти и газового конденсата в двух интервалах. Более мелкий кампанский интервал содержит 13 метров чистого газового конденсата и 30 метров чистого нефтяного продуктивного пласта с плотностью нефти по API от 35 до 40 градусов (824-848 кг/м<sup>3</sup>, соответственно). Более глубокий сантонский интервал содержит 36 метров чистого нефтеносного коллектора с плотностью нефти по API от 40 до 45 градусов, что составляет 800-824 кг/м<sup>3</sup>.

Стоит также отметить схожесть геологических условий доказанных залежей нефти в Африке и возможных залежей на северном побережье Южной Америки (рисунок 2), что связано с разделением материков. Рассматриваемые бассейны демонстрируют четкие геологические параллели, представляющие интерес с точки зрения разведки нефтегазовых месторождений [4].

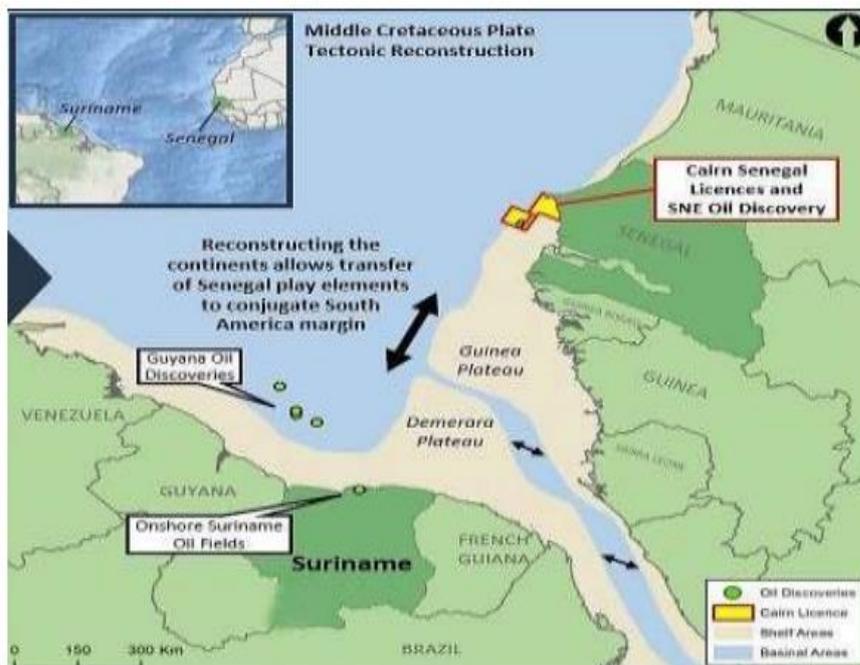


Рисунок 2. Изображение Гвинейского плато в Африке и плато Демерара близ Суринама [5]

По результатам проведенного анализа концепции разработки Блока 58 предполагает использование глубоководных технологий, аналогичных тем, которые используются для разработки месторождений с сопоставимыми условиями.

Как основные варианты для добычи нефти и газа на шельфовых месторождениях выделены следующие технологии: 1) плавучие установки для добычи, хранения и отгрузки нефти (FPSO – floating production storage and offloading), 2) производственные полупогружные установки (SPP – semisubmersible production platform) и плавучие нефтеналивные хранилища (FSO – floating oil storage), 3) платформы с натяжными опорами (TLP - tension leg platform) и FSO, 4) нефтехранилище с беспричальным наливом (Spar) и FSO, 5) мобильные морские производственные установки (MOPUs - Mobile offshore production units).

FPSO, расположенная вблизи нефтяного месторождения, добывает, хранит и перерабатывает сырую нефть перед ее выгрузкой на танкеры для экспорта на различных глубинах. Жидкости транспортируются с месторождения по подводным трубопроводам. SPP размещены на больших глубинах за пределами месторождения футов (от 80 м до 2400 м), где по подводным трубопроводам транспортируются жидкости для переработки и хранения перед загрузкой в FSO и/или танкеры. TLP являются третьей по популярности плавучей производственной системой, при которой некоторые скважины подключены к подводным трубопроводам, в то время как другие - нет. Сырая нефть перерабатывается на платформе и хранится в установках FSO перед экспортом. Установки Spar похожи на TLP в том смысле, что оба представляют собой платформенные конструкции, которые вертикально плавают в воде, закрепляются за пределами месторождения и перерабатывают сырую нефть перед хранением в установках FSO. MOPUs - самоподъемные буровые установки с производственными мощностями, устанавливаются на мелководье (менее 100 м) и подключаются к FSO для хранения и разгрузки или трубопроводу.

### **Выводы**

По результатам исследования выбрана перспективная технология добычи нефти для месторождения Блок-58 на шельфе Суринама. Основываясь на критических критериях и

факторах риска, FPSO и танкерные платформы определены как наилучшие варианты для условий эксплуатации в Суринаме. Это решение подкреплено знанием операционных рисков в регионе. Кроме того, использование FPSO имеет такие преимущества, как более легкое отключение от подводной инфраструктуры и извлечение на поверхность.

### **Библиография**

1. Nelson A. Staatsolie's VISION 2030: the contributions of petroleum geology to Surinamese society: Netherlands Journal of Geosciences, URL: Staatsolie website: <https://www.staatsolie.com/95-4,375-392>. 2016.
2. Suriname: Total and Apache Make Significant Discovery in Block 58. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/suriname-total-and-apache-make-significant-discovery-block-58> (Дата обращения 05.03.2024)
3. Staatsolie Offshore Map. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.staatsolie.com/media/myub0xsn/offshore-map-inl-blocks-andlabels-a4-300.jpg> (Дата обращения 09.03.2024)
4. Wong T., Geuns L. The discovery of a major hydrocarbon occurrence in the Guiana Basin, offshore Suriname: a blessing or a curse? Academic Journal of Suriname. 2019. Vol. 10. pp. 1-6.
5. Debipersad S. Suriname A Brief Overview. DOI: 10.13140/RG.2.2.13989.55529. 2018. Vol pp.1-7.

*Освоение нефтегазовых месторождений арктического шельфа России  
Белезякова К.А. \* (МГРИ, [Christiebeleziakova@yandex.ru](mailto:Christiebeleziakova@yandex.ru)),  
(научный руководитель профессор, д.т.н. Харченко Ю.А.)*

**Аннотация**

Нефтегазодобывающий комплекс играет ключевую роль в экономическом развитии страны, однако истощение запасов на суше подчеркивает необходимость освоения новых нефтегазовых районов, включая шельф Мирового Океана.

Российская часть арктического шельфа представляет собой перспективный объект для развития нефтегазовой добычи. Однако освоение арктических месторождений требует длительной подготовки и учета многочисленных арктических факторов.

**Ключевые слова**

Арктический шельф, месторождения, нефтегазовая отрасль, оборудование и технические средства для морской нефтегазодобычи.

**Теория**

Нефтегазодобывающий комплекс играет важную роль в развитии нашей страны. Легко извлекаемые запасы углеводородов иссякают, поэтому необходимо приступать к освоению трудноизвлекаемых ресурсов, в число которых входят нефтегазовые месторождения континентального шельфа [9,10]. Морская нефтегазодобыча ведется уже 100 лет и по мере освоения мелководных месторождений, интересы нефтегазовых компаний перемещаются на менее доступные районы Мирового Океана, такие как арктический и субарктический шельф.

Арктический регион обладает огромным потенциалом для добычи нефти и газа, привлекающий внимание мировых энергетических компаний. Несмотря на технические и климатические сложности, современные технологии позволяют осваивать данные ресурсы эффективнее.

За последние 50 лет морская нефтегазовая отрасль превратилась в отдельное бурно развивающееся направление мирового нефтегазового комплекса. Для ее нужд созданы уникальные подводные технологии, оборудование и специальные технические средства, которые позволяют вести добычу углеводородов на глубинах до 3 км и обеспечивать их транспортировку по подводным трубопроводам на расстояния более 1000 км. [6]

Необходимо отметить, что оборудование для подводной добычи существенно отличается от своих сухопутных и надводных аналогов как габаритными размерами, так, и по принципу действия.

По оценкам ряда международных экспертных организаций наибольшие ресурсы на арктическом шельфе сосредоточены в его российской части. В последние десятилетия российские компании ПАО «Газпром», НК ПАО «Роснефть», ПАО Лукойл, АО Новотэк активно занимаются освоением углеводородных ресурсов Печорского, Охотского, Каспийского и Балтийского морей. Идет подготовка к обустройству месторождений в Баренцовом и Карском морях, которые показаны на рисунке 1. В перспективе планируется освоение ресурсов морей восточной Арктики – Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского.

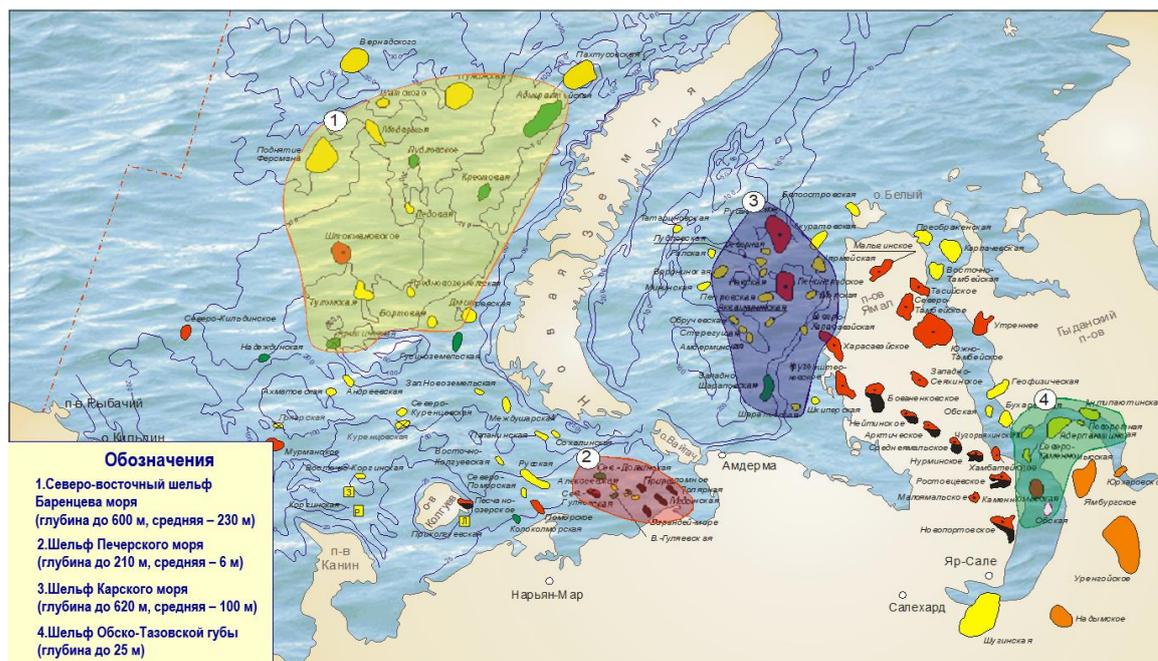


Рисунок 1. Первоочередные для освоения нефтегазовые районы арктического шельфа России

Одной из характерных особенностей освоения арктических месторождений является длительное время подготовки к началу добычи на новых месторождениях, которое составляет от 13 до 26 лет. Причиной этому являются арктические факторы, которые предъявляют особые требования как к технологиям, так и к техническим средствам, обеспечивающих добычу в Арктике. К ним относятся:

1. Ледовые образования различной природы (ледовые поля, айсберги, торосы, стамухи);
2. Взаимодействие ледовых образований с дном в прибрежной зоне и на мелководье;
3. Сложная логистика в ледовых условиях;
4. Сложности в организации аварийно-спасательных работ;
5. Обледенение;
6. Полярная ночь, магнитные бури;
7. Отсутствие баз снабжения;
8. Ограниченный навигационный период [1-4].

Основные перспективные районы нефтегазодобычи шельфа России находятся в зоне активного проявления арктических факторов.

Для решения проблем, связанных с арктическими факторами, разрабатываются специальные технологии, предлагаются новые технические решения и мероприятия.

Основные технологии и мероприятия можно разделить по группам:

1. Специальные конструкции платформ;
2. Управление ледовой обстановкой;
3. Подводная защита конструкций;
4. Конструкции трубопроводов;
5. Строительные решения;
6. Специальные эксплуатационные решения [5,6].

Современное состояние освоения ресурсов углеводородов арктического шельфа России характеризуется активным применением надземного, надводного и подводного видов обустройства месторождений.

Надземный вид освоения месторождения реализуется с использованием горизонтальных скважин большой протяженности, которые разбуриваются либо с берега, либо с искусственного острова.

Надводный вид обустройства морского месторождения характеризуется такими особенностями как: надводное расположение устьев скважин на платформе и оборудования по подготовке углеводородов. Также при этом виде обустройства месторождения управление добычей происходит с платформы. Постоянное присутствие людей и выработка электроэнергии на платформе являются одними из ключевых характеристик, относящихся к данному виду обустройства [7].

При применении надводного обустройства на удаленных от берега месторождениях, возникают риски, связанные как с плановой сменой, так и экстренной эвакуацией персонала платформы особенно в зимний период с учетом продолжительной полярной ночи, частых магнитных бурь, неожиданно возникающих снежных шквалах, а также наличия ледовых полей вокруг платформы [4,8].

Поэтому для освоения удаленных перспективных месторождений арктического шельфа России наиболее предпочтительным видом их обустройства является подводный, применение которого сводит до минимума влияние человеческого фактора [6].

Следует отметить, что помимо проблем, связанных с созданием подводного оборудования для подготовки углеводородов, существуют и другие проблемы, связанные с созданием надежных и экономичных систем управления удаленных подводных объектов, а также систем энергоснабжения этих же объектов [5].

### **Выводы**

Статья подчеркивает важность развития нефтегазодобычи на арктическом шельфе России. Арктический регион обладает огромным потенциалом для добычи нефти и газа, что привлекает внимание мировых энергетических компаний. Несмотря на технические и климатические сложности, современные технологии делают освоение этих районов более эффективным. Однако подготовка к добыче на арктическом шельфе требует времени и специализированных подходов из-за сложных ледовых условий, ограниченного навигационного периода и других арктических факторов.

Несмотря на вызовы и риски, связанные с арктическими условиями, интерес к развитию нефтегазодобычи на арктическом шельфе России остается высоким, и современные технологии делают это возможным.

### **Благодарности**

Хочу выразить искреннюю благодарность организаторам конференции за их усердие и преданность, вложенные в подготовку этого мероприятия. Ваш профессионализм и внимание к деталям создали идеальную платформу для обмена идеями и опытом. Отдельные слова благодарности хочу выразить своему научному руководителю Харченко Юрию Алексеевичу за ценные советы при подготовке данного тезиса и рекомендации по оформлению статьи.

### **Библиография**

1. Никитин Б.А., Харченко Ю.А., Оганов А.С., Богатырева Е.В. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа, Часть 1 // Прединвестиционная и инвестиционная стадии М.: изд. РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 330 с
2. Харченко Ю.А., Богатырева Е.В., Мансуров М.Н. Морские операции при освоении нефтегазовых месторождений континентального шельфа (учебное пособие) М.: изд. РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – 185 с.

3. Харченко Ю.А., Голядкина С.С., Кудрявцев И.А. Актуальность применения АНПА в освоении арктических месторождений // В книге: Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ROOGD-2020) Тезисы VIII Международной научно-технической конференции. Москва, 2020 -С. 45.
4. Харченко Ю.А. Оганов А.С. Богатырева Е.В. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа, Часть 2 // Безопасность и риски при эксплуатации месторождений в Арктике (учебное пособие) М.: изд. РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 295 с.
5. Харченко Ю.А., Гриценко А.И., Сугунушев С.С. Электроснабжение подводно-добычных комплексов (научная статья) // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море, 2019, №3. – С. 64-70.
6. Харченко Ю.А., Крылов П.В., Шарохин В.Ю., Фролов К.В., Газин Д.И., Калашников П.К. Системы подводной добычи в Российской Федерации: предпосылки появления и современное состояние // Газовая промышленность, 2020. №52(802). С.8-18.
7. Харченко Ю.А., Потысьев Е.А. Обустройство шельфовых месторождений в Арктике (научная статья). // Деловой журнал Neftegaz.RU, 2017, №5. – С. 20-22.
8. Харченко Ю.А., Чехлов А.Н. Морские трубопроводы на шельфе Арктики. Идентификация опасностей и барьеры безопасности. (научная статья) // Деловой журнал Neftegaz, 2022. - №1. – С. 42-49.
9. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Трудноизвлекаемые запасы недонасыщенных нефтью коллекторов: научная статья (ЕСОЭН) // Геология и недропользование. 2022. № 9, октябрь. С. 78-86.
10. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Проблемы трансформации запасов углеводородного сырья в нерентабельную техногенную категорию трудноизвлекаемых: научная статья // Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 38-43.

**Расчет параметров погружной установки центробежного насоса на месторождении К. Ворожев Д.Ю. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), vorozhev2020@gmail.com),  
Научный рук-ль д. т. н., проф. Дроздов А. Н. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), drozdov\_an@mail.ru)**

### **Аннотация**

В рамках данного исследования необходимо рассчитать характеристики подходящей модели погружного электрического центробежного насоса. На сегодняшний день основным механизированным способом добычи нефти среди всех являются погружные центробежные насосы. Для выполнения определенных целей, таких как эффективная добыча углеводородов и экономичное использование оборудования необходимо правильно подобрать установку, учитывая все факторы, влияющие на характеристику работы насоса. Подбор установки проводился на основе данных с месторождения К, с использованием методики П.Д. Ляпкина.

### **Ключевые слова**

УЭЦН, подбор ЭЦН, ПЭД, расчет по методике П. Д. Ляпкина.

### **Теория**

Как известно, многие месторождения находятся на последней стадии разработки. Третья стадия характеризуется существенным снижением пластового давления и иссякающим запасом пластовой энергии, что неизбежно приводит к необходимости внедрять технологии повышения нефтедачи пласта [1-7], а также технику для эксплуатации скважин в данных условиях [8-10].

Одним из способов эксплуатации скважин является механизированная добыча.

На данном месторождении основным эксплуатационным объектом является залежь пласта Дк'+Дк. Она была введена в эксплуатацию в 1967 г. В настоящее время находится на 4 стадии разработки. Для скважины, пробуренной на этот пласт расчет оптимальных параметров УЭЦН осуществлялся при помощи методики П. Д. Ляпкина [9]. Исходные данные, необходимые для выполнения данной работы, полученные с месторождения К, предоставлены в таблице №1.

Таблица 1

Промысловые данные скважины X месторождения К.

№	Наименование параметра	Единица измерения	Символ	Значение
1	Начальное пластовое давление	МПа	$P_{пл}$	27,37
2	Температура продукции у входа в насос	К	$T_{ф}$	327
3	Расстояние по вертикали от устья скважины до забоя	м	$H_{ф}$	2552
4	Внутренний диаметр эксплуатационной колонны	м	$D_{эк}$	0,146
5	Коэффициент продуктивности скважины	$\frac{м^3}{сут * МПа}$	$K$	33,5
6	Поправка на влияние попадания в призабойную зону пласта технологической жидкости при промывках или глушении скважины	безразмерная	$x$	0,5
7	Линейное давление	МПа	$P_{л}$	0,8

8	Дебит скважины	$\frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$	$Q_{\text{жсу}}$	35
9	Давление насыщенная нефти попутным газом	МПа	$P_{\text{нас}}$	16
10	Газовый фактор нефти	$\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}$	$\Gamma_{\text{н.нас}}$	347,1
11	Плотность попутного газа при СУ	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{гсу}}$	0,95
12	Плотность нефти при СУ	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{нсу}}$	790
13	Плотность технологической жидкости для глушения скважины	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{тж}}$	1200
14	Обводненность	%	$\beta_{\text{всу}}$	45
15	Плотность попутной воды при СУ	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{всу}}$	1100

При помощи выбранной методики были рассчитаны значения среднего расхода продукции через насос  $Q_{\text{ср}}$ , напор насоса  $H$  и мощность, потребляемой ЭЦН  $N$  по формулам:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{жсу}} * (b_{\text{н}} * P_{\text{нас}}^{n_b} * (1 - \beta_{\text{жн}}) + \beta_{\text{жн}}) = 38,3 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \quad (1)$$

$$H = \frac{10^6 * (P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}})}{g * \rho_{\text{ср}}} = 2192 \text{ м} \quad (2)$$

$$N = \frac{Q_{\text{ср}} * H * K_Q * K_H * \rho_{\text{ср}} * g}{86.4 * 10^6 * \eta_{\text{н}}} = 28,5 \text{ кВт} \quad (3)$$

После данных вычислений была подобрана установка, включающая в себя ЭЦН4-50-2200, состоящая из 3 секций, длина которых 5 м и количеством ступеней 190 шт и погружной электродвигатель ПЭДН45-130-1250/00, с мощностью 45 кВт и КПД 83,3%, по каталогу компании «NOVOMET». Характеристики ступени насоса показаны на рис. 1

### ЭЦН4-50 ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНИ

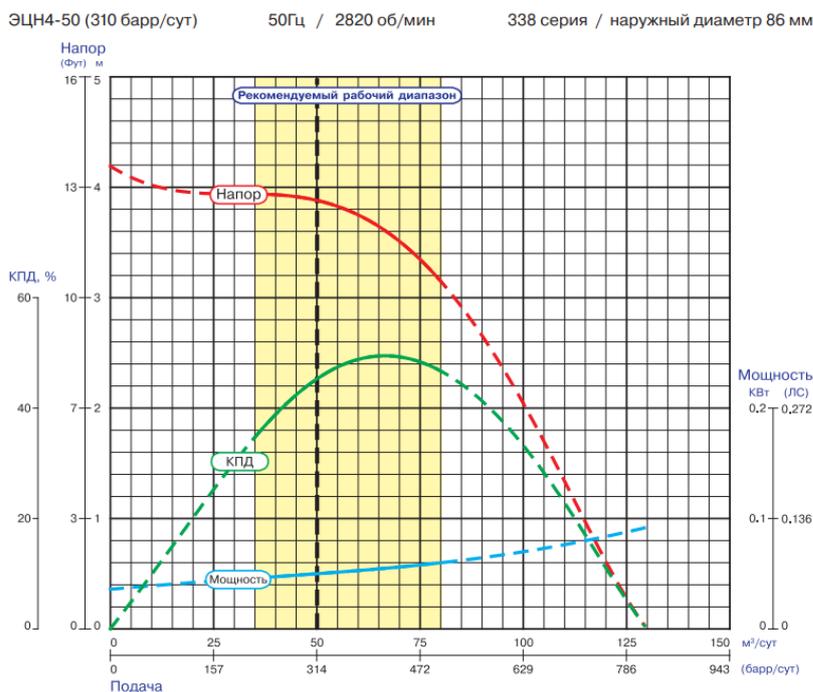


Рисунок 1. Характеристики ступени ЭЦН4-50

#### Выводы

Согласно проведенным расчетам, установка электроцентробежного насоса (УЭЦН) типа 4-50-2200 будет функционировать в рамках рекомендуемого рабочего диапазона при эксплуатации скважины на месторождении К. Данная модель насоса будет обеспечивать оптимальный дебит и давление при заданных условиях скважины, что приведет к эффективной добыче углеводородов.

#### Библиография

1. Шахвердиев А.Х. Еще раз о нефтеотдаче // Нефтяное хозяйство. 2014. № 1. С. 44-48.
2. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> / Панахов Г.М., А.Х. Шахвердиев. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.
3. In-situ generation of carbon dioxide: new way to increase oil recovery / Gumersky Kh.Kh., Dzhaforov I.S, Shakhverdiev A. // В сборнике: Proceedings of the European Petroleum Conference. European Petroleum Conference (EUROPEC). Paris, France, 2000. С. 499-504.
4. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрипластовой генерации газа / Панахов Г.М, А.Х. Шахвердиев. // Нефтяное хозяйство. 2006. № 11. С. 76-80.
5. Патент на изобретение RU 2105136 С1. Способ определения местоположения застойных и слабодренлируемых зон нефтяной залежи / Максимов М.М, А.Х. Шахвердиев. // 20.02.1998. Заявка № 97114425/03 от 03.09.1997.
6. Патент на изобретение RU 2244110 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М. // 10.01.2005. Заявка № 2003110568/03 от 13.06.2002.

7. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems / Shestopalov Y., Shakhverdiev A. // *Symmetry*. 2021. Т. 13. № 10.
8. Параметры эксплуатации насосно-эжекторной системы при водогазовом воздействии на Самодуровском месторождении / Дроздов А.Н., Горелкина Е.И. // *SOCAR Proceedings*. 2022. № S2. С. 9-18.
9. Ляпков П.Д. Подбор установки погружного центробежного насоса к скважине. Учебное пособие. – М.: МИНГ, 1987, 71 с.
10. Дроздов А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложнённых условиях: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008.- 312 с.

*Перспективные направления освоения шельфовых месторождений в Карском море  
подводным видом обустройства*

*Гаджиев М.М.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, tagomegadzhi@mail.ru),*

*Харченко Ю.А. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, kharchenkoya@mgri.ru)*

**Аннотация**

На акватории Карского моря расположены огромные запасы углеводородов. Но, по сложившимся природно-климатическим условиям, затруднена разработка шельфовых месторождений. Целью данной работы является обоснование возможности применения подводного вида обустройства Русановского месторождения, как одного из самых перспективных видов для глубоководного арктического шельфа.

Подводный вид обустройства шельфового месторождения позволяет исключить негативное влияния арктических факторов и проводить круглогодичную добычу углеводородов.

**Ключевые слова**

Карское море, углеводороды, шельфовое месторождение, подводный вид обустройства, Русановское месторождение.

**Теория**

Акватория Карского моря круглогодично подвержена ледовым воздействиям (айсберги, ледовые поля высокой степени сплоченности). Огромную опасность представляют айсберги и ледовые поля, которые, в случае столкновения с платформой, могут привести к техногенной катастрофе. Поэтому так важно исключить или уменьшить до минимума данный вид угроз при разработке подобных месторождений.

Начальные суммарные геологические ресурсы УВ Карского моря составляют 67602.4 млн. т. условного топлива, в том числе 7672 млн. т. условного топлива приходится на недра акватории Обской и Тазовской губ. Начальные суммарные ресурсы газа (без учета Обской и Тазовской губ) составляет 45980 млрд. м<sup>3</sup>, конденсата 3160 млн. т. и разведанность ресурсов менее 1% [1].

Русановское газоконденсатное месторождение – гигантское месторождение России, расположено в юго-западной части Карского моря, в 70 км севернее Ленинградского. Начальные запасы составляют примерно 3,0 трлн. м<sup>3</sup> природного газа. Разведанные и предварительные по категории (ABC1+C2) – 779 млрд куб. м газа 7,8 млн т конденсата. По величине геологических запасов газа, Русановское месторождение классифицируется как уникальное.

Применение подводного вида обустройства исключает необходимость обустройства дорогостоящих надводных платформ и исключает воздействия большинства арктических факторов в условиях эксплуатации месторождения. Поэтому этот вид обустройства является перспективным при разработке Русановского ГКМ. Между тем, при применении подводного вида обустройства существует ряд проблем, которые могут повлиять на подводно-добычный комплекс. Одной из проблем является обеспечение надежного транспорта продукции скважин до береговых сооружений с минимальными энергозатратами.

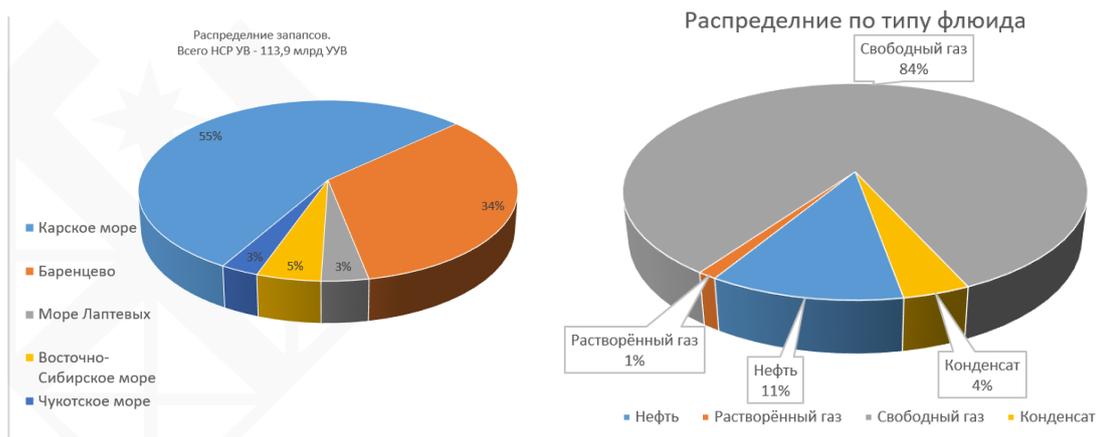


Рисунок 1. Ресурсная база акваторий арктического шельфа РФ

При транспорте неподготовленной продукции скважин в многофазном состоянии может возникнуть ряд осложнений (гидратообразование и возможность развития рельефного пробкообразования при недостаточной загрузке трубопровода и др.), которые приводят к снижению диапазона устойчивой работы трубопровода, увеличению энергозатрат на транспорт и другим явлениям, снижающим надежность эксплуатации всего месторождения. При эксплуатации многофазных трубопроводов при пониженном расходе, происходит развитие рельефного пробкообразования, при котором в приемные устройства береговых сооружений одновременно могут поступать большие объемы жидкости. Для борьбы с этим явлением необходимо проводить периодическое удаление скопившейся в трубопроводе жидкости путем пропуска поршней. Для круглогодичного применения данных технологий в условиях Арктики необходима двухтрубная система транспорта. Кроме решения задачи круглогодичного пропуска поршней, двухтрубная трубопроводная система позволяет расширить ее диапазон устойчивой работы [2]. На рис.2 показана зависимость объема жидкости в одно- и двухтрубной системах транспорта углеводородов в двухфазном состоянии от относительной загрузки. Проведенные расчеты показывают, что при загрузке однострунной системы газопровода в диапазоне 100-55% от проектной объем выдающей в плотности трубопровода жидкости относительно невелик, и связанные с этим осложнения в работе трубопровода практически отсутствуют. Однако, при дальнейшем снижении загрузки трубопровода, объем накопленной жидкости в нем резко возрастает, нормальная эксплуатация трубопровода становится невозможной.

Повышенное содержание жидкости в трубопроводе оказывает неблагоприятное воздействие на его гидравлический режим работы, вызывает рост пульсаций давления и падение уровня загрузки трубопровода, способствует существенному увеличению противодавления на подъемных участках трубопровода, росту гидравлических потерь и обуславливает необходимость строительства на берегу пробкоуловителя большого объема.

При транспортировке двухфазного флюида по двухтрубной системе, интенсивное накопление жидкости наблюдается при меньших расходах, приемлемый режим эксплуатации трубопроводной системы наблюдается в диапазоне изменения расхода от 100 до 40 % от проектной загрузки. На берегу газоконденсатная смесь поступает в пробкоуловитель, где происходит разделение смеси на газ и конденсат для последующей транспортировки углеводородов к магистральному транспорту.

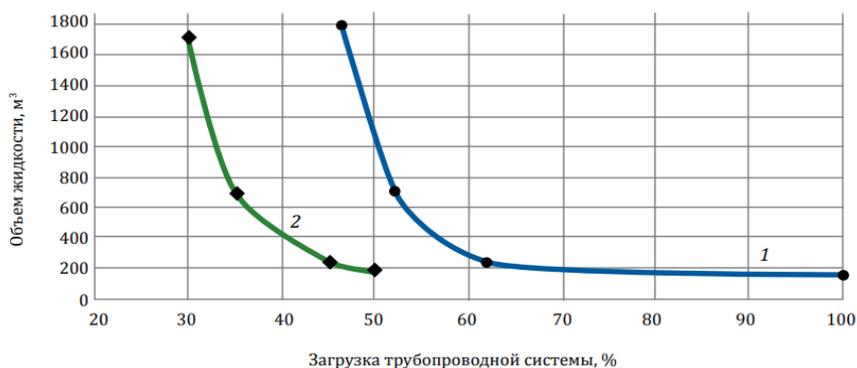


Рисунок 2. Сравнение режимов работы одно- и двухтрубной систем транспорта газожидкостной смеси: 1 – однетрубная система  $D_y = 1067$  мм и 2 – двухтрубная система  $D_y = 914$  мм

При однофазном транспорте отмеченные выше проблемы двухфазного транспорта не наблюдаются во всем диапазоне изменения расхода [3-5].

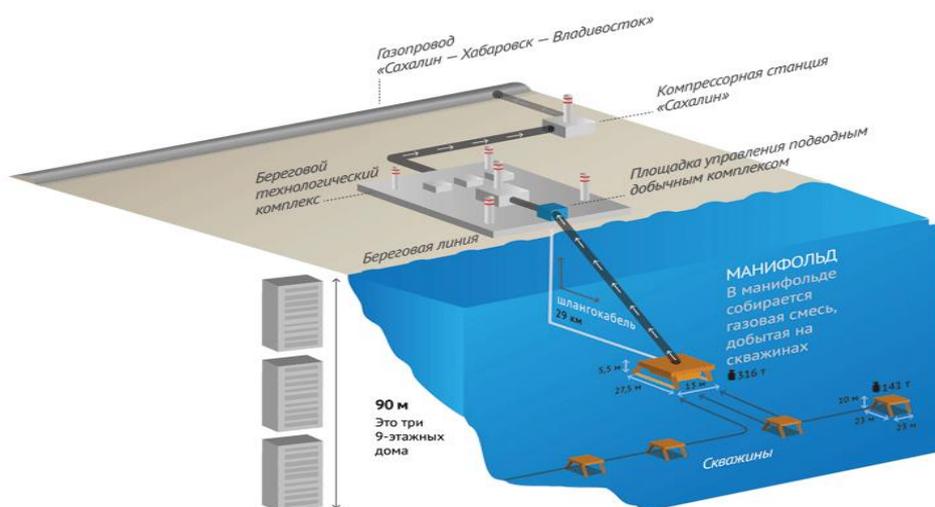


Рисунок 3. Киринское газоконденсатное месторождение

В Российской Федерации, впервые в мировой практике, введен подводный вид обустройства на Киринском газоконденсатном месторождении на акватории Охотского моря. На примере Киринского ГКМ можно рассмотреть схему подводного вида обустройства. Удаленность месторождения от берега составляет 28 км. Подводное добычное оборудование полностью находится на дне моря и дает возможность добывать УВ без использования платформ и других надводных конструкций, что позволяет избежать многих неблагоприятных природно-климатических условий. Подводный добычный комплекс позволяет добывать УВ даже подо льдом, является устойчивым к землетрясениям до 9 баллов и рассчитан на 30 лет работы. Также можно выделить максимальное использование безлюдных технологий при организации управления и обслуживания месторождения, круглогодичную добычу, сбор и внутрипромысловый транспорт продукции скважин с морского месторождения без непосредственного участия человека.

### **Выводы**

При освоении Русановского ГКМ, подводный вид обустройства наиболее перспективен, так как он позволяет исключить ряд арктических факторов в условиях эксплуатации. Однако, для его широкого внедрения, необходимо решить ряд научно-технических задач, таких как управление и обслуживание в ледовых условиях.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность за научные консультации и неоценимый вклад в работу своему научному руководителю – профессору, д.т.н. Харченко Юрию Алексеевичу и д.т.н., профессору Шахвердиеву А.Х. – за мотивацию и ценные советы.

### **Библиография**

1. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Ч. 1. Предынвестиционная и инвестиционная стадии / Б.А. Никитин, Ю.А. Харченко, А.С. Оганов, Е.В. Богатырева – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 335 с.: ил.
2. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Ч. Предынвестиционная и инвестиционная стадии / Ю.А. Харченко, А.С. Оганов, Е.В. Богатырева – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018.
3. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Проблемы трансформации запасов углеводородного сырья в нерентабельную техногенную категорию трудноизвлекаемых. Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 38-43. DOI: 10.24887/0028-2448-2022-4-38-43
4. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах и ее применение при освоении месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Предынвестиционная и инвестиционная стадии / Ю.А. Харченко, А.И. Гриценко – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018.
5. Харченко Ю.А., Ямаев И.З. Перспективные технологии подготовки углеводородов при подводном обустройстве глубоководных месторождений. Научно-технический журнал Проектирование и разработка нефтегазовых месторождений № 2. 2021, стр.14.

*Инновационные технологии применения соляно-кислотной обработки с использованием  
органического кислотного состава на АГКМ*

*Игнатьева Е.С.\* (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
1032201564@pfur.ru),*

*Малиуков В.П. (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
maliukov\_vp @pfur.ru)*

**Аннотация**

В работе рассмотрена инновационная технология применения соляно-кислотных модифицированных составов для обработки призабойной зоны пласта (ПЗП).

Данная технология позволяет повысить продуктивность скважин со значительно упавшим дебитом пластового газа. При этом составы «РКА-20-1» и «РКА-20-3» положительно сказываются на состоянии НКТ.

**Ключевые слова**

Органический кислотный состав, соляно-кислотная обработка, интенсификация извлечения газа, продуктивность скважины.

**Теория**

Астраханское газоконденсатное месторождение (АГКМ) представляют карбонатные породы башкирского яруса. На месторождении присутствуют соляные купола достигающие 3500–4000 м высоты, их своды вскрываются на глубине 323-590 м под третичными и четвертичными отложениями глубина залегания залежи 3850-4100 м; эффективная толщина 176 м. Соляные ядра в горизонтальном сечении имеют округлую или удлиненную формы; иногда сужаются кверху или имеют цилиндрическое строение. Распределение фильтрационно-емкостных свойств имеет сложный характер - по всему разрезу обилие битумов.

С газом может выноситься до 50 г/нм<sup>3</sup> пластовой воды, которая по своему составу относится к хлоркальциевому типу с общей минерализацией до 120 г/дм<sup>3</sup>, плотностью до 1,14 г/см<sup>3</sup> и рН 3–3,5. При этом ВГФ в среднем по скважинам составляет до 15 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. В скважинах с присутствием подошвенной воды в составе пластовой смеси более 50 % добываемая газожидкостная смесь может содержать до 250 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> смешанной воды, с минерализацией до 100 г/дм<sup>3</sup>, плотностью до 1,059 г/см<sup>3</sup>, рН 6,9.

С целью повышения производительности скважин на Астраханском газоконденсатном месторождении применяются соляно-кислотные обработки с различными составами.

Ранее на АГКМ применялась технология гидроразрыва пласта (ГРП). Практика применения данной технологии показала незначительную эффективность. В связи с этим на Астраханском газоконденсатном месторождении стали применяться соляно-кислотные обработки (СКО).

Одним из путей повышение производительности скважин со значительно упавшим дебитом пластового газа является инновационная технология обработки призабойной зоны пласта органическими кислотными составами «РКА-20-1» и «РКА-20-3».

«РКА-20-1» – диспергатор полимерсодержащих коагулирующих отложений. Плотность реагента составляет 1,074 г/см<sup>3</sup> и представляет собой однородную жидкость светло-желтого цвета [3]. Разработанный состав отличается большой скоростью диспергирования образцов бурового раствора (рис.1.) [4].

Диспергированные образцы стабильны в объеме кислотного раствора, что предотвращает повторное выпадение осадка на забой.

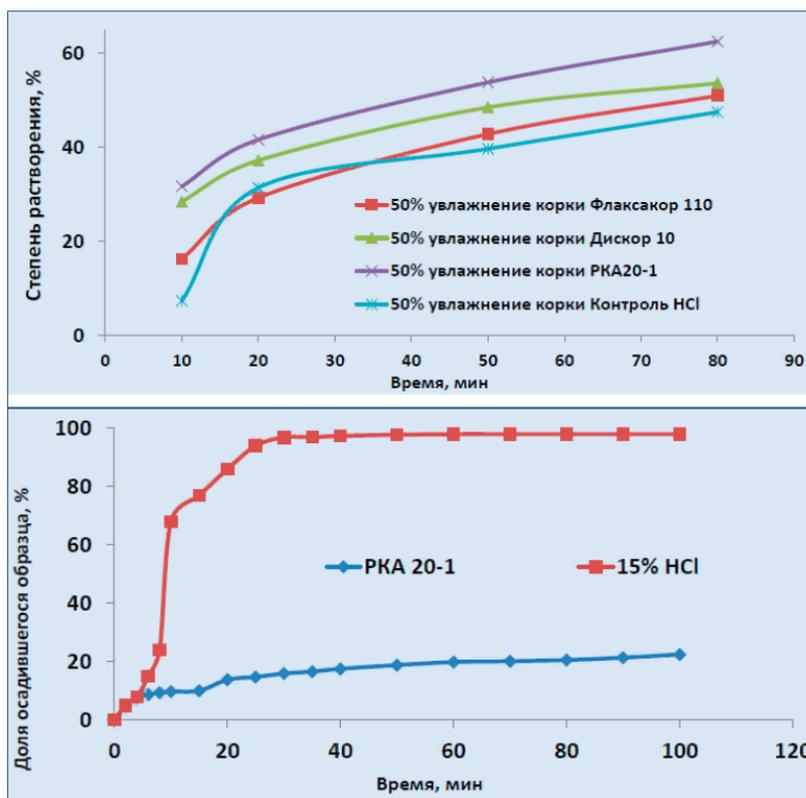


Рисунок 1. Показатели диспергирования и седиментации реагента «РКА-20-1»

Преимуществами «РКА-20-1» являются:

1. Эффективное диспергирование и стабилизация частиц коагулирующего раствора.
2. Растворяет карбонатную составляющую породы.
3. Высокая растворяющая активность солей.
4. Глубокое проникновение в пласт.
5. Низкая коррозионная активность.

Органический кислотный состав «РКА-20-3» был специально разработан для условий Астраханского газоконденсатного месторождения», для предупреждения негативного влияния хлорид-иона [2].

Разглинизирующий органический кислотный состав РКА-20-3 предназначен для эффективной очистки ствола скважины и призабойной зоны пласта от глинистой корки, продуктов коррозии и механических примесей, что способствует восстановлению фильтрационных характеристик призабойной зоны.

Проводился ряд исследований, результаты которого показали, что данный органический кислотный состав характеризуется замедленной скоростью реакции с карбонатом пласта и низким поверхностным натяжением.

Обработка продуктивного пласта органическим кислотным составом «РКА-20-3», не содержащим соляную кислоты, с замедленной скоростью реакции способствует созданию продуктивно-проводящих каналов в более удаленной от призабойной части пласта, не подвергавшейся воздействию в процессе ранее проведенных соляно-кислотных обработок с предварительной очисткой призабойной зоны пласта.

Ранее на АГКМ применялись технологии с самоотклоняющейся кислотой VDA компании Шлюмберже. Они основаны на временном блокировании высокопроницаемых интервалов, благодаря этому определили высокую эффективность отклоняющих кислот. Это

способствовало созданию отечественного аналога ПАВ-отклонителя Сурфогеля, но данный метода не принес желаемого результата. Поэтому с целью интенсификации притока была разработана разглинивающая соляная кислота «РКА-20-3» [1].

По сравнению с ранее применявшимся кислотным составом, состоящим из смеси синтетических кислот (соляной и уксусной) и поверхностно-активных веществ (ПАВ), кислотный состав «РКА-20-3» состоит только из органических кислот и ПАВ, что значительно снижает вредное воздействие на НКТ при проведении работ по интенсификации.

Преимуществами «РКА-20-3» являются:

1. Замедленная скорость реакции при взаимодействии с образцами карбонатной породы.
2. Растворяющая способность растворов исходного реагента с водой в соотношении 1:2 и 1:3, соответствует растворяющей способности 1 1,2% HCl и 8,6% HCl.
3. Низкое поверхностное натяжение кислотного раствора на границе с дизельным топливом, равным 1,22 мН/м.
4. Скорость коррозии образцов металлических пластин, равна 0,0875 г/(м<sup>2</sup>·ч) (для сравнения скорость коррозии в кислоте HCl составляет 0,1269 г/(м<sup>2</sup>·ч)).
5. Низкая коррозионная активность.
6. Быстро гасит пену уже при малых концентрациях и длительное время препятствует новому вспениванию раствора.
7. Не изменяет свойств перерабатываемых и вновь получаемых веществ, а также не замедляет технологический процесс [4].

Предварительная очистка ПЗП заключается в проведении работ по растворению и удалению шлама с призабойной зоны с помощью малообъемных соляно-кислотных ванн с применением разглинатора.

Работы с применением РКА-20-3 на АГКМ начаты в 2018 году, средний прирост дебита по четырём проведённым обработкам на двух скважинах составил 28%.

Отличительным достоинством РКА-20-3 является низкая скорость коррозии образцов металлических пластин, что предупреждает возможность хлоридного растрескивания высоколегированных сталей. Новый состав допущен к использованию в скважинах с НКТ из высоколегированной стали (SM2535).

### **Выводы**

В настоящее время технология соляно-кислотной обработки (СКО) на Астраханском газоконденсатном месторождении является самой востребованной. Применение технологий СКО с реагентами «РКА-20-1» и «РКА-20-3» считаются эффективными технологиями, что подтверждается многократными исследованиями. Технология позволяет поддерживать требуемый уровень добычи, поддерживать низкую скорость коррозии НКТ и продолжает применяться на АГКМ.

### **Библиография**

1. Горбачёва О.А., Олейников Ю.А. Сравнительный анализ эффективности применения новых технологий для повышения эффективности эксплуатации скважин Астраханского ГКМ // XIV Международная научно-практическая конференция «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа». – Астрахань: АГТУ, 2023. – С. 25–29.
2. Касымов К., Зонтов Р., Шевяхов А. Пульс Аксарайска «Задача – Интенсификация добычи» / К. Касымов, Р. Зонтов, А. Шевяхов // Еженедельник ООО «Газпром добыча Астрахань». – 2022. – 11 ноября. – №44. – С. 4–5.

3. Чалов Н.О., Кутлусурина Г.В., Антонова А.Я., Результаты применения разглинзатора РКА-20-1 и отклонителя соляной кислоты ОКА-10 на скважинах АГКМ / Н.О. Чалов // StudNet. – 2021. – №1. – С. 4–6.

4. РКА-20-1. URL: <http://www.himpostavka.com/produkty/rka-20-1> (Дата обращения 14.03.2024).

**Расчет режима работы периодической эксплуатации скважин УЭЦН**  
**Ильницкий Д.А.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе (МГРИ), danil-ilnickiy2003@mail.ru),**  
**Дроздов Александр Николаевич (Российский государственный геологоразведочный  
университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), drozdov\_an@mail.ru)**

**Аннотация**

В данной работе был проведен расчет параметров УЭЦН по методикам П.Д. Ляпкина и Н.П. Кузьмичева, по результатам которого подобраны насос и электродвигатель, эффективные для рассматриваемой скважины.

**Ключевые слова**

Установка погружного центробежного насоса, периодическая эксплуатация, подбор ЭЦН, ПЭД.

**Теория**

В процессе нефтедобычи целесообразно подобрать методы и технику, которые позволят эксплуатировать объект и его инфраструктуру, чтобы выбранные технологии отвечали условиям конкретного промысла [1-10].

Целью периодической эксплуатации скважины является увеличение прибыли от эксплуатации добывающих скважин центробежными насосами. Для определения рентабельности необходимо учитывать следующие факторы: дебит жидкости, расход электроэнергии, стоимость оборудования и его МРП [1-3].

Выкачка жидкости из скважины при данном способе эксплуатации осуществляется в несколько этапов: сначала происходит накопление жидкости в скважине при отключенной установке, затем ее откачка [3].

При подборе УЭЦН была использована методика П.Д. Ляпкина [1]. Расчет параметров насоса производился для скважины месторождения X со следующими исходными данными:

№	Наименование параметра	Символ	Значение
1	Пластовое давление, МПа	$P_{пл}$	24,82
2	Температура продукции у верхних отверстий фильтра, К	$T_{ф}$	327,15
3	Расстояние по вертикали от устья скважины до верхних отверстий фильтра её эксплуатационной колонны, м	$H_{ф}$	2574
4	Внутренний диаметр эксплуатационной колонны в месте размещения электродвигателя УЭЦН, м	$D_{эк}$	0,126
5	Коэффициент продуктивности скважины, $\frac{м^3}{сут*МПа}$	$K$	5,33
6	Поправка на влияние попадания в призабойную зону пласта технологической жидкости при промывках или глушении скважины	$x$	0,5
7	Давление в выкидной линии скважины, МПа	$P_{л}$	1,72
8	Дебит скважины, $\frac{м^3}{с}$	$Q_{жсу}$	0,001134
9	Давление насыщенная нефти попутным газом, МПа	$P_{нас}$	6,44
10	Газовый фактор нефти, $\frac{м^3}{м^3}$	$\Gamma_{н.нас}$	36

11	Плотность попутного газа при СУ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{ГСУ}}$	0,8
12	Плотность нефти при СУ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{НСУ}}$	866
13	Плотность технологической жидкости для глушения скважины, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{ТЖ}}$	1000
14	Обводненность, %	$\beta_{\text{ВСУ}}$	93
15	Плотность попутной воды при СУ, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{ВСУ}}$	1190

С помощью данной методики определено значение среднего расхода продукции через насос по формуле:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{жсу}} * (b_{\text{н}} * P_{\text{нас}}^{n_b} * (1 - \beta_{\text{жн}}) + \beta_{\text{жн}}) = 99,32 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}} \quad (1)$$

При этом значение номинальной подачи насоса не меньше среднего расхода продукции. Ближайшим по подаче насосом оказался ЭЦН5-140Э. Подбор насоса производился по каталогу компании “Новомет”. Его характеристики показаны на рис.1.

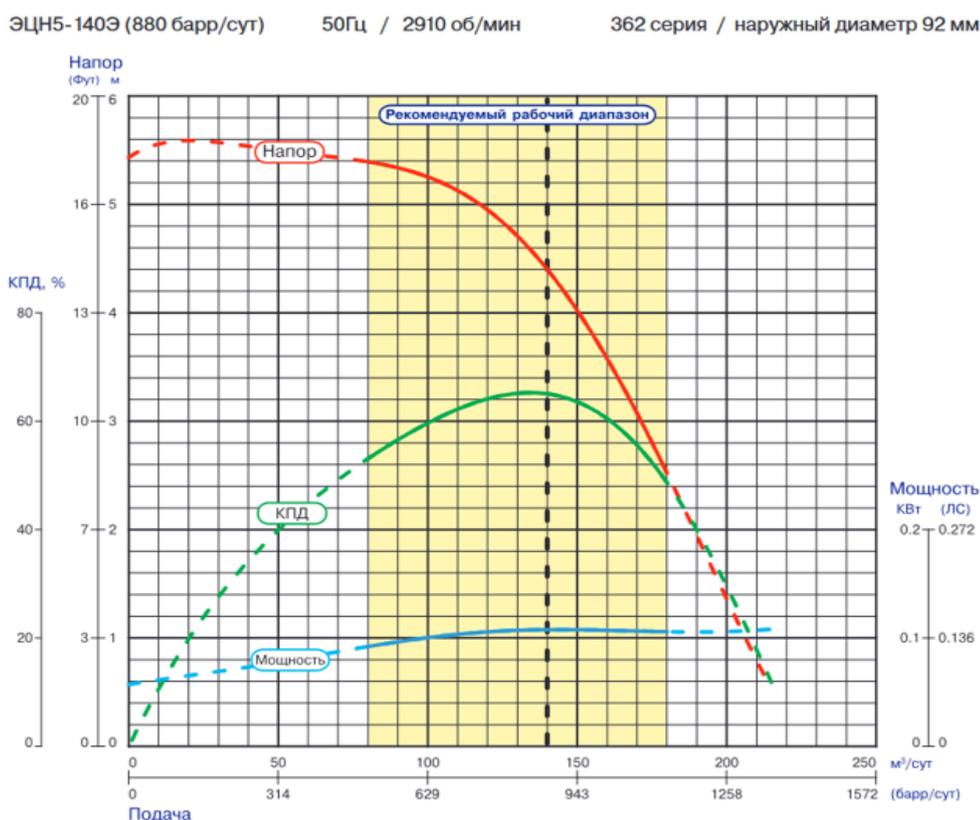


Рисунок 1. Характеристики ЭЦН5-140Э

Исходя из характеристик насоса при рабочей подаче  $Q = 99,32 \text{ м}^3/\text{сут}$ , КПД насоса  $\eta = 60\%$ , напор на ступень  $H = 5,2 \text{ м}$ , мощность, потребляемая ЭЦН  $N = 0,1 \text{ кВт}$  на одну ступень.

С помощью рассчитанных по методике П. Д. Ляпкина параметрах насоса и исходных данных скважины был определен требуемый напор насоса:

$$H_H = H_d + P_d - P_m = 2007 \text{ м} \quad (2)$$

где  $H_d$  – динамический уровень пластовой жидкости в скважине,  $P_d$  – давление в выкидной линии устья скважины,  $P_m$  – давление в межтрубном пространстве скважины.

Таким образом, для непрерывной эксплуатации данной скважины подойдет установка, состоящая из насоса ЭЦН5-140Э-1750 и электродвигателя ПЭДН50-117-1450/00 с КПД  $\eta = 83,9\%$ .

При периодической необходимо подобрать УЭЦН с производительностью, превышающей дебит скважины не более, чем в 2 раза. Данному условию удовлетворяет установка с насосом ЭЦН5-180Э-2000, состоящим из трех четырехметровых секций, и электродвигателя ПЭДН80-117-1083/00 с КПД  $\eta = 84\%$ . Характеристики ЭЦН5-180Э представлены на рис.2.

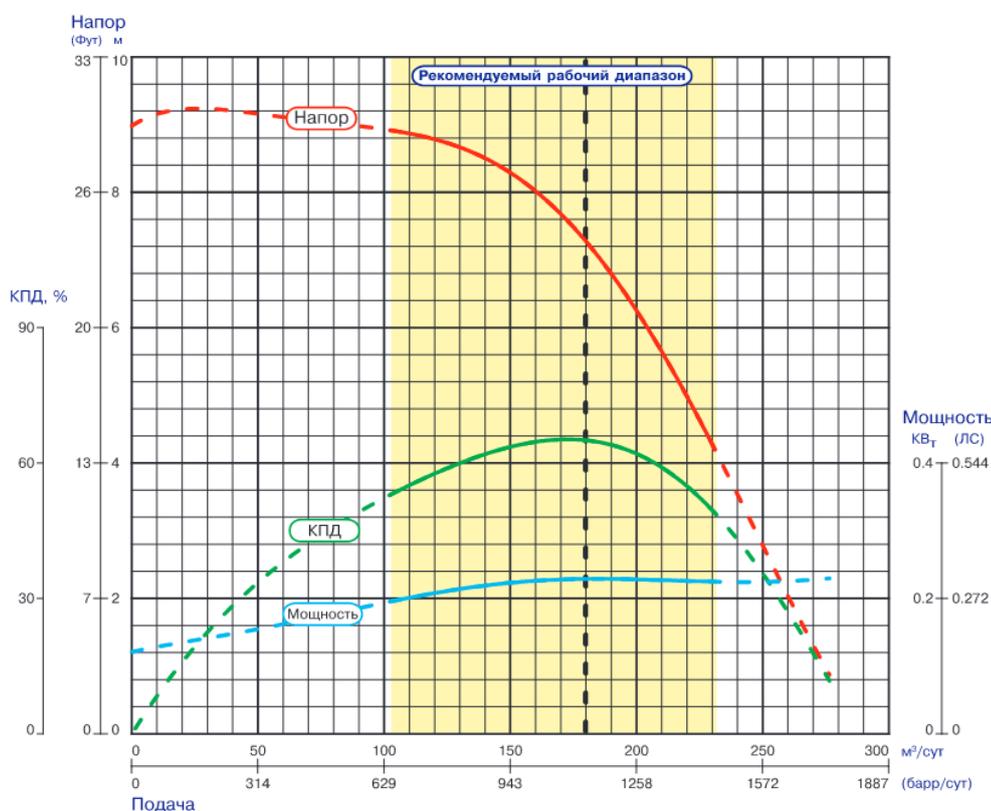


Рисунок 2. Характеристики ЭЦН5-180Э

Запас производительности насоса, а также кратность увеличения МРП по износу наноса рассчитаны по формуле:

$$K = \frac{Q_0}{Q} = 1,8, \quad (3)$$

Продолжительность накопления жидкости:

$$t_{нк} = \frac{96 * h * S * (1 - \phi)}{Q} = 0,8 \text{ ч}, \quad (4)$$

Продолжительность откачки жидкости:

$$t_{от} = \frac{t_{нк} * \phi}{K - \phi} = 0,8 \text{ ч}, \quad (5)$$

Итого продолжительность цикла работы скважины составит:

$$T = t_{от} + t_{нк} = 1,6 \text{ ч}. \quad (6)$$

### **Выводы**

Таким образом, при периодической эксплуатации, на месторождении для данной скважины будет эффективна УЭЦН5-180Э-2000, которая позволит добиться увеличения МРП в 1,8 раз, но при этом суточный дебит составит 90% от дебита при непрерывной эксплуатации скважины.

### **Библиография**

1. Ляпков П.Д. Подбор установки погружного центробежного насоса к скважине. Учебное пособие. – М.: МИНГ, 1987, 71 с.
2. Дроздов А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложнённых условиях: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008.- 312 с.
3. Патент на изобретение RU 2293176 С1. Способ кратковременной эксплуатации скважины погружной насосной установкой с электроприводом / Кузьмичев Н.П. // 10.02.2007. Заявка № 2005128382/03 от 02.09.2005.
4. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х., Магомедов Ю.Г., Шахвердиев А.Х. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
5. Оценка технологической эффективности при воздействии на залежи углеводородов / Шахвердиев А.Х., Рыбицкая Л.П. // Нефтяное хозяйство. 2003. № 4. С. 65-68.
6. Шахвердиев А.Х. Оптимизация системы поддержания пластового давления при заводнении залежей // Нефтяное хозяйство. 2001. № 3. С. 42-44.
7. Патент на изобретение RU 2095548 С1. Способ определения технологической эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов / Мандрик И.Э., Шахвердиев А.Х. // 10.11.1997. Заявка № 97104539/03 от 28.03.1997.
8. Патент на изобретение RU 2077659 С1. Способ эксплуатации нефтяных скважин / Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. // 20.04.1997. Заявка № 96115908/03 от 22.08.1996.
9. Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э. Оптимизация плотности сетки скважин и ее влияние на коэффициент извлечения нефти // Нефтяное хозяйство. 2007. № 12. С. 54-58.
10. Патент на изобретение RU 2149256 С1. Способ определения технологической эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов / Шахвердиев А.Х. // 20.05.2000. Заявка № 99126412/03 от 22.12.1999.

*Эффективность применения деэмульгаторов для разрушения водонефтяных эмульсий*

*Кизим Н.С.\* (АГТУ ВШН, 9196452733@mail.ru),  
Янайкин М.В. (АГТУ ВШН, yanaykin@list.ru),  
Камалов И.Р. (АГТУ ВШН, i.kamalov@agni-rt.ru),  
Хаярова Д.Р. (АГТУ ВШН, hayarova@agni-rt.ru)*

**Аннотация**

В данной статье был описан принцип действия реагентов-деэмульгаторов, используемых для разрушения водонефтяных эмульсий, а также были рассмотрена их эффективность на пробах искусственной эмульсии. Сделаны соответствующие выводы об актуальности применения деэмульгаторов для разрушения водонефтяных эмульсий.

**Ключевые слова**

Эмульсия нефти, эмульгатор, поверхностно-активное вещество, деэмульгатор, дисперсия, реагент.

**Теория**

Одной из наиболее острых проблем при разработке месторождений высоковязких нефтей является подготовка добываемой продукции согласно требованиям, предъявляемым к товарной нефти. Сложность обезвоживания обусловлена высокой устойчивостью водонефтяных эмульсий, которые образуются при совместном движении нефти и воды. Высокая вязкость нефти, малый диаметр капель воды в эмульсии, а также высокое содержание природных стабилизаторов эмульсий (эмульгаторов) в нефти – вот основные факторы, усложняющие процесс обезвоживания нефти.

Для предотвращения образования и разрушения уже образовавшихся нефтяных эмульсий широко применяются деэмульгаторы - поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые в отличие от природных эмульгаторов способствуют значительному снижению стойкости нефтяных эмульсий [1].

Воздействие деэмульгатора на нефтяную эмульсию основано на том, что деэмульгатор, адсорбируясь на поверхности раздела фаз нефть – вода, вытесняет и замещает менее активные поверхностно-активные природные эмульгаторы. Природные эмульгаторы – естественные поверхностно-активные вещества, содержащиеся в нефти (асфальтены, нафтены, смолы, парафины) и в пластовой воде [2].

Хорошие деэмульгаторы должны обеспечивать не только сближение диспергированных капелек воды в эмульсии, но также и разрушать окружающие их пленки и способствовать коалесценции (слиянию частиц).

Поступающее из скважины сырье представляет собой смесь нефти, газа и воды. Вода и нефть при этом образуют устойчивые эмульсии. Эмульсией называется дисперсная система, состоящая из двух или нескольких жидких фаз, т.е. одна жидкость (дисперсная или внутренняя фаза) содержится в другой (дисперсионной или внешней среде) во взвешенном состоянии в виде огромного количества микроскопических капель (глобул). Глобулы дисперсной фазы имеют форму шара, так как при этом глобула определенного объема будет иметь наименьшую поверхность и наименьшую свободную энергию.

Существуют два основных типа эмульсий: дисперсии нефти в воде (Н/В) и дисперсии воды в нефти (В/Н).

1. Первый тип – прямая эмульсия, когда капли нефти (неполярная жидкость), являются дисперсной фазой и распределены в воде (полярная жидкость) – дисперсионной среде. Такие эмульсии называются «нефть в воде» и обозначаются Н/В.

2. Второй тип – обратная эмульсия, когда капельки воды (полярная жидкость) – дисперсная фаза – размещены в нефти (неполярная жидкость), являющейся дисперсионной средой. Такие эмульсии называются «вода в нефти» и обозначаются В/Н.

3. Множественная эмульсия – это такая система, когда в сравнительно крупных каплях воды могут находиться мелкие глобулы нефти, или в крупных каплях нефти находятся мелкие глобулы воды.

Сегодня на месторождениях действуют принципиально разные технологические схемы сбора и переработки нефти, условия обработки эмульсий и их результаты существенно отличаются от объекта к объекту, хотя перерабатывается практически одна и та же эмульсия. Разнообразие технологических схем и оборудования, используемых в данном случае, привело к тому, что деэмульгатор подбирается отдельно для каждого объекта [3].

Эмульсии образуются в процессе добычи и транспортировки продукции во время перекачивания насосами, при движении через различные штуцеры, повороты и сужения трубопровода. При этом на поверхности раздела дисперсной и дисперсионной фаз накапливается свободная поверхностная энергия, которая затем идет на образование межфазной пленки.

В большинстве нефтей присутствуют механические примеси (сульфид железа, ил, частицы глины и т. д.), частички которых собираются на поверхности раздела и способствуют упрочнению пленки, обволакивающей глобулы воды. Часто эти механические примеси являются основными веществами, составляющими материал пленки, и удаление их вместе с водой также является важной задачей при обезвоживании нефти.

Деэмульгаторы обволакивают частицы механических примесей тонкой пленкой, хорошо смачиваемой водой, и такие частицы выделяются из нефти и удаляются вместе с водой. Таким образом, реагенты, применяемые в качестве деэмульгаторов для разрушения нефтяных эмульсий, должны обладать следующими свойствами:

- способностью проникать на поверхность раздела фаз нефть-вода;
- вызывать флокуляцию и коалесценцию глобул воды;
- хорошо смачивать поверхность механических примесей. Такими универсальными свойствами обладает ограниченное число деэмульгаторов. Для разрушения нефтяных эмульсий предложено множество реагентов, которые имеют те или иные необходимые свойства [4].

Деэмульгаторы обычно подразделяются на две группы: ионогенные (образующие ионы в водных растворах) и неионогенные (не образующие ионы в водных растворах).

Ионогенные, в свою очередь, могут быть подразделены на анионоактивные и катионоактивные в зависимости от того, какие поверхностно-активные группы они содержат - анионы или катионы. На месторождениях и нефтеперерабатывающих заводах из ионогенных деэмульгаторов для обезвоживания и обессоливания нефтей в течение длительного времени применялся нейтрализованный черный контакт (НЧК). Однако он имеет ряд недостатков: низкое содержание поверхностно-активного вещества (в лучших сортах около 40-60% солей сульфокислот), что приводит к дорогостоящим перевозкам балласта; высокий удельный расход (0,5-3 кг/т, иногда и более); при взаимодействии НЧК с пластовой водой могут образоваться твердые осадки (гипс, гидрат окиси железа и др.)» очистка от которых аппаратов и трубопроводов связана со значительными затратами.

Ионогенные деэмульгаторы способствуют также образованию эмульсий типа нефть в воде, что приводит к значительному содержанию нефти в дренажной воде. В связи с этим в настоящее время малоэффективны деэмульгаторы: НЧК (нейтрализованный черный контакт) и НКГ (нейтрализованный кислый гудрон), которые в настоящее время для деэмульсации нефти не применяются. Катионоактивные деэмульгаторы не нашли достаточного применения из-за их низкой активности. Наибольшее распространение в настоящее время получили неионогенные деэмульгаторы, т. е. такие, которые в водных растворах не диссоциируют на ионы. Обычно деэмульгаторы этого типа получают присоединением окиси этилена или окиси пропилена к

органическим веществам с подвижным атомом водорода. Исходным сырьем для такого синтеза могут служить органические кислоты, спирты, фенолы и др., а также окись этилена и окись пропилена. Изменяя число присоединяемых молекул окиси этилена или пропилена, т. е. длину полиоксиэтиленовой или полиоксипропиленовой цепи, можно регулировать деэмульгирующую способность неионогенных деэмульгаторов.

При удлинении оксиэтиленовой или оксипропиленовой цепи растворимость поверхностно активного вещества в воде повышается за счет увеличения гидрофильной (водорастворимой) части молекулы.

Неионогенные ПАВ в настоящее время находят самое широкое применение в процессах обезвоживания и обессоливания нефти в силу целого ряда преимуществ по сравнению с ионогенными ПАВ. Их расход исчисляется граммами - от 5-10 до 50-60 г на 1 т нефти. Это значительно снижает стоимость транспортировки деэмульгатора и общую стоимость процессов обезвоживания и обессоливания. Неионогенные ПАВ не реагируют с солями, содержащимися в пластовой воде, и не вызывают образования осадков. При использовании неионогенных ПАВ содержание нефти в дренажной воде значительно ниже, так как эти ПАВ не способствуют образованию эмульсии типа нефть в воде. Преимущества перед ионогенными:

- незначительный удельный расход; хорошо растворяются как в воде, так и в нефти;
- не реагируют с солями и кислотами, содержащимися в пластовой воде и нефти, и не дают осадков в трубах и аппаратах.

Исследования по определению эффективности деэмульгаторов при разрушении эмульсий проводились следующим образом. Продукцию добавляли в мерные мензурки, которые предварительно должны были быть тщательно вымыты и высушены. Только после того, как убедились, что мензурки чисты и сухи, необходимо их поставить в специальную вытяжную камеру и уже после чего производить доливку исследуемой пробы нефти по мерным мензуркам.

После того как мы произвели доливку проб нефти в мензурки, необходимо в мензурки ввести исследуемый деэмульгатор и интенсивно взбалтывать в течении нескольких минут.

После того как произвели перемешивание, оставляем пробы в вытяжной камере на 24 часа. Выждав нужное количество времени, можно заметить, что начало происходить отделение одной фазы от другой. Для получения точного результата пробы необходимо рассмотреть через лабораторный микроскоп.

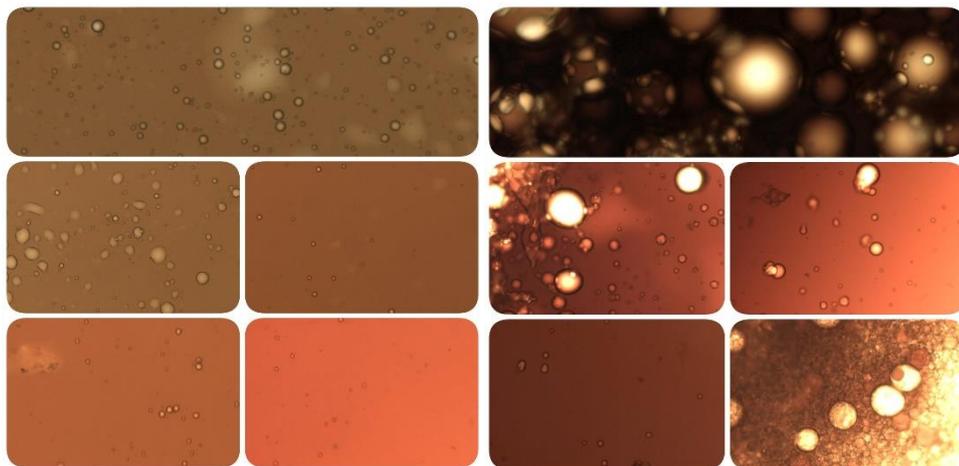


Рисунок 1. Изображение искусственной эмульсии пробы до (а) и после (б) применения деэмульгатора

Внешний анализ проб показал, что цвет остался неизменным, резкий запах не изменился, внутри образовалось гелеобразное вещество. Для более глубокого анализа пробы необходимо

рассмотреть через микроскоп. Воспользовавшись микроскопом, можно установить, что деэмульгатор активно проявляет себя, так как происходит соединение мелких глобул в более крупные и разрушается бронирующая оболочка.

### **Выводы**

После проведения анализа можно установить, что после добавления деэмульгатора наблюдается значительное уменьшение частиц воды и их укрупнение, бронирующая оболочка глобул так же стала менее устойчивой. Тем самым деэмульгатор показал свою эффективность в наших пробах.

### **Библиография**

1. Плохова С. Е., Саттарова Э. Д., Елпидинский А. А. Изучение влияния анионных и катионных ПАВ на деэмульгирующую эффективность неионогенных ПАВ // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - №. 16.
2. Учаев А.Я. Разработка композиционных составов на основе ПАВ для разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий. - диссер. на соиск. уч. ст. к.т.н. - г. Москва -2013. - 121 с.
3. Жансериков Н. Актуальность применения деэмульгатора на разрушение водонефтяных эмульсий // «Вестник науки» - 2023. - №6. - С.63.
4. Давронов Н.К., Алимов А.А., Салимов З.С. Деэмульгаторы нефтей и газоконденсатов // Сб. материалов научно-технической конференции "Актуальные проблемы создания и использования технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана". - Ташкент, 2007. - С. 62-66.

*Перспективные направления освоения шельфовых месторождений в Карском море  
комбинированным видом обустройства*

*Курабеков А.Т.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, kurabekov.abil@mail.ru),*

*Харченко Ю.А. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, kharchenkoya@mgri.ru)*

**Аннотация**

Шельф Карского моря по своим запасам УВ является одним из перспективных районов нефтегазодобычи на шельфе РФ. В них сосредоточены огромные запасы газа и конденсата, и их разработка лишь дело времени. На примере Ленинградского месторождения Карского моря описано обустройство комбинированным видом, одним из самых распространённых на данный момент при освоении месторождений мирового шельфа.

Сложные гидрометеорологические условия и специфика производства работ в морских условиях требуют применения специальных технологий и технических средств при обустройстве и эксплуатации морских месторождений. Разработка комбинированным видом обустройства на шельфовом месторождении позволяет уменьшить негативное влияние природно-климатических условий и проводить круглогодичное эксплуатационное бурение и добычу углеводородов. Данный вид обустройства на шельфовом месторождении позволяет нам совмещать полезные качества как подводного, так и надводного вида обустройства вместе, например, использование стационарных платформ, скважин с подводным заканчиванием и подготовку УВ к транспорту в соответствии с требованиями потребителей.

**Ключевые слова**

Карское море, углеводороды, шельфовое месторождение, комбинированный вид обустройства, Ленинградское месторождение, перспективные виды обустройства.

**Теория**

В Карском море самые большие начальные суммарные ресурсы углеводородов на арктическом шельфе РФ. На них приходится около 55% от всех ресурсов арктическом шельфе РФ. Однако сейчас изучен только 1% от всей акватории [1-6].

Разведанные и предварительно оценённые запасы Ленинградского месторождения по категории (ABC1+C2) – 3,05 трлн куб. м газа, 3 млн т конденсата. Месторождение относится к классу гигантских. Начальное содержание стабильного конденсата 18,6 г/см<sup>3</sup>. Газ по составу сухой, метановый (91-99%). Расстояние до берега приблизительно 90 км. Глубина моря в пределах месторождения с северо-запада на юго-восток варьируется от 80 до 165м соответственно [6].

Природно-климатические условия Карского моря очень суровы. Большую часть года море покрыто льдом, присутствуют айсберги, ледовые поля, торосы, стамухи. Кроме того, к арктическим факторам следует относить обледенение платформы, магнитные бури и полярную ночь. При разработке Ленинградского месторождения комбинированным видом обустройства, необходимо проводить мероприятия по предотвращению экстремальных воздействий ледовых факторов на платформу для обеспечения круглогодичной добычи УВ.

Комбинированный вид обустройства предусматривает одновременное применение технологической платформы и подводное размещение части скважин. При этом, для условий Ленинградского месторождения целесообразно применение стационарной платформы в ледостойком и айсбергостойком исполнении (пример Хайберния и Хеброн)

Дополнительно к этому, в случае усиления ледовых нагрузок от многолетних ледовых полей большой сплочённости на опорное основание платформы свыше проектных, возможно их

снижение с использованием тяжёлых ледоколов, включая атомный, которые будут разрушать ледовые поля, переводя глобальные нагрузки в локальные [5].

Данный вид обустройства:

1. Позволяет использовать проверенные технологии по подготовке УВ к транспорту
2. Обладает местом для хранения жидких УВ
3. Процесс разработки производится и контролируется непосредственно с платформы
4. Позволяет транспортировать УВ в однофазном состоянии
5. Ремонт части скважин и проведение различных работ происходит прямо на платформе человеком, без привлечения ППБУ
6. Позволяет использовать большое количество скважин в надводном и подводном исполнении

При освоении Ленинградского месторождения можно опираться на уже имеющийся опыт применения подобных стационарных платформ, например Хайберния расположенная в акватории Большой Ньюфаундлендской Банки. Платформа Хайберния способна выдержать столкновение с айсбергом, расчётной силы до 1 млн. тонн [7].

При разработке Ленинградского месторождения потребуется около 70 скважин, поэтому при комбинированном виде обустройства, часть из них будут с подводным заканчиванием. Разработка будет проводиться в 3 этапа. Сначала разбуриваются скважины с платформы, после получения дохода начинается постепенное разбуривание подводных скважин в 2 этапа. После истощения ресурсов на первом этапе, будут последовательно переходить ко второму и третьему. Обработка продукции будет осуществляться на платформе, а транспортировка на берег в однофазном или двухфазном состоянии. продукции.

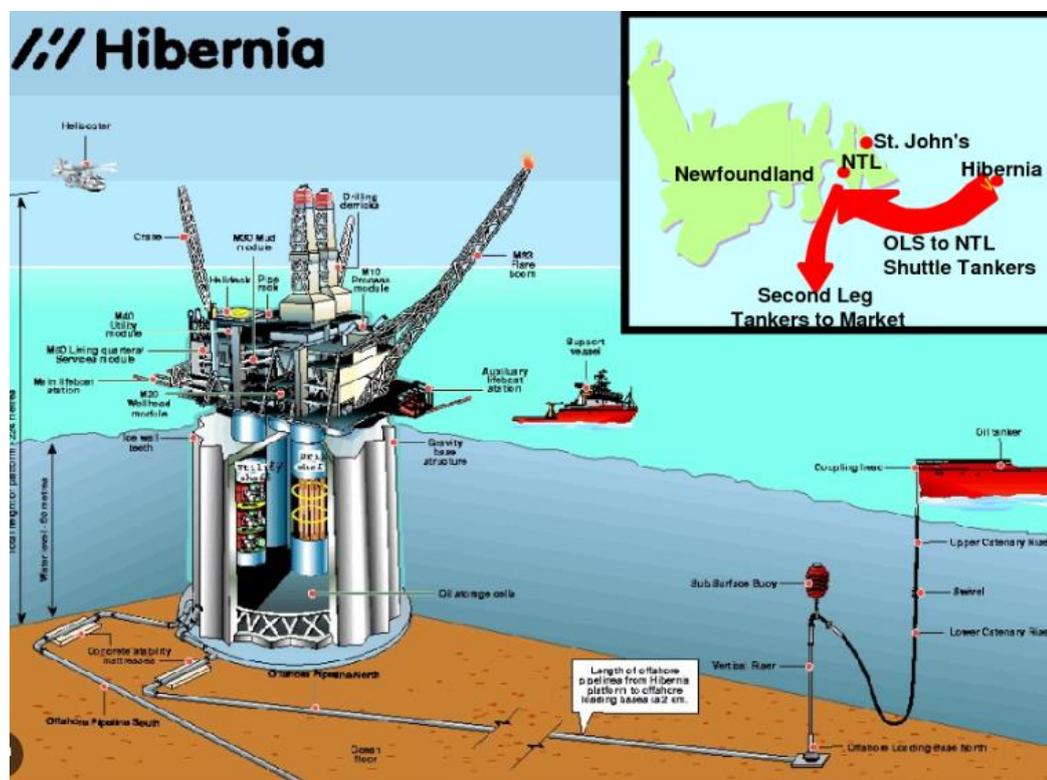


Рисунок 1. Общая схема платформы Хайберния

### **Выводы**

Комбинированный вид обустройства позволяет разработать месторождение, применяя классические технологии подготовки газа к транспортировке, а также круглогодичное разбуривание скважин на первом этапе, что позволяет ускоренно ввести в разработку часть залежи, что в свою очередь позволит сократить период окупаемости.

### **Библиография**

1. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Ч. 1. Предынвестиционная и инвестиционная стадии / Б.А. Никитин, Ю.А. Харченко, А.С. Оганов, Е.В. Богатырева – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 335 с.: ил.
2. Освоение нефтегазовых месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Ч. Предынвестиционная и инвестиционная стадии / Ю.А. Харченко, А.С. Оганов, Е.В. Богатырева – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018.
3. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Проблемы трансформации запасов углеводородного сырья в нерентабельную техногенную категорию трудноизвлекаемых. Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 38-43.
4. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах и ее применение при освоении месторождений континентального шельфа: учеб. пособие. Предынвестиционная и инвестиционная стадии // Ю.А. Харченко, А.И. Гриценко – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018.
5. Харченко Ю.А., Потысьев Е.А. Перспективность применения комбинированного вида обустройства нефтегазовых месторождений на шельфе замерзающих морей // Электронный журнал «Neftegaz.ru». 2017. №5.
6. Ленинградское газоконденсатное месторождение. // Электронный журнал «Neftegaz.ru». Техническая библиотека. Месторождения.
7. Вероятностные аспекты оценки ледовых нагрузок и воздействий на объекты обустройства морских месторождений на примере айсберговой угрозы. Часть 2 // Электронный журнал «www.rogtectmagazine.com» Д.А. Онищенко ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

***Повышение нефтеотдачи пласта на Узунском месторождении  
Курбонов А.М.\* (МГРИ, kurbonov-abubakr@bk.ru),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)***

**Аннотация**

В работе приводится анализ существующих методов интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи пластов. В работе описаны эффективности применяемых методов, краткая характеристика разрезов по скважинам на месторождении, характеристика коллекторов, динамика проведения геолого-технологических мероприятий (ГТМ).

**Ключевые слова**

Дебит скважин, геолого-технологические мероприятия, гидравлический разрыв пласта, нефтеотдача пласта.

**Источники финансирования**

Источники финансирования отсутствуют.

**Теория**

На Узунском месторождении геолого-технические мероприятия по интенсификации притоков проводятся с 2005 года. Всего за историю разработки проведено 224 скважино-операции. Охват фонда скважин мероприятиями составил 94,0%. За счет проведения ГТМ дополнительно добыто 2281,1 тыс.т нефти, что составляет 47,6% от общей накопленной добычи на месторождении. На рисунке 1 приведены график изменения дополнительной добычи нефти за счет внедрения геолого-технологических мероприятий (ГТМ) [1-2].

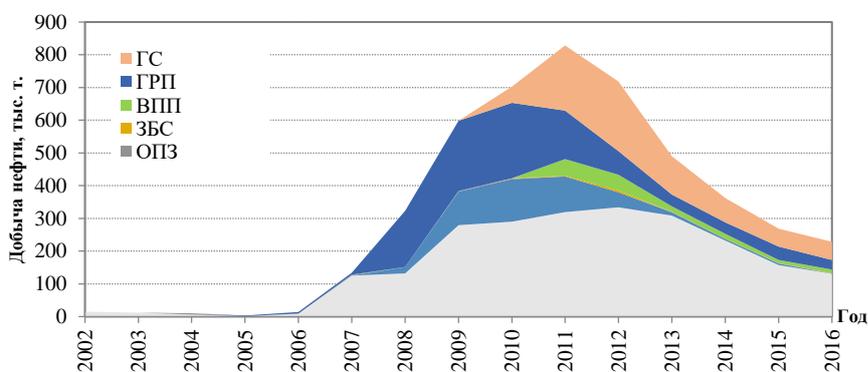


Рисунок 1 – Динамика изменения объемов, дополнительной добычи нефти от ГТМ

Как видно из приведенных данных, в последние пять лет отмечается уменьшение объемов проведения ГТМ. В 2011 году наблюдался максимальный объем дополнительной добычи нефти от ГТМ–508,8 тыс.т (39 % всей дополнительной добычи за счет бурения горизонтальных скважин и 29 % – за счет ГРП).

Программа ГТМ, реализованная в ходе разработки месторождения, включает мероприятия нескольких видов:

- бурение горизонтальных скважин (ГС);
- бурение бокового ствола (ЗБС);
- гидравлический разрыв пласта (ГРП);
- обработка призабойной зоны пласта (ОПЗ);

- закачка геле- и осадкообразующих составов при применении потокоотклоняющих технологий (ВПП);
- нестационарное заводнение;
- оптимизация работы подземного оборудования (оптимизация).

Распределение количества проведенных мероприятий и объемов дополнительной добычи нефти по видам ГТМ приведены на рисунке 2. [3].

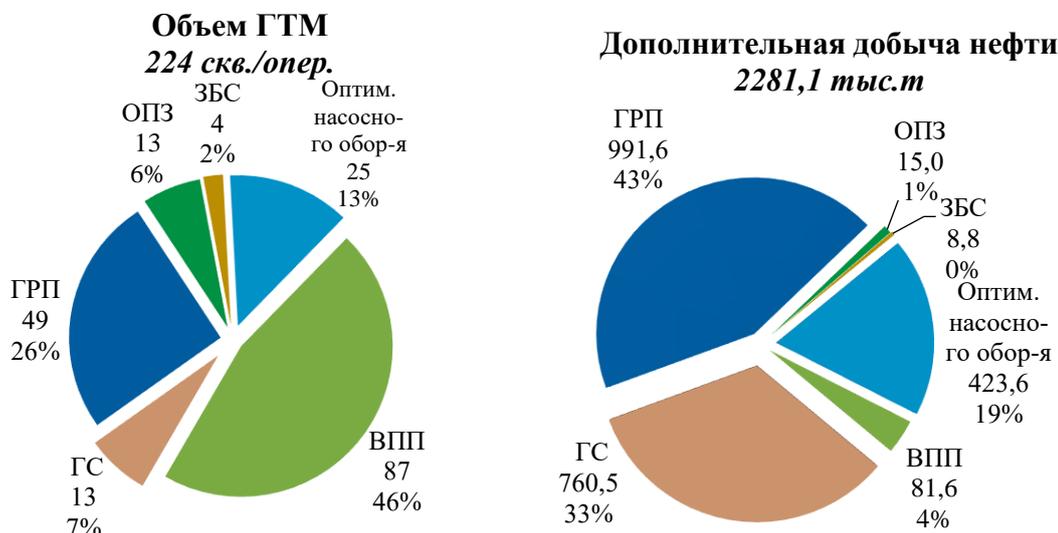


Рисунок 2 – Распределение объема проведенных ГТМ и дополнительной добычи нефти

Анализ объемов внедрения выполненных методов интенсификации притоков и увеличения нефтеотдачи пластов позволил установить, что бурение горизонтальных скважин (ГС) позволило получить добычу нефти 760,5 тыс.т при экономической эффективности 58,5 тыс.т /1 скв. Метод на основе бурения бокового ствола позволил получить добычу нефти 8,8 тыс.т при экономической эффективности 2,2тыс.т /1 скв. Гидравлический разрыв пласта позволил получить добычу нефти 991,6 тыс.т при экономической эффективности 20,2 тыс.т /1 скв. Физико-химические методы обработки призабойной зоны пласта позволили получить добычу нефти 15,0 тыс.т при экономической эффективности 1,2 тыс.т /1 скв. Закачка геле- и осадкообразующих составов при применении потокоотклоняющих технологий позволило получить добычу нефти 81,6 тыс.т при экономической эффективности 0,9 тыс.т /1 скв. Оптимизация работы подземного оборудования позволило получить добычу нефти 423,6 тыс.т при экономической эффективности 16,9 тыс.т /1 скв.

Следует, что наиболее эффективным методом увеличения нефтеотдачи является бурение ГС, позволив получить суммарную добычу в объеме получилась 2281,1 тыс.т, а технологическая эффективность 11,9 тыс.т /1 скв.

Основная доля дополнительной добычи нефти получена за счет ГРП (43 %), горизонтальных скважин (33 %) и оптимизации насосного оборудования (19 %).

В результате ГРПкратно повышается дебит добывающих или приемистость нагнетательных скважин за счет снижения гидравлических сопротивлений в призабойной зоне и увеличения фильтрационной поверхности скважины, а также увеличивается конечная нефтеотдача за счет приобщения к выработке слабодренлируемых зон и пропластков.

Практическое применение ГРП ограничено техническим состоянием ствола скважины и особенностями геологического строения пласта. Так как проведение ГРП предлагается в новых скважинах, то ограничения по техническому состоянию можно снять, а геологическое строение

пласта необходимо учитывать перед мероприятием в каждой конкретной скважине. В водонефтяных зонах Узунского месторождения может быть применена технология изоляционного ГРП, основанная на закачке в составе технологической жидкости – композиции, заполняющей периферийные зоны создаваемой трещины и тем самым изолирующей воду. Увеличение концентрации пропанта в жидкости разрыва повышает эффективность ГРП.

Исследования показывают, что проведенные методы ГРП значительно влияют на работу соседних окружающих добывающих скважин. Наиболее высокая эффективность ГРП может быть достигнута при проектировании его применения, как элемента системы разработки, с учетом системы размещения скважин и оценкой их взаимовлияния при различных сочетаниях обработки добывающих и нагнетательных скважин. Эффект от проведения ГРП неодинаково проявляется в работе отдельных скважин, поэтому необходимо рассматривать не только прирост дебита каждой скважины вследствие гидроразрыва, но и влияние взаимного расположения скважин, конкретного распределения неоднородности пласта, энергетических возможностей объекта и др. Такой анализ возможен только на основе трехмерного математического моделирования процесса разработки участка пласта или объекта в целом с использованием адекватной геолого-промысловой модели, выявляющей особенности геологической неоднородности объекта. С помощью компьютерной модели процесса разработки с применением ГРП можно оценить целесообразность проведения ГРП в нагнетательных скважинах, влияние гидроразрыва на нефтеотдачу и темпы выработки запасов объекта разработки, выявить необходимость повторных обработок.

### **Выводы**

Таким образом, в пределах Узунского месторождения наиболее эффективные методы увеличения нефтеотдачи пластов являются: бурение ГС, гидравлический разрыв пласта, оптимизация работы подземного оборудования. Кроме того, необходимо выполнить работы по определению рациональных условий применения эффективных методов увеличения нефтеотдачи - бурение новых скважин и зарезка боковых стволов.

### **Библиография**

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – Москва: Госкомсанэпиднадзор России,. 2003. – 61с
2. Исакова Е.С. Обоснование проведения физикохимических методов воздействия (опз) для повышения извлечения и интенсификации добычи углеводородов./ Исакова Е.С.//IX Международная научно-практическая конференция обучающихся, аспирантов и ученых, Тюмень: ТИУ. – 2019. с.183-184.
3. Рябоконт С.А. Технологические жидкости для заканчивания и ремонта скважин. Издание второе – Краснодар, 2009 – 293с.

*Необходимость выявления адресных стратегий разработки Ачимовского комплекса  
Мажренова Т.Т.\* (Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе,  
mazhrenovatt@mgri.ru),  
Шахвердиев А.Х. (Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе,  
ah\_shah@mail.ru)*

#### **Аннотация**

В данной работе рассматривается происхождение, строение геолого-физические характеристики и особенности разработки Ачимовского комплекса. Поднимается вопрос о степени изученности комплекса и необходимости создания адресных стратегий разработки, основанных на генезисе и зональности как Ачимовских толщ в целом, так и отдельно взятого эксплуатационного объекта.

#### **Ключевые слова**

Ачимовский комплекс, динамика разработки, эффективность ГТМ, глубоководный генезис, зональность Ачимовского комплекса, адресные стратегии разработки, трудноизвлекаемые запасы.

#### **Теория**

Ачимовский комплекс (ачимовские толщи, горизонты) относится к отложениям берриасского яруса нижнемеловой системы. Залегаёт в диапазоне глубин от 2500 до 4000 метров и распространён на значительных площадях Западно-Сибирской низменности. Формирование Ачимовского комплекса происходило в условиях начала регрессионных процессов в глубоководном бассейне палеоморя, занимавшего в берриассе обширную территорию НГО. Этот период также характеризуется усилением тектонических процессов и образованием горного рельефа, за счёт активного выветривания поступление терригенного материала в седиментационный бассейн возросло [4]. Долгое время структурное происхождение комплекса было спорным вопросом, но в настоящее время научное сообщество сходится во мнении, что ачимовские пласты образованы турбидитными конусами выноса. В Ачимовском комплексе можно проследить несколько региональных зональностей: с севера на юг изменяется кондиционное состояние запасов в залежах (для северной части характерно наличие зон АВПД и газовые и газоконденсатные залежи); с востока на запад – авторы работы [2] выделяют три характерные зоны с различными характеристиками. Наиболее перспективной является центральная зона, относящаяся к наиболее глубоким участкам палеобассейна. Структурные элементы (турбидитные конусы выноса) также можно разделить на зоны, которые могут отличаться по минералогическому составу и фильтрационно-емкостным свойствам. Многоступенчатая зональность, высокая степень анизотропии ФЕС как по глубине, так и по простиранию, позволяют причислить Ачимовский комплекс к сложным геологическим объектам. Некоторые пласты толщи признаны трудноизвлекаемыми запасами [5-10]. Такая непростая геолого-физическая обстановка формирует особенности динамики разработки – невысокие дебиты по нефти и неэффективность системы поддержания пластового давления, низкая степень выработки запасов и часто стремительно быстрое обводнение добываемой продукции после проведения гидроразрыва пласта [3].

На месторождении Л Ачимовский комплекс представлен продуктивными горизонтами Ач<sub>1</sub> и Ач<sub>4</sub>. Фильтрационно-емкостные свойства продуктивной части пласта Ач<sub>1</sub> по ГИС изучены в 15 скважинах (57 определений). Пористость изменяется от 15,7 до 18,2 %, в среднем составляя 17 %. Проницаемость коллекторов изменяется от 1,3 до  $2,2 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, среднее значение –  $1,7 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Нефтенасыщенность изменяется от 53,8 до 64,8 %, среднее принятое по пласту значение составляет 55,9 %. Полноценная система ППД (поддержания пластового давления) организована не была.

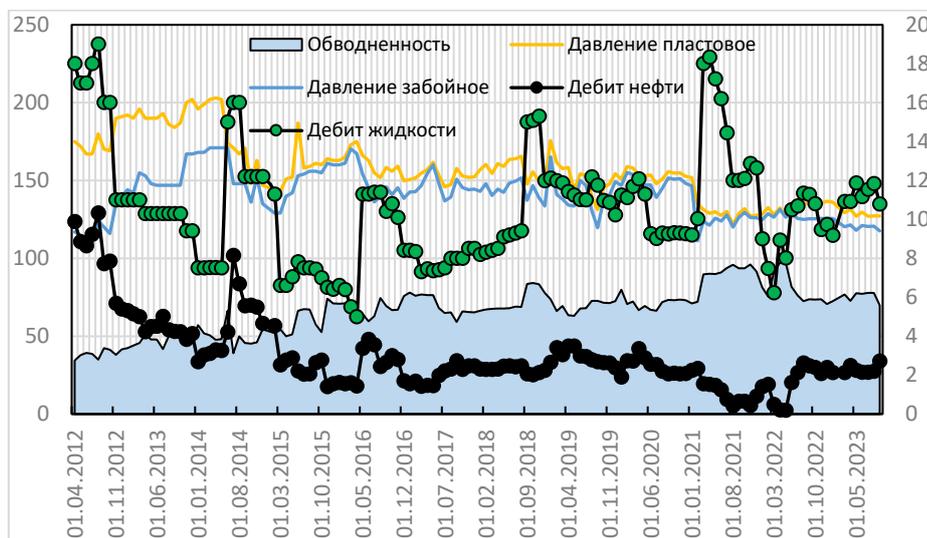


Рисунок 1. Динамика разработки пласта Ач<sub>1</sub> по скважине 1

На графике (рис. 1) приведен период с 01.04.2012 по 01.09.2023 года. При проведении анализа часть данных была отсеяна с учетом низкой достоверности значений, был также произведен пересчет пластового давления через значения коэффициента продуктивности.

На графике можно отметить несколько зон повышения значений дебита нефти и жидкости, соответствующие проводимым геолого-техническим мероприятиям: обработка призабойной зоны и комплексное ОПЗ «Гелий». Для проведения анализа был выбран базовый период, предшествующий ГТМ, затем был построен график по отобранным значениям (рис. 2а), также были заданы линейная, логарифмическая и полиномиальная линии тренда. По полученным по линиям тренда уравнениям был сделан прогнозный расчет. На рисунке 2б приведен график дебита по нефти, пересекающийся с логарифмической и полиномиальной прогнозными кривыми. Таким образом, эффективность обработки призабойной зоны составила восемь месяцев, увеличение среднего дебита по скважине за указанный период равно 0.7 по полиномиальной кривой и 0.58 – по логарифмической. Линейная кривая не пересекается с графиком дебита по нефти и не является подходящей для оценки. Алгоритм действий, описанный выше, был повторен для анализа комплексного ОПЗ «Гелий». Однако в этом случае были построены только полиномиальная и линейная кривые.

Стоит отметить, что на этот раз участок анализируемой кривой был в большей степени неоднородным, сократился базовый период и, как следствие, значения среднеквадратичных отклонений равнялись 0.65 (полиномиальная линия тренда) и 0.59 (линейная линия тренда). Расчетная эффективность составила 7 месяцев, в среднем дебит по скважине увеличился на 0.7. Однако результат расчетов по комплексному ОПЗ «Гелий» следует считать недостаточно достоверным из-за низкой степени достоверности аппроксимации (рис 3).

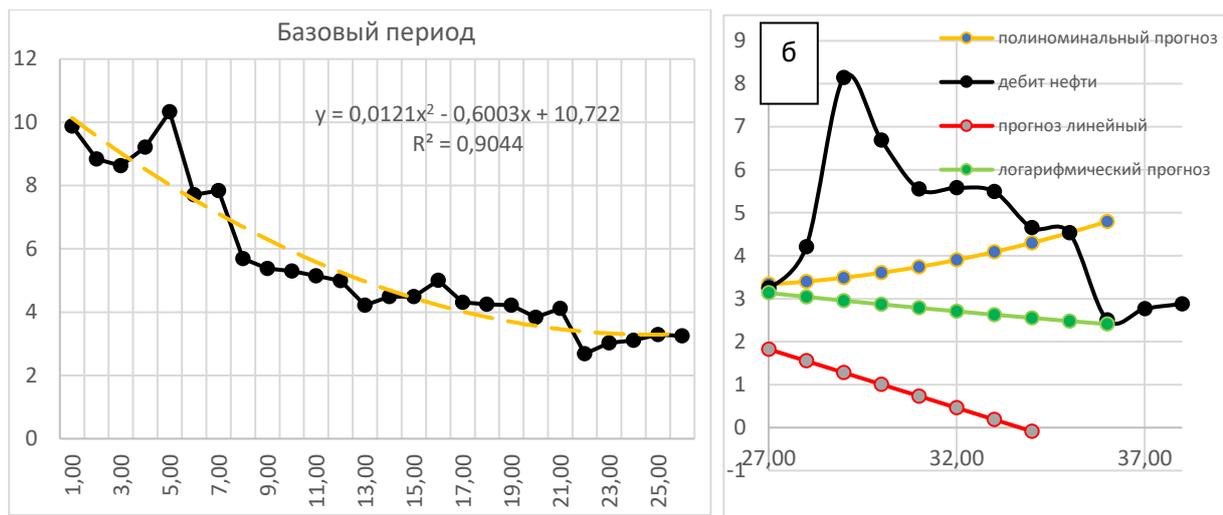


Рисунок 2. Графики по скважине 1. На рисунке «б» черным цветом обозначен дебит по нефти, желтым – полиномиальный тренд, красным – линейный тренд и зеленым – логарифмический

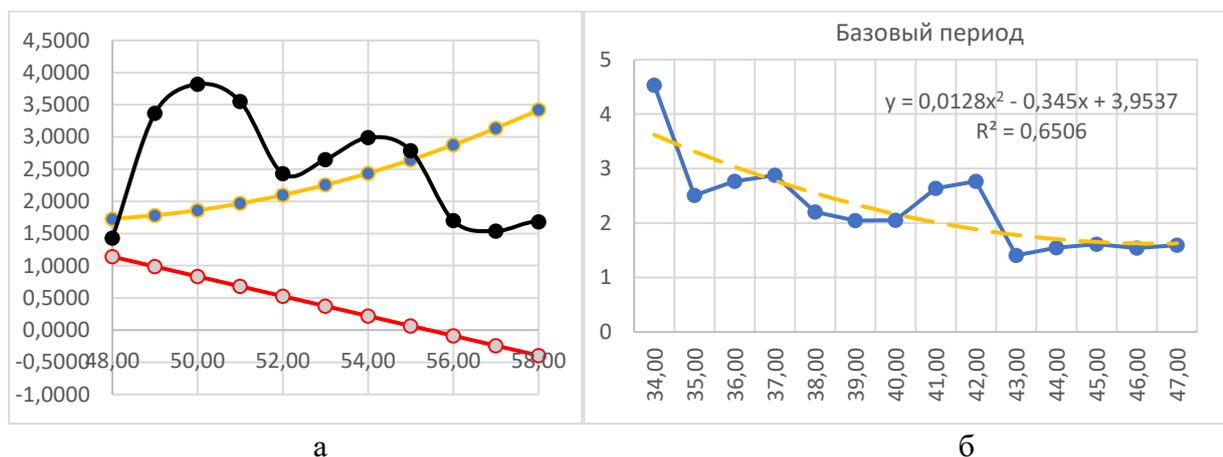


Рисунок 3. Графики по скважине 1 (комплексное ОПЗ «Гелий»). На рисунке «б» черным цветом обозначен дебит по нефти, желтым – полиномиальный тренд, красным – линейный тренд

Обработка призабойной зоны пласта является кратковременно эффективной мерой для устранения кольматации призабойной зоны, но в ходе дальнейшей эксплуатации скважины была неизменна тенденция к снижению дебитов по нефти и рост обводненности скважинной продукции. При разработке сложных объектов необходимо использовать методы и средства, дающие эффект на более длительных дистанциях. Конечным итогом работы специалиста по разработке является максимизации коэффициента извлечения нефти при минимизации затрат. На сложных объектах с трудноизвлекаемыми запасами увеличивается количество неопределенностей и рисков, поэтому необходимо тщательным образом выстраивать стратегию разработки каждого отдельно взятого объекта. По результатам корреляции по данным скважин месторождения Л, работающих на пластах Ач<sub>1</sub> и Ач<sub>4</sub>, дебит жидкости и депрессия на пласт являются наиболее значимыми промысловыми величинами при анализе динамики разработки. Эффективность работы депрессии, в свою очередь, характеризуется упругими свойствами пород, параметрами флюида, скин-фактором и проницаемостью. При создании адресной стратегии разработки помимо существующего опыта разработки следует учитывать особенности формирования, а также минералогическую и фильтрационно-емкостную зональную изменчивость. Способность породы фильтровать флюиды при наличии перепада давления

формируется геометрией порового пространства, геометрией и минералогическим составом элементов породы-коллектора, и качественной характеристикой флюида. Часто объекты, приуроченные к Ачимовскому комплексу недостаточно изучены, как итог – низко достоверные модели и малоэффективные решения по разработке.

### **Выводы**

На основе вышеизложенного можно сделать несколько главных выводов: необходимо повышать качество и количество исходной информации по Ачимовскому комплексу и ее интерпретации, рекомендуется распределить объекты разработки по кластерам, основываясь на особенностях формирования, строения и зональной изменчивости. В дальнейшем, опираясь на кластеризацию, выстраивать адресные стратегии разработки, основанные на сверхкритических особенностях веществ.

### **Библиография**

1. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрислоевой генерации CO<sub>2</sub> / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.
2. Ключевые проблемы освоения ачимовских отложений на разных масштабах исследования / М.В. Букатов и др. // ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2018. № 2(8). С. 16-21.
3. Мажренова Т.Т. Особенности разработки ТРИЗ Ачимовской толщи на месторождении «N» // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2023. – № 4. – С. 81-88.
4. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде / А.Э. Конторович и др. // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5-6. С. 745-776.
5. Патент на изобретение RU 2244110 C1. Способ разработки нефтяной залежи / Панахов Г.М. и др. – 10.01.2005. Заявка № 2003110568/03 от 13.06.2002.
6. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х. и др. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
7. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В. Влияние фактора времени на показатели процесса разработки нефтяных месторождений // Вестник РАЕН. 2021. Т. 21. № 4. С. 45-52.
8. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Проблемы трансформации запасов углеводородного сырья в нерентабельную техногенную категорию трудноизвлекаемых // Нефтяное хозяйство. 2022 г. №4. С. 38-43.
9. Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э. Оптимизация плотности сетки скважин и ее влияние на коэффициент извлечения нефти // Нефтяное хозяйство. 2007. № 12. С. 54-58.
10. Shestopalov Y., Shakhverdiev A. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.

*Использование сверхкритических свойств CO<sub>2</sub> для очистки призабойной зоны пласта  
Маркова М.М.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени  
Серго Орджоникидзе (МГРИ), [Maya2906@yandex.ru](mailto:Maya2906@yandex.ru)),  
Научный руководитель д.т.н., проф. Шахвердиев А.Х. (МГРИ, [shahverdievah @ mgri.ru](mailto:shahverdievah@mgri.ru))*

#### **Аннотация**

В ходе эксплуатации нефтяной залежи происходит ухудшение фильтрационного состояния призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин. Ухудшение коллекторских свойств, зачастую необратимое снижение продуктивности коллектора связано с процессами, протекающими в призабойной зоне скважины (ПЗС). В частности, одной из причин такого изменения является наличие асфальтосмолистых и парафиновых отложений на стенках поровых каналов. Возникает дополнительное сопротивление, снижается проницаемость призабойной зоны и, как следствие, продуктивность скважины. В данной работе рассмотрены возможности использования сверхкритического состояния CO<sub>2</sub> в качестве технологии обработки призабойной зоны пласта.

#### **Ключевые слова**

Обработка призабойной зоны пласта, углекислый газ, повышение нефтеотдачи, интенсификация добычи нефти.

#### **Теория**

В ходе эксплуатации нефтяной залежи происходит ухудшение фильтрационного состояния призабойной зоны добывающих и нагнетательных скважин. Ухудшение коллекторских свойств, зачастую необратимое снижение продуктивности коллектора связано с процессами в призабойной зоне скважины (ПЗС). В частности, одной из причин такого ухудшения является появление асфальтосмолистых и парафиновых отложений на стенках поровых каналов. Возникает дополнительное сопротивление, снижается проницаемость призабойной зоны и, как следствие, продуктивность скважины [1-8]. Наряду с этим проникновение в пласт рабочих жидкостей глушения, промывочных и др., которые обусловлены физико-химической активностью компонент этих жидкостей, может оказывать негативное влияние на состояние околоскважинных зон – характер смачиваемости пласта, его фильтрационно-емкостные свойства.

Ухудшение проницаемости призабойной зоны происходит также и в нагнетательных скважинах. Закачка воды, содержащей различного рода механические примеси и нефтепродукты, приводит к постепенной закупорке порового пространства ПЗС, при этом заметно снижается приемистость скважины. Закачиваемая в пласт вода отличается по химическому составу от водных растворов, насыщающих пористую среду. При смешении вод происходит нарушение естественного физико-химического равновесия в пласте, что ведет к набуханию глинистых компонентов коллектора. В некоторых случаях происходит также образование нерастворимых осадков и отложение солей.

Взаимодействие закачиваемой воды с нефтью может вызвать образование в призабойной зоне стойких водонефтяных эмульсий, что приводит к резкому ухудшению фильтрации закачиваемой воды.

В арсенал технологий обработки призабойной зоны пласта входит большое количество технологических решений [2-8] для соответствующих геолого-физических и промысловых условий объектов разработки, например: кислотные обработки скважин в различных модификациях; комплексные ОПЗ с освоением струйным насосом; вибровоздействие; газоимпульсные обработки; обработки плазменно-импульсным генератором, использование различных растворителей и химических реагентов.

В данной работе рассматриваются вопросы эффективности применения сверхкритического CO<sub>2</sub> для очистки ПЗП за счет механизма суффозии (вынос частиц горной породы потоком какого-либо флюида). В результате химического взаимодействия газообразующего и газовыделяющего реагентов образуется диоксид углерода, которая в определенных термобарических условиях приобретает уникальные свойства сверхкритического флюида, а именно свойства сильного растворителя, обеспечивающего очистку ранее загрязненной пористой среды.

Диоксид углерода обычно ведет себя как газ в воздухе при стандартной температуре и давлении (STP) или как твердое вещество, называемое сухим льдом, при достаточном охлаждении и / или давлении. Если температура и давление увеличиваются с STP до уровня или выше критической точки для диоксида углерода, он может приобрести свойства, находящиеся на полпути между газом и жидкостью.

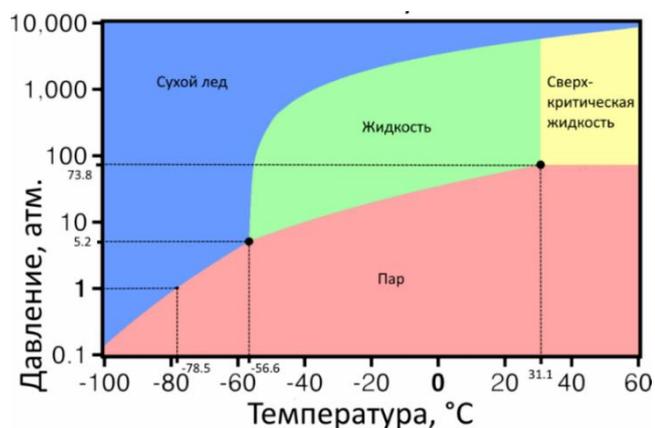


Рисунок 1. Фазовая диаграмма углекислого газа

Сверхкритический диоксид углерода (sCO<sub>2</sub>) представляет собой жидкое состояние углекислого газа, которое поддерживается на уровне или выше его критической температуры (304,128 К или 30,9780°C) и критического давления (7,3773 МПа или 72,808 атм). Например, для пластовых условий месторождений Западной Сибири (T=350 К, P<sub>пл</sub> = 100 МПа) плотность сверхкритического CO<sub>2</sub> 1028,3 кг/м<sup>3</sup>.

В целях разработки технологии обработки призабойной зоны скважины с использованием CO<sub>2</sub> в «сверхкритическом состоянии» авторами [8] были проведены сравнительные лабораторные исследования процесса очистки пористой среды.

Опыты проводились на модели пласта с проницаемостью 0,5 мкм<sup>2</sup>. Модель пористой среды состояла из кварцевого песка (90%) и монтмориллонитовой глины (10%), при этом начальный участок (1/3 объема пор) представлял собой смесь кварцевого песка и кварцевой пыли, моделью нефти служило трансформаторное масло. Термостатирование системы осуществлялось при температуре 304 К.

После обвязки экспериментальной установки и насыщения ее моделью нефти снимались значения кривой восстановления давления (КВД) (на рисунке показано значение выходного манометра), характеризующие фоновое (незагрязненное) состояние среды (рис.2, кривая 1). Затем производилось искусственное загрязнение начального участка пористой среды путем закачки на входе модели асфальтенопарафинистой нефти (30 %), глины и соли (хлористый кальций) в объеме, равном 0,3 объема пор модели и вновь производилось снятие значений КВД (рис.2, кривая 2). После этого в целях очистки призабойной зоны на входе колонки закачивался 12%-ный водный раствор соляной кислоты и опять производилось снятие значений КВД (рис.2, кривая 3). Затем давление на входе сбрасывалось до атмосферного, и замерялся объем

выносимого продукта. Далее снимались значения КВД при перепаде давления  $\Delta P = 2$  МПа ( $P_{\text{вых}} = 8$  МПа;  $P_{\text{вх}} = 10$  МПа).

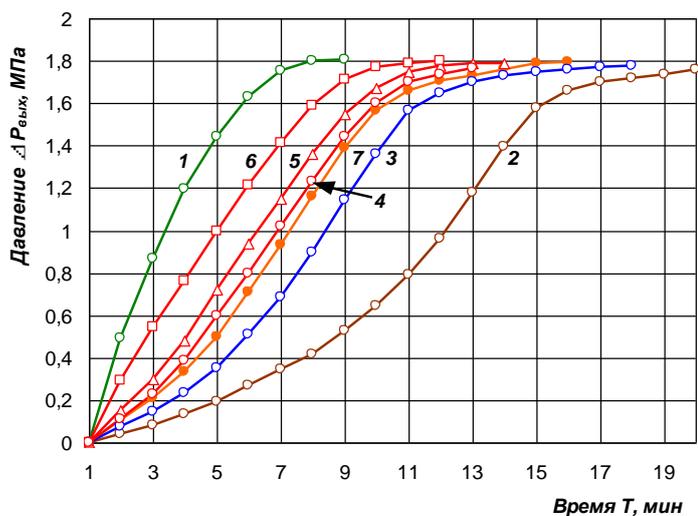


Рисунок 2. Кривые восстановления давления на модели пласта ( $\Delta P$  – изменение давления на выходном манометре): в незагрязненном состоянии (1); после загрязнения (2); после очистки загрязненной зоны соляной кислотой (3); после очистки  $\text{CO}_2$  – генерирующими растворами при давлении выдержки, МПа: 10 (4), 9 (5), 8 (6); 7 (7)

Как видно из результатов эксперимента, время восстановления давления на «загрязненной» модели пласта после закачки газообразующих реагентов различно в зависимости от уровня давления, при котором снимаются значения КВД. При этом очевидно, что время восстановления давления после обработки среды соляной кислотой меньше, чем в загрязненной среде, однако значительно больше времени восстановления после обработки модели  $\text{CO}_2$  - генерирующими растворами. Наилучшие показатели (6) были получены при давлении 8 МПа.

### Выводы

Призабойная зона является основным объектом воздействия с применением различных методов и технологий. Мероприятия по очистке призабойной зоны, улучшению ее гидродинамического состояния, способствующие восстановлению ее проницаемости, вызывают не только увеличение текущей нефтедобычи, но и повышают нефтеотдачу всего пласта в целом.

В качестве перспективной технологии очистки призабойной зоны пласта целесообразно использовать уникальные свойства сверхкритического диоксида углерода, поскольку условия его образования ( $P=73,8$  атм,  $T=31,1^\circ\text{C}$ ) соответствуют пластовым условиям большинства разрабатываемых объектов.

С учетом подтвержденной эффективности сверхкритического  $\text{CO}_2$  для его применения целесообразно подбирать эксплуатационные объекты с термобарическими условиями не ниже критических ( $P=73,8$  атм,  $T=31,1^\circ\text{C}$ ).

### Библиография

1. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems / Shestopalov Y., Shakhverdiev A. // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.
2. ГСССД 96-86 Таблицы стандартных справочных данных. Диоксид углерода жидкий и газообразный. Плотность, фактор сжимаемости, энтальпия, энтропия, изобарная теплоемкость, скорость звука и коэффициент объемного расширения при температурах 220...1300 К и давлениях 0,1...100 МПа.

3. Газощелочное воздействие на пластовую систему с целью повышения нефтеотдачи залежи / Ц. Ренджи и др. // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах, Москва, 02–05 апреля 2019 года. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, – 2019. – С. 214-217.
4. Унифицированная методика оценки эффективности геолого-технических мероприятий / А.В. Денисов и др. // Инженер-нефтяник. – 2019. – № 3. – С. 39-46.
5. Шахвердиев А.Х. Конференция "geopetrol-2014 "поиски и эксплуатация месторождений нефти и газа - новые технологии, новые вызовы", Г. Закопане (Польша) // Вестник РАЕН. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 121.
6. Патент РФ № 2023874. Способ термохимической обработки призабойной зоны скважины. А.Х. Шахвердиев, А.Ю. Бруслов и др. – М., 1994.
7. Патент РФ № RU 2187635 С1. Способ очистки призабойной зоны пласта. А.Х. Шахвердиев, Г.М. Панахов, Х.Х. Гумерский. – 20.08.2002. Заявка № 2001106146/03 от 06.03.2001.
8. Патент РФ № RU 2023143 С1. Способ обработки призабойной зоны добывающей скважины. Горбунов А.Т. Бруслов А.Ю. Шахвердиев А.Х. и др. – 15.11.1994. Заявка № 5034187/03 от 25.03.1992.
9. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрипластовой генерации газа / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Мандрик И.Э., Бахтияров С.И. // Нефтяное хозяйство. 2006. № 11. С. 76-80.
10. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.

***Подбор оптимальной установки погружного электроцентробежного насоса к скважине  
Красноярского месторождения***

***Олигов А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе [adamoligov92@gmail.com](mailto:adamoligov92@gmail.com)),***

***Научный руководитель д.т.н., профессор Дроздов А.Н. Российский государственный  
геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, [Drozdvov\\_AN@mail.ru](mailto:Drozdvov_AN@mail.ru)***

**Аннотация**

Автор анализирует характеристики скважины, включая геологические особенности, глубину залегания пласта, свойства флюида и другие параметры, влияющие на работу УЭЦН. На основе этого анализа предлагаются различные варианты УЭЦН, включая выбор оптимального диаметра и длины насоса, а также характеристик электродвигателя.

**Ключевые слова**

Эксплуатация скважин с применением УЭЦН, механизированная добыча.

**Теория**

Эксплуатация объекта нефтедобычи требует выбора методов и техники, которые учитывают условия конкретного промысла [1-10].

Красноярское месторождение относится к числу сложных объектов для добычи нефти из-за своих геологических и технических особенностей. Для обеспечения максимальной эффективности и безопасности добычи нефти необходимо подобрать оптимальную установку погружного электроцентробежного насоса.

Погружные центробежные насосные системы, приводимые в действие погружными электродвигателями, предназначены для подъема пластовой жидкости из нефтяных скважин: нефти, воды и газа. В электрических погружных системах используются центробежные насосы в виде ряда ступеней, которые монтируются последовательно в одном корпусе и затем жестко стыкуются с погружным электродвигателем на конце колонны насосно-компрессионных труб [4]. Для подсоединения к средствам управления и источнику электроэнергии на поверхности используется армированный электрический кабель (рис. 1.).

Погружные системы имеют широкий диапазон рабочих характеристик и позволяют использовать один из более универсальных способов подъема жидкости с забоя скважины. Стандартные электроприводы на поверхности обеспечивают дебиты от 16 до 4800 м<sup>3</sup>/сут., а приводы с регулируемой скоростью обеспечивают дополнительную гибкость в регулировании подачи насоса. Системы допускают наличие в продукции высокого газового фактора, но поступление больших объемов газа может привести к образованию газовых пробок и вызвать повреждение насоса. Для эксплуатации погружных насосов при температурах свыше 180°C требуется применение специальных двигателей и кабелей, способных работать в таких условиях [3].

Все факторы, влияющие на работу УЭЦН, можно разделить на группы. Геологические (газ, вода, отложение солей и парафина, наличие мех. примесей в добываемой из пласта жидкости), поскольку своим происхождением они обязаны условиям формирования залежи, и факторы, обусловленные конструкцией скважины или УЭЦН (диаметр эксплуатационных колонн, кривизна скважин, глубина спуска, исполнение узлов и деталей УЭЦН) [2]. В зависимости от того, какое воздействие они производят на технико-экономические параметры эксплуатации скважин, каждая группа в свою очередь делится на факторы с положительным и отрицательным действием.

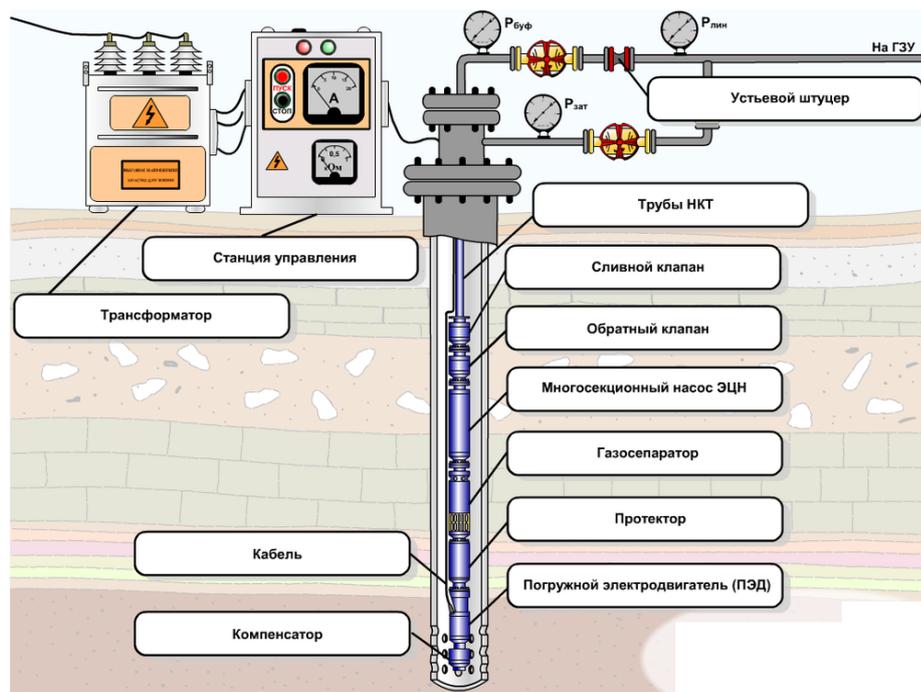


Рисунок 1. Компоновка УЭЦН

Условия работы УЭЦН в скважине зачастую являются достаточно суровыми, это и значительная глубина спуска, и высокая температура перекачиваемой жидкости, и содержащиеся в ней механические примеси и газ, и многое другое. Как правило, длительная эксплуатация УЭЦН в стабильном режиме не может быть обеспечена в таких условиях без применения спец. оборудования и проведения дополнительных мероприятий. Динамика причин отказов УЭЦН показана на рисунке 2. Из всех причин преждевременных отказов УЭЦН наиболее часто встречающийся – засорение механическими примесями, при этом мех. примеси достаточно часто являются причиной аварий УЭЦН в скважинах [1].

Условия работы УЭЦН в скважине зачастую являются достаточно суровыми, это и значительная глубина спуска, и высокая температура перекачиваемой жидкости, и содержащиеся в ней механические примеси и газ, и многое другое. Как правило, длительная эксплуатация УЭЦН в стабильном режиме не может быть обеспечена в таких условиях без применения спец. оборудования и проведения дополнительных мероприятий. Динамика причин отказов УЭЦН показана на рисунке 2. Из всех причин преждевременных отказов УЭЦН наиболее часто встречающийся – засорение механическими примесями, при этом мех. примеси достаточно часто являются причиной аварий УЭЦН в скважинах.

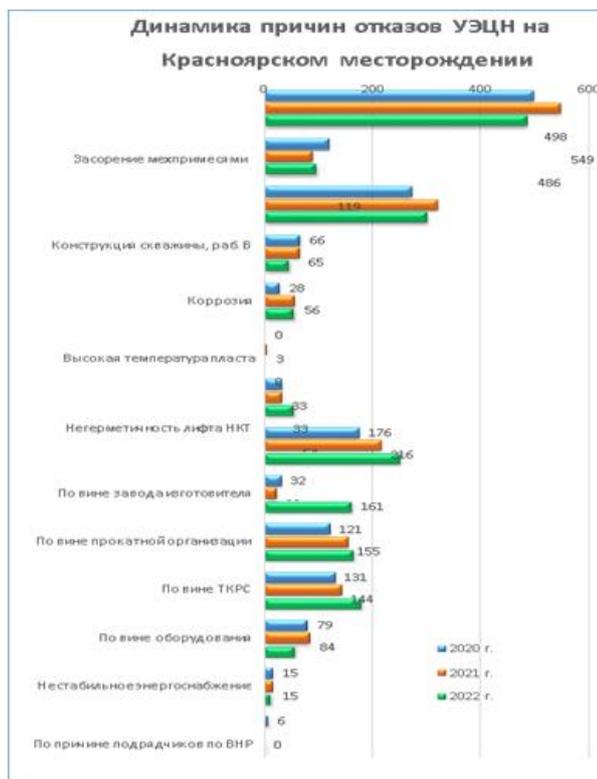


Рисунок 2. Динамика причин отказов УЭЦН на Красноярском месторождении

Для обеспечения оптимальной добычи нефти необходимо правильно подобрать параметры погружного ЭЦН (диаметр, длина, подача, напор и потребляемая мощность). Диаметр насоса должен быть таким, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между производительностью и потерями давления, а длина – чтобы учесть глубину залегания пластов и обеспечить достаточную длину насосной колонны.

Условия, в которых приходится эксплуатировать установки погружных электронасосов на месторождении, своеобразны и сложны, как в геологическом, так и технологическом плане. Поэтому оборудованию, находящемуся в работе, приходится испытывать колоссальные нагрузки различных факторов (механические примеси, солеотложения, температура, кривизна ствола, газосодержание, парафиновые отложения), которые являются причиной многих отказов.

Большой процент УЭЦН на месторождении работает в режиме ниже оптимального, что тоже приводит к преждевременным отказам и снижению эффективности эксплуатации.

Важнейшим фактором для оптимальной работы УЭЦН является правильный подбор УЭЦН к скважине. При этом руководствуются паспортной характеристикой насоса. Вероятная характеристика работы насоса в конкретной скважине может существенно отличаться от паспортной, вследствие качества изготовления насоса, отличия вязкости откачиваемой жидкости от вязкости воды, и наличия в продукции скважины свободного газа.

### **Выводы**

Подбор УЭЦН к скважине осуществляется посредством расчетов при выводе из бурения, переводе на механизированную добычу, оптимизации и интенсификации по принятой в НГДУ методике, не противоречащей ТУ по эксплуатации УЭЦН. При этом необходимо учитывать уменьшение мощности погружного электродвигателя от увеличения температуры окружающей пластовой жидкости, согласно действующим ТУ заводов - изготовителей. После получения результатов подбора УЭЦН к скважине дают заявку на монтаж данной УЭЦН, и определяет тип

двигателя, гидрозащиты, кабеля, газосепаратора и наземного оборудования необходимых для комплектации в соответствии с действующими ТУ и руководством по эксплуатации УЭЦН.

### **Библиография**

1. Аптыкаев Г.А. Интенсификация добычи и увеличение МРП скважин, оборудованных УЭЦН // Инженерная практика, 2011, №4, с.65-69.
2. Герасимов В.В. Высокнадёжное оборудование для работы в осложнённых условиях // Инженерная практика, 2012, №2, с.18-24.
3. Камалетдинов Р.С. Обзор существующих методов борьбы с мех.примесями // Инженерная практика, 2010, №2.
4. Щекотов А.А. Назимов С.В. Справочное пособие по действиям персонала при нарушениях в режимах работы УЭЦН // 2015
5. Ляпков П.Д. Подбор установки погружного центробежного насоса к скважине. Учебное пособие. – М.: МИНГ, 1987, 71 с.
6. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems / Shestopalov Y., Shakhverdiev A. // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.
7. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.
8. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х. и др. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
9. Оценка технологической эффективности при воздействии на залежи углеводородов / Шахвердиев А.Х., Рыбицкая Л.П. // Нефтяное хозяйство. 2003. № 4. С. 65-68.
10. Патент на изобретение RU 2095548 С1. Способ определения технологической эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов / Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э., Шарифуллин Ф.А. // 10.11.1997. Заявка № 97104539/03 от 28.03.1997.

*Фациальное моделирование отложений как основа планирования методов повышения  
нефтеотдачи пластов на зрелых месторождениях Западной Сибири*

*Потемкина Е.Л.\* (potemkinael@mail.ru),  
Арефьев С.В. (ПАО «ЛУКОЙЛ», svarev@mail.ru)*

**Аннотация**

На зрелых нефтяных месторождениях на последней стадии разработки важным этапом является извлечение остаточных запасов. К одной из причин этой проблемы относится неэффективное воздействие нагнетаемой воды в межскважинном пространстве сформированной системы разработки. Микронеоднородность продуктивных пластов играет существенную роль в кинематике фильтрационных потоков, выявление особенностей которых важно для дальнейшего планирования методов нефтеотдачи пластов и достижения проектных показателей.

**Ключевые слова**

Фация, микронеоднородность, проницаемость, потокоотклоняющие технологии.

**Теория**

Продуктивные отложения ванденской свиты нижнего мела широко распространены на территории Широтного Приобья Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Залежи нефти, приуроченные к этим отложениям, выявлены в пределах как самого Нижневартовского свода, так и непосредственно примыкающих к нему тектонических элементов. К числу месторождений, в продуктивный разрез которых входят ванденские отложения (пласт АВ<sub>2</sub>), относятся Самотлорское, Ватьеганское, Кечимовское, Нивагальское. Эти месторождения объединяет то, что залежи нефти в изучаемых отложениях находятся на последней стадии разработки, и отмечается высокая обводненность продукции. Актуальной задачей разработки таких залежей является грамотное планирование методов повышения нефтеотдачи в зависимости от особенностей геологического строения объектов.

Согласно региональным представлениям, в барремский век на территории Нижневартовского свода смена областей континентального осадконакопления (низменная аккумулятивная равнина) на области переходных (прибрежная равнина, временами заливавшаяся морем) происходила в западном направлении [1, 2, 4]. Исследуемый участок является крайним западным, в пределах которого вскрыт комплекс отложений, отражающий набор генетических типов пород переходного осадконакопления. Мощные косослоистые песчаные тела, имеющие эрозионные размытые поверхности в кровле и подошве, представляют собой отложения речных каналов и коррелятивные им подводнодельтовые конуса выноса рек в морском бассейне. Таким образом, эти тела являются сопряженными флювиально-дельтовыми рукавами, отложившимися в многоуровневой системе поясов в результате вертикального и латерального наложения в процессе миграции песчаных тел. Косослоистые серии представляют собой выступы каждой последующей проградирующей песчаной гряды.

Развитие флювиальных русел в продуктивном разрезе носит подчиненный характер и фиксирует положение максимальной удаленности береговой линии в сторону морского бассейна. Таким образом, мощное песчаное тело сложено в основном подводнодельтовыми конусами выноса рек, которые в свою очередь ранжируются на проксимальные и дистальные участки дельты. Влияние гидродинамической активности водной среды в морском бассейне способствовало накоплению песчаных осадков разной гранулометрии и сортировки. Проксимальные участки дельты сложены мелко-среднезернистыми песчаниками с примесью крупнозернистых, а дистальные – преимущественно средне-мелкозернистыми песчаниками.

Для каждой зоны построены зависимости коллекторских свойств, определенных по керновому материалу. Было получено два облака точек. Коэффициент пористости для

дистальной части меняется от 20,6 до 24%, а коэффициент проницаемости от 135 до 505 мД. Для второй фации диапазоны следующие: 21-26,6%, 262-907 мД. При одной и той же пористости коэффициент проницаемости меняется в пределах 170 мД. Выявленная микронеоднородность отложений в пределах одного песчаного тела может свидетельствовать о неравномерной выработке запасов нефти.

При изучении данных промыслово-геофизических исследований (ПГИ), проведенных в нагнетательных скважинах с целью определения профиля приемистости, были выявлены небольшие по толщине работающие интервалы в разрезе мощных песчаных коллекторских тел. Так, например, в одной из скважин перфорирован интервал толщиной 20 м (глубина 2104-2124 м), полностью вскрывший продуктивный разрез (рис.1). По данным термометрии и расходомерии установлено, что только 1,6 м толщины является работающим интервалом. Этот пропласток прослеживается по скважинам на значительном расстоянии. Выделенный пропласток сложен мелко-среднезернистым песчаником с примесью крупнозернистого и относится к фации проксимального участка дельты. По керну этот пропласток отличается высокими значениями проницаемости до 600 мД, что в два раза больше вмещающих пород-коллекторов. По кривым геофизических исследований скважин видно, что прослой становится еще более высокопроницаемым к осевой зоне тела. Существенное различие фильтрующей способности пропластков образует высокопроницаемые каналы, по которым неоднократно прокачивается нагнетаемая вода, и формирует неравномерный профиль приемистости нагнетательной скважины. В результате система заводнения пластов неэффективна, наблюдается преждевременное обводнение добывающих скважин и недостижение запланированного коэффициента извлечения нефти. Для решения перечисленных проблем применяются физико-химические методы увеличения нефтеотдачи (потокоотклоняющие технологии).

Потокоотклоняющие технологии хорошо себя зарекомендовали в отложениях с неравномерной проницаемостью коллекторов в разрезе песчаных тел [3, 5, 6, 7]. Применение этих технологий позволяет перераспределить фильтрационные потоки как по площади, так и по разрезу, вовлекая ранее недренируемые менее проницаемые пропластки. Наиболее распространенными технологиями, примененными на рассматриваемом участке, являются закачка гелеобразующих полимерных составов (ГОС) с сшивателем ацетатом хрома. Механизм действия технологии заключается в закачке маловязких растворов полимера и сшивателя через нагнетательные скважины. С течением времени в результате химических реакций образуются новые соединения высокой вязкости, которые полностью или существенно закупоривают высокопроницаемые каналы. Установлено, что сшитые полимеры подтверждены термоокислительным деструкциям и не способны постоянно создавать экранирующий эффект. Как правило, проницаемость обработанных зон восстанавливается через 4-6 месяцев [3].

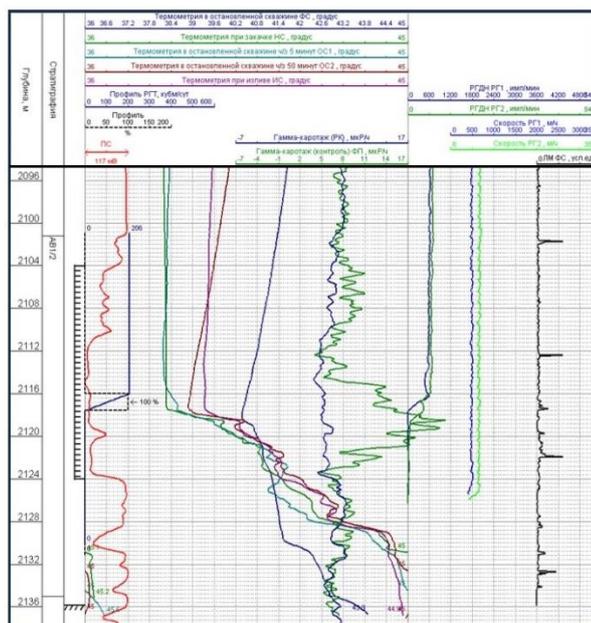


Рисунок 1. Определение профиля приемистости нагнетательной скважины по данным промыслово-геофизических исследований

После проведенного ПГИ в вышеприведенной скважине (рис. 1) в сентябре 2015 г. осуществлена обработка технологией ГОС. В соседней добывающей наклонно-направленной скважине с горизонтальным окончанием в верхней части разреза дельтового русла, получен положительный эффект. Освоение скважины началось в апреле 2014 г. Обводненность продукции выросла от 41,8 до 88,8 % при среднемесечной добыче 220 т к моменту начала воздействия. После закачки полимеров среднемесечная добыча выросла до 363 т при стабилизации обводненности на 89,9%. Эффект продлился 5 месяцев.

### Выводы

По керновому материалу была выявлена микронеоднородность в разрезе единого флювиально-дельтового русла на основе фациального моделирования, которая была подтверждена по данным промыслово-геофизических исследований. В разрезе мощного песчаного тела выделены проксимальные и дистальные участки дельты, формирование которых происходило в разных гидродинамических условиях, что оказало влияние на коллекторские свойства. Проксимальные участки дельты сложены мелко-среднезернистыми песчаниками с примесью крупнозернистых, а дистальные – преимущественно средне-мелкозернистыми песчаниками. Первые участки характеризуются повышенной проницаемостью (до 907 мД) по сравнению со вторым (до 505 мД). При одной и той же пористости проницаемость для разных фациальных зон меняется в пределах 170 мД.

Проанализирована работа группы скважин, для которых по данным ПГИ подтверждена прокачка воды по высокопроницаемым каналам, приуроченным к проксимальным участкам дельты, при неравномерной выработке остаточных запасов нефти по остальной части разреза. Применение потокоотклоняющих технологий на основе сшитых полимерных составов позволило изменить кинематику фильтрационных потоков в пласте, стабилизировать обводненность продукции в добывающих скважинах и увеличить добычу нефти.

### **Библиография**

1. Алексеев В.П. Атлас субаквальных фаций нижнемеловых отложений Западной Сибири (ХМАО-Югра) . – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 284 с.
2. Алексеев В.П., Федоров Ю.Н., Лебедев А.И. и др. Фации и палеогеография пластов АВ<sub>1-2</sub> Кечимовского месторождения (Широтное Приобье, Западная Сибирь). // Литология и геология горючих ископаемых.: Изд-во УГГУ, 2010. Вып. IV (20). С. 92-105.
3. Земцов Ю.В., Баранов А.В., Гордеев А.О. Обзор физико-химических МУН, применяемых в Западной Сибири, и эффективности их использования в различных геолого-физических условиях. // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – №7. – С. 11-21.
4. Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде. // Геология и геофизика. – 2014. – т. 55. – №5-6. – С. 745-776.
5. Кулагин С.Л., Земцов Ю.В., Галимов Ш.С. Эффективность МУН при различной степени выработки объекта. // Бурение и нефть. – 2011. – №2. – С. 50-52.
6. Ручкин А.А., Ягафаров А.К. Оптимизация применения потокоотклоняющих технологий на Самотлорском месторождении. – Тюмень: Вектор Бук, 2005. – 148 с.
7. Хорюшин В.Ю., Коротенко А.С., Мазитов Р.Ф., Бармин А.В. Комплексный подход к реализации методов по выравниванию профиля приемистости скважин. Опыт массивированного воздействия потокоотклоняющими технологиями на русловые отложения объекта АВ<sub>1-2</sub> Кечимовского месторождения. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождения. – 2017. – №9. – С. 86-94.

*Инновационная технология термогазового воздействия на месторождениях баженовской  
свиты*

*Прокудина П.Н.\* (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
1032201566@pfur.ru),*

*Малиуков В.П. (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
maliukov-vp@rudn.ru )*

**Аннотация**

Термогазовое воздействие является наиболее перспективным методом для разработки месторождений, в которых пласты представляют собой геологически сжатую материнскую породу. Сущность этого метода состоит в закачке в пласт воздуха и созданием в нефтенасыщенном пласте подвижного очага низкотемпературного окисления. Данный метод позволяет проводить добычу нефти в коллекторах баженовской свиты, имеющих сложное геологическое строение и локальное местонахождение структур с нанопормами.

**Ключевые слова**

Баженовская свита, кероген, трудноизвлекаемые запасы, термогазовый метод.

**Теория**

Значительные запасы нетрадиционных углеводородов в России сосредоточены в нефтематеринских породах баженовской свиты. Отложения баженовской свиты являются аналогом нефтеносных сланцев, но отличительной их особенностью является то, что процесс преобразования органического вещества в нефть еще не завершен. Поэтому в коллекторе наряду с легкой нефтью содержатся углеводороды непосредственно в составной породообразующей части породы, называемой керогеном.

Нефтекерогенсодержащие породы баженовской свиты представлены двумя принципиально отличными типами:

-дренируемыми макротрещиноватыми коллекторами-преимущественно карбонатно-кремнистые породы;

-недренируемыми практически непроницаемыми при пластовых условиях макротрещиноватыми коллекторами - преимущественно глинистые материалы и кероген.

Наиболее перспективным методом для разработки месторождений, в которых пласты представляют собой геологически сжатую материнскую породу, является метод с закачкой в пласт воздуха и созданием в нефтенасыщенном пласте подвижного очага низкотемпературного окисления - термогазовое воздействие.

Кислород, находящийся в воздухе и закачиваемый в пласт, вступает в реакцию с углеводородами, находящимися в пласте. Окисление углеводородов в прискважинной зоне инициируют в результате применения забойных нагревателей, форсунок, пара, нагретых флюидов, химических веществ или в результате осуществления самопроизвольных реакций. Вытеснение нефти из продуктивного пласта происходит непосредственно тепловым фронтом, окисленными газообразными продуктами, горячей водой и паром [1].

При закачке в продуктивную залежь кислородсодержащего агента реализуется два основных внутрипластовых механизма:

- первый механизм заключается в реакции углеводородов с кислородом, которая идет с образованием различных углеводородсодержащих соединений (альдегидов, спиртов, кетонов и гидропримесей) и с выделением тепловой энергии. Компоненты в последующем взаимодействуют один с другим и полимеризируются с образованием тяжелых, менее желательных компонентов, таких как асфальтены и кокс.

- второй механизм, который реализуется при закачивании в продуктивный пласт кислородсодержащего агента, заключается в традиционной реакции окисления, которая включает деструктивное окисление углеводородов с получением оксидов углерода ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ) и воды.

В процессе внутрипластового горения фронт горения действует как «бульдозер», вытесняя впереди себя нефть, которая не была извлечена за счет действия других механизмов нефтевытеснения. Процесс окисления легкой нефти рассматривается как газовое воздействие, где механизм вытеснения газом является основным, а термические эффекты – второстепенными.

При закачивании воздуха в продуктивную залежь легкой нефти кислород вступает в реакцию с пластовыми углеводородами при повышенной температуре пласта, генерируя двуокись углерода. В результате смесь газов горения, которая содержит в основном углекислый газ и азот, оказывает содействие при вытеснении нефти из продуктивного пласта к эксплуатационным скважинам. При этом система нефть-газ может быть несмешивающейся, частично смешивающейся и полностью смешивающейся [2].

На рисунке 1 показаны общие различия между закачкой газа (смешивающейся или не смешивающейся) и закачкой воздуха. Как следует из рисунка, смешивающееся вытеснение нефти обеспечивает самую высокую эффективность процесса воздействия на пласт.

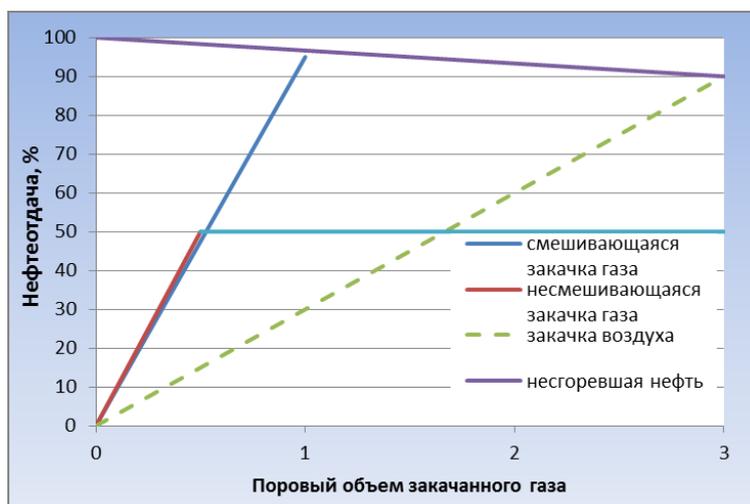


Рисунок 1. График сравнения показателей нефтеотдачи при горении и закачке газа

Специфика термогазового метода разработки продуктивных горизонтов баженовской свиты заключается в том, что используется внутрипластовая энергетика, а именно повышенные термобарические параметры: пластовая температура – 110-130 °С и давление в диапазоне 30–40 МПа.

При таких значениях температуры и давления гарантируются самопроизвольные процессы окисления пластовых углеводородов кислородом, который содержится в атмосферном воздухе, в результате химических реакций образуется высокоэффективный вытесняющий газовый агент.

Одновременная закачка воды и воздуха позволяет реализовать эффект термического, газового и гидродинамического воздействий. Такое интегрированное воздействие реализуется за счет отличительных особенностей внутрипластовых процессов в породах баженовской свиты, которые сводятся к следующему [3]:

- активные внутрипластовые процессы окисления в дренируемых нефтекерогеносодержащих породах при поступлении в них закачиваемого воздуха происходят в основном за счет керогена, а не остаточной нефти;

-внутрипластовые окислительные процессы обеспечивают внутрипластовую трансформацию закачиваемого в продуктивный горизонт воздуха в вытесняющий агент;

- закачивание водовоздушной смеси гарантирует создание в дренируемой зоне пласта тепловой оторочки. Созданная в данной оторочке тепловая энергия совместно с гидровоздействием оказывает определяющее воздействие на прогревание окружающих недренируемых зон и извлечение из этих зон легкой фракции нефти и углеводородных газов в результате формирования трещиноватости и преобразования керогенового вещества в легкую нефть.

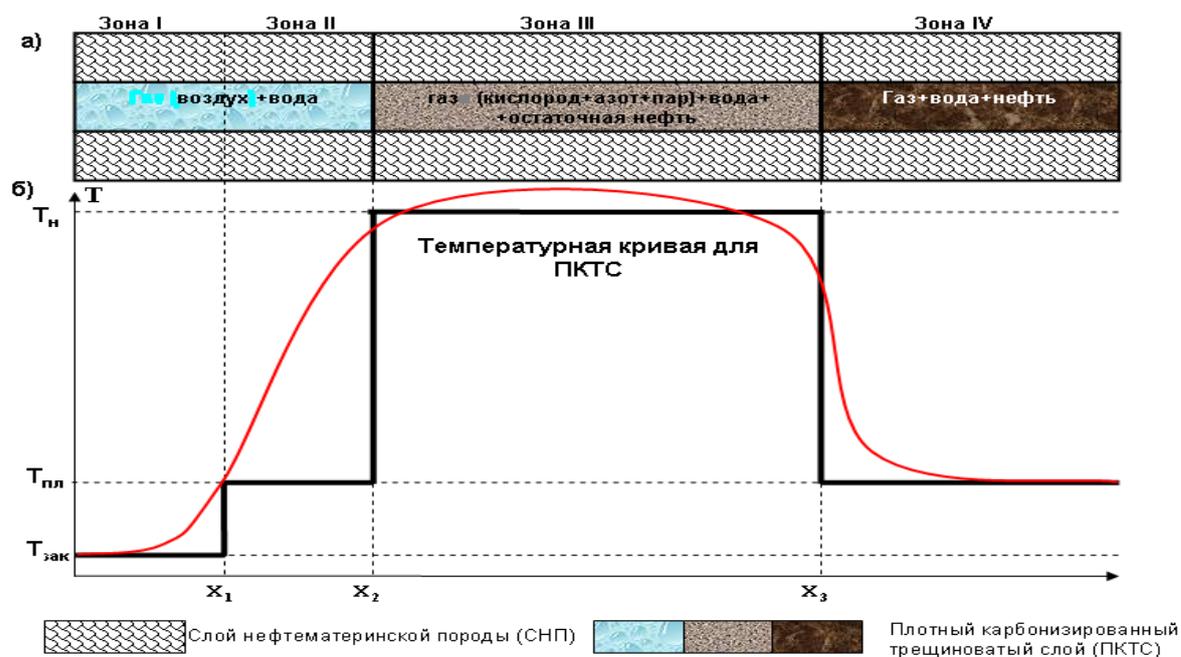


Рисунок 2. Принципиальная схема строения баженовской свиты и температурного процесса при ТГВ

Температурный процесс при термогазовом воздействии протекает в несколько этапов и разделен на IV зоны (рис. 2):

В зоне I движется водовоздушная смесь, которая закачивается в пласт с поверхностной температурой  $T_{зак}$  равной 20 °С, которая для условий месторождений баженовской свиты является ниже пластовой температуры.

В зоне II движется водовоздушная смесь, которая за счет теплообменных процессов прогревается до температуры пласта.

В зоне III протекает химический процесс окисления нефти кислородом воздуха и генерируется тепло, которое расходуется на прогревание зоны III, а также выше- и нижележащих слоев нефтематеринской породы. Таким образом, можно сказать, что зона III является зоной формирования тепла и характеризуется высокой температурой. Предполагается, что в зоне III происходит полное потребление кислорода.

В зоне IV движется вытесняемая нефть совместно с газом и водой. По температурным характеристикам зона IV аналогична зоне II.

Из всех вышерассмотренных зон наибольший интерес представляет зона III, так как в ней происходит процесс генерации и формирования тепла и прогрев выше- и нижележащих пород – как плотного карбонизированного трещиноватого слоя, так и нефтематеринских пород баженовской свиты. Таким образом, размеры зоны III, а также ее динамика движения и

температура имеют определяющее значение для оценки технологических параметров ТГВ, от которых, в свою очередь, зависит количество нефти, которое возможно извлечь из нефтематеринских пород [4].

Недостатком данной технологии являются невозможность полностью контролировать состав закачиваемого агента, продвижение фронта горения и вероятность прорыва воздуха к добывающим скважинам.

### **Выводы**

Применение технологии термогазового воздействия позволит увеличить степень извлечения углеводородов из Баженовской свиты до 30—40%. Для разработки нетрадиционных коллекторов Баженовской свиты данный метод является наиболее перспективным и целесообразным.

### **Библиография**

1. Гришин П.А., Никитина Е.А., Толоконских С.И. Особенности теплового воздействия на керогенсодержащую породу баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2017. №2. С. 68-71.
2. Жарикова Н.Х., Савенок О.В., Кусова Л.Г. Анализ технологий по разработке залежей сланцевых углеводородов баженовской свиты // Булатовские чтения сборник статей. - 2023. - С. 183- 198.
3. Прокудина П.Н. Инновационная технология термогазового воздействия на месторождениях баженовской свиты // Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела : материалы науч.-прак. конф. – М : РУДН, 2023. – С. 39-41.
4. Щеколдин К.А. Способ повышения эффективности технологии термогазового воздействия // Нефтяное хозяйство. – 2014. - №7. – с. 102-103.

*Аспекты применения композиционного моделирования при эксплуатации  
газоконденсатных месторождений*

*Прунчак М.\* (Санкт-Петербургский Горный университет, maks123789@list.ru),  
Савенок О.В. (Санкт-Петербургский Горный университет, SavenokOV@mail.ru),  
Волосникова Н.С. (Санкт-Петербургский Горный университет, volosnikova-nina@mail.ru)*

**Аннотация**

В исследовании рассмотрены преимущества использования композиционного моделирования для решения одной из проблем, возникающих при добыче газа. Газовые гидраты могут привести к появлению заторов в системе сбора и стволах скважин, что влечет за собой снижение прибыльности добычи и возникновение технологических рисков. В рамках исследования было проведено моделирование кривой образования гидратов, а также определен потенциальный диапазон образования гидратов в стволе скважины на месторождении в Западной Сибири. Применение моделирования условий образования гидратов может способствовать снижению производственных затрат, поскольку оно позволяет определять риск образования гидратов еще до возникновения проблемы в реальных условиях эксплуатации.

**Ключевые слова**

Газовые гидраты, моделирование, природный газ, эксплуатация.

**Теория**

Композиционное моделирование представляет собой эффективный инструмент для анализа и прогнозирования процессов, происходящих при эксплуатации газоконденсатных месторождений. Это подход, основанный на создании моделей, учитывающих физические и химические свойства нефтяных и газовых флюидов, их перенос в пористой среде, а также взаимодействие флюидов с окружающими элементами.

Одним из ключевых аспектов применения композиционного моделирования является возможность проведения анализа различных сценариев разработки месторождения, что позволяет оптимизировать процессы добычи и повысить эффективность эксплуатации. С помощью композиционных моделей специалисты могут оценить влияние изменений в условиях эксплуатации на давление, температуру, состав флюидов и другие параметры, что позволяет принимать обоснованные решения для повышения производительности месторождения [1].

Еще одним важным аспектом является возможность моделирования процессов переноса флюидов и адекватное описание их поведения в различных условиях эксплуатации месторождения. Это помогает улучшить прогнозирование добычи, оптимизировать процессы инжиниринга и снизить риски возникновения нежелательных явлений, таких как закачка воды, газовые конденсаты и прочее.

В целом, композиционное моделирование является мощным инструментом для управления процессами при эксплуатации газоконденсатных месторождений. Его применение позволяет повысить эффективность добычи углеводородов, минимизировать потери и риски, а также обеспечить устойчивость работы месторождения на протяжении всего периода его эксплуатации.

Газовые гидраты - это кристаллические соединения газа и воды, которые могут образовываться в условиях высокого давления и низкой температуры, характерных для многих глубоководных и газоконденсатных месторождений [3]. При эксплуатации газоконденсатных скважин газовые гидраты могут стать серьезной проблемой, приводящей к снижению производительности скважин, авариям и даже катастрофическим последствиям.

Одной из основных проблем, связанных с возникновением газовых гидратов, является возможность их образования в трубопроводах и оборудовании при перепаде давления и

температуры. Это может привести к образованию заторов, блокировке потоков и даже взрывам. Более того, газовые гидраты могут привести к значительному увеличению энергозатрат на добычу и обработку газа, что снижает экономическую эффективность проекта [4].

В данной статье композиционное моделирование рассматривается как комплексный подход к решению проблемы гидратообразования на примере конкретной скважины на территории Западной Сибири.

Для прогнозирования возникновения гидратов на месторождении газа и конденсата был использован программный комплекс PVTр. Он предназначен для анализа свойств флюидов пласта и позволяет решать следующие задачи: создание математических моделей PVT-свойств нефти с применением различных корреляций, таких как Стендинга, Веларде, МакКейна и других; определение физических характеристик природного газа с учетом его состава; определение типа флюида пласта по методикам различных авторов, таких как Ю.П. Каратаев, В.И. Старосельский, ОПУС, МГК, Пикслера и других; моделирование процесса выделения газа из пластовой нефти [1].

Для построения модели условий гидратообразования на месторождении X необходимо провести полный лабораторный анализ флюида на хроматографе, учитывая псевдокомпоненты для повышения точности. Этот анализ предоставит данные о пластовых и стандартных термобарических условиях, глубине скважины, молярной и массовой доле компонентов, а также молярном весе компонентов [2].

Построив кривую гидратообразования (рисунок 1), можно получить информацию о термобарических условиях формирования гидратов в конкретной скважине. Далее следует создать кривую распределения температуры и давления по стволу скважины. Путем совмещения обеих кривых и определения их пересечения можно вычислить потенциальный интервал образования гидратов на глубине от 675 до 832 м.

Этот метод обладает перспективами для внедрения на производстве, поскольку обеспечивает высокую точность данных по сравнению с лабораторными исследованиями и позволяет сократить эксплуатационные издержки, связанные с образованием и ликвидацией заторов.

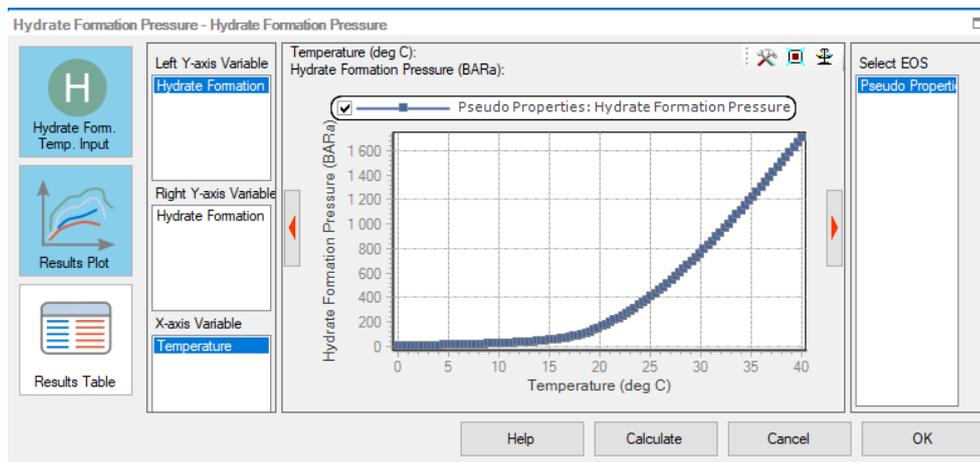


Рисунок 1. Кривая гидратообразования

## Выводы

Это исследование подчеркивает перспективы применения композиционного моделирования для работы с газоконденсатными месторождениями. В результате проведенных работ были сделаны следующие выводы:

1. Газовые гидраты представляют собой соединения, в которых газ находится внутри кристаллических ячеек, состоящих из молекул воды, связанных водородными связями.

2. В работе рассматривается моделирование условий гидратообразования как современное решение для борьбы с гидратами, особенно для предотвращения их образования.

3. Для прогнозирования условий образования гидратов на месторождении был использован программный комплекс PVTr. Путем моделирования термобарической кривой образования газовых гидратов с учетом композиционного состава флюида и совмещения ее с кривой распределения температуры и давления по стволу скважины был определен потенциальный интервал образования гидратов.

### **Библиография**

1. Бондарев Э.А., Рожин И.И., Аргунова К.К. Особенности математического моделирования систем добычи и транспорта природного газа в арктической зоне России // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 705. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.705

2. Gasumov R.A. Features of the development of small fields (on the example of gas condensate fields in the North Caucasus) // Journal of Mining Institute. – 2016. – Vol. 220. – P. 556-563. DOI: 10.18454/pmi.2016.4.556.

3. Makogon Yu.F. Natural gas hydrates: distribution, formation models, resources // Journal of Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev. – 2003. – Vol. XLVII. – № 3. – P. 70-79.

4. Shklyarsky Ya.E., Skamyin A.N., Jimenez Carrizosa M. Energy efficiency in the mineral resource complex // Journal of Mining Institute. – 2023. – Vol. 261. – P. 323-324.

*Инновационная технология строительства горизонтальных подземных резервуаров в  
каменной соли на Волгоградском ПХГ*

*Соливан В.Д.\* (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
1032201562@pfur.ru),*

*Малиуков В.П. (Российский Университет Дружбы Народов им. Патрисы Лумумбы,  
maliukov\_vp@pfur.ru)*

**Аннотация**

В работе рассмотрена инновационная технология строительства горизонтальных подземных резервуаров в каменной соли. Проведен анализ основных факторов, влияющих на массоотдачу при гидродинамическом воздействии раствора на каменную соль [1], а также форму выработки-емкости в каменной соли. Технология строительства подземных резервуаров в каменной соли отработывалась на четырех крупномасштабных моделях в соляной горе.

Установлено, что формирование горизонтального резервуара с помощью предложенной технологии позволяет получить равновеликие поперечные сечения сводчатой формы с высокими показателями коэффициента массоотдачи и скоростью строительства.

**Ключевые слова**

Каменная соль, массоотдача, подземные резервуары, гидродинамическое воздействие раствора.

**Теория**

По мнению член-корреспондента РАН В.А. Казаряна (научного руководителя перспективных, инновационных проектов (технологий) по подземному хранению энергоносителей), высокоэффективная технология по строительству подземных резервуаров в РФ в некоторых случаях не имеет аналогов в мировой практике (двухъярусные резервуары, резервуары горизонтального типа и др.) и в настоящее время успешно реализуется. В России впервые построен горизонтальный резервуар при гидростатическом воздействии раствора на каменную соль на Волгоградском ПХГ.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать технологическую схему строительства горизонтальных резервуаров через две скважины: вертикально-горизонтальную и вертикальную. Строительство начинается с бурения вертикальной скважины с дальнейшим сооружением на этой скважине вертикальной выработки – «мишени», с которой в процессе строительства соединяется горизонтальная выработка. Горизонтальная часть вертикально-горизонтальной скважины направлена на сторону «мишени» и по падению соляного пласта.

Процесс создания выработки происходит с постепенным увеличением объема от участка к участку. С целью получения равновеликих сечений в процессе строительства каждого участка предусматривается извлечение с раствором определенного количества соли. Процесс создания резервуара происходит без использования нерастворителя [3].

Разработка методики расчета процесса подземного растворения каменной соли и определения основных технологических параметров осуществлялась методом крупномасштабного моделирования на четырех моделях в соляной горе Ходжа-Мумын. При вскрытии выработок-моделей обнаружены глинистые сферические кольца Лизеганга с наночастицами [2]. При проведении экспериментальных исследований на моделях длина горизонтальной части вертикально-горизонтальной скважины разбивалась на 5 одинаковых отрезков-этапов (ступеней) с последовательным увеличением на каждом этапе количества соли, извлекаемого с раствором. Параметры отработки горизонтальной выработки-модели приведены в таблице 1.

Параметры отработки модели горизонтальной выработки 2Г

№ п/п	Параметры	Выработка модель 2Г
1	Длина выработки, м	7,5
2	Объем выработки, м	5,42
3	Производительность подачи воды, м <sup>3</sup> /час	0,15
4	Объем рассола, м <sup>3</sup>	36,0
5	Количество соли, извлекаемой с рассолом, кг	10196
6	Время отработки выработки, ч/сутки	240/10,0
7	Простои, час	-
8	Средняя концентрация рассола, г/л	287
9	Средняя температура рассола, °С	26,7
10	Количество этапов отработки	5
11	Количество соли, извлекаемой на этапах, в % от общего кол-ва	7; 12,6; 17,0; 27,5; 35,0
12	Давление в выработке, МПа	0,35-0,72
13	Среднее значение высоты, м	0,97
14	Средняя величина пролета, м	1,09
15	Среднее отношение высоты выработки к полупролету	1,8
16	Угол наклона боковых поверхностей, град.	32-40
17	Средняя площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>	0,63

При отработке модели без негативного проявления воздуха была получена «эталонная» выработка (модель 2Г) [4]. На рисунке 1 представлена форма «эталонной» горизонтальной выработки-модели 2Г, разрез и оребренная поверхность подошвы.

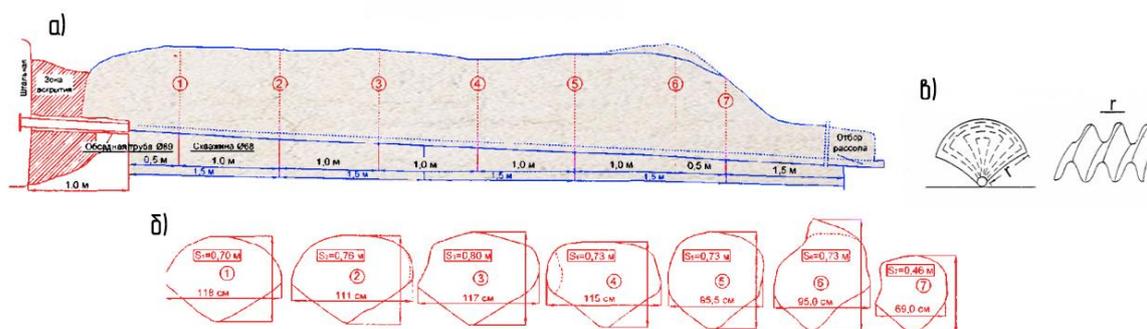


Рисунок 1. а) Продольно-вертикальный разрез горизонтальной выработки-модели 2Г; б) форма выработки; в) оребренная поверхность подошвы

Концентрация рассола, выходящего из выработки-ёмкости при различных производительностях подачи воды, с учётом различия температуры процесса растворения каменной соли при сооружении ёмкости-модели и натурной выработки-ёмкости определяется по формуле:

$$C = C_H \left( 1 - e^{-1,19 \frac{K}{S} \times \frac{22,4 + t_H}{22,4 + t_M}} \right) \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация выдаваемого рассола при сооружении натурной выработки-ёмкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_H$  — концентрация насыщенного рассола, равная  $312 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $K$  — средний коэффициент скорости растворения каменной соли ( $K_M = K_H$ ),  $\text{м}/\text{с}$ ;  $Q$  — производительность по рассолу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $S$  — величина поверхности растворения,  $\text{м}^2$ ;  $t_n$  — температура процесса растворения каменной соли при сооружении натурной выработки-ёмкости,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_m$  — температура процесса растворения каменной соли при сооружении ёмкости-модели,  $^\circ\text{C}$ .

Величина  $KS$  определяется или расчётом или на основе данных эталонной ёмкости-модели при известном  $Q$  из формулы:

$$C = C_H \left( 1 - e^{-1,19 \frac{K_M S M}{Q M}} \right), \quad (2)$$

где  $C$  — средняя концентрация рассола при сооружении эталонной ёмкости-модели, равная  $287 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $C_H$  — концентрация насыщенного рассола, равная  $312 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $K_M = K_H$ ;  $S_M \square \square^2 = S_H$ .

По данным эталонной крупномасштабной модели с помощью масштабных множителей были определены параметры горизонтальной выработки, исходя из мощности соляного пласта 40 м: линейный масштабный множитель – 41, длина выработки – 280 м, пролет – 45 м, площадь поперечного сечения –  $1343 \text{ м}^2$ , производительность –  $255 \text{ м}^3/\text{ч}$ , объем выработки – 380 тыс.  $\text{м}^3$ .

Для общего активного запаса 50 млн.  $\text{м}^3$  природного газа необходимо строительство подземной горизонтальной выработки геометрическим объемом 345 тыс.  $\text{м}^3$ , т.е. будет достаточно одной выработки с рассмотренными выше параметрами.

На Волгоградском ПХГ построен подземный горизонтальный резервуар в каменной соли в верхней VII ритмопачке мощностью 63–69 м сотрудиниками ООО «Газпром геотехнологии» объемом 350 тыс.  $\text{м}^3$  [5]. На рисунке 2 представлена схема строительства горизонтального подземного резервуара на Волгоградском ПХГ.

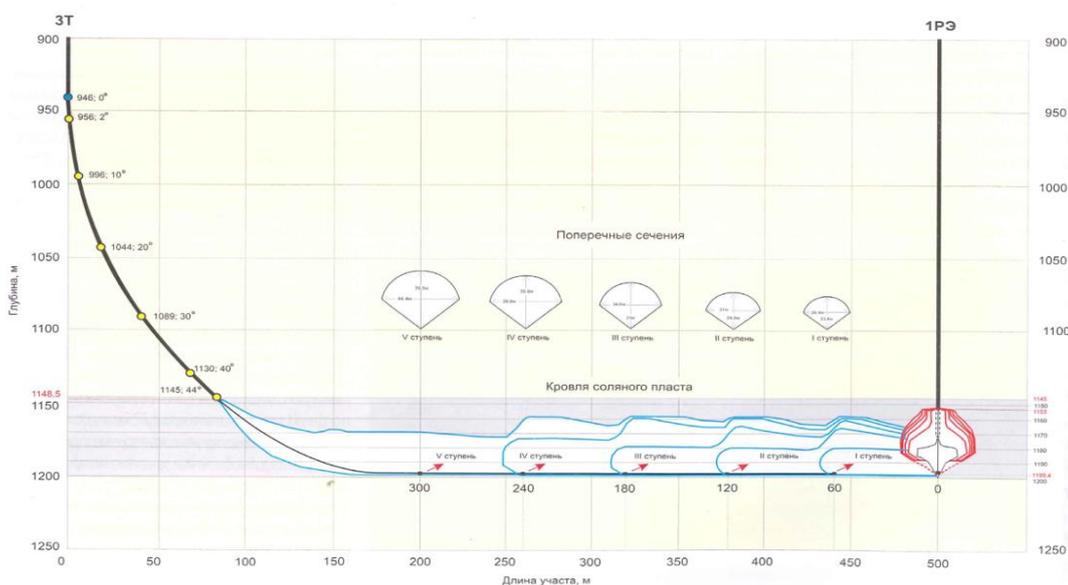


Рисунок 2. Схема строительства горизонтального подземного резервуара на Волгоградском ПХГ

### **Выводы**

Проведен анализ результатов крупномасштабного моделирования строительства горизонтальных резервуаров при гидродинамическом воздействии раствора на каменную соль и строительство горизонтального резервуара на Волгоградском ПХГ.

В настоящее время из всех рассмотренных технологий по строительству горизонтальных резервуаров является технология строительства двухскважинных резервуаров с перемещением центральной колонны на каждом участке строительства выработки-емкости. Экспериментальные исследования в натуральных условиях показали, что формирование горизонтального резервуара с помощью данной технологии позволяет получить равновеликие поперечные сечения сводчатой формы с равномерно распределенными различными неровностями по контуру выработки.

### **Библиография**

1. Малюков В.П. Массоотдача и отрыв пограничного слоя при воздействии водного раствора на каменную соль. Процессы в геосредах. М.: ООО «Кватернион» Москва, 2020. №4 (26)
2. Малюков В.П. Образование колец Лизеганга в каменной соли с наночастицами. Горный информационно-аналитический бюллетень. Научно-технический журнал. Издательство «Горная книга», № 10. – М. 2016. С. 242-248.
3. Малюков В.П. Шепилев А.А. Инновационные технологии строительства горизонтальных и двухъярусных подземных резервуаров в каменной соли. Процессы в геосредах. М.: ООО «Кватернион». - 2020.- №4 (26).-С. 936-940
4. Малюков, В. П. Физические процессы и технологии строительства подземных выработок-емкостей при гидродинамическом воздействии раствора на каменную соль: монография / В. П. Малюков – Москва: РУДН, 2021. – 299 с.
5. Соливан В.Д. Анализ новых явлений и технологий при строительстве подземных резервуаров в процессе гидродинамического воздействия раствора на каменную соль // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. - Пермь: ПНИПУ, 2023. - С. 297-300.

*Особенности технического регулирования и нормативной базы в нефтегазовом  
машиностроении*

*Степина Е.А.\* (Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М.  
Губкина, e.stepina2002@list.ru),*

*Коротаев Д.Н. (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго  
Орджоникидзе, korotaevd99@mail.ru)*

**Аннотация**

В настоящее время нефтегазовая отрасль является одной из наиболее активно развивающихся отраслей мировой экономики, включающей добычу, переработку, транспортировку, складирование, продажу нефти и сопутствующих нефтепродуктов. Указанные направления подчинены нормам и требованиям, заложенным в технические регламенты и документы по стандартизации. В работе рассмотрены особенности и перспективы технического регулирования в нефтегазовом машиностроении.

**Ключевые слова**

Техническое регулирование, стандартизация, технический регламент, нормативная база.

**Система технического регулирования в РФ**

Нефтегазовое машиностроение является динамично развивающейся отраслью, в которой важными и актуальными остаются вопросы технического регулирования, т.е. правовой регламентации обеспечения безопасности и качества объектов. Техническое регулирование осуществляется в соответствии с общими целями Федерального закона «О техническом регулировании» (далее – ФЗ) [4], учитывая особенности продукции нефтегазового машиностроения и оценки ее соответствия предъявляемым требованиям.

На рис. 1 представлены структурные элементы технического регулирования в нефтегазовой отрасли, к которым относятся объекты, субъекты, методы и средства.

Согласно определению технического регулирования, данный правовой вид деятельности осуществляется по трем направлениям:

- 1) разработка, принятие, применение и исполнение обязательных требований технических регламентов;
- 2) разработка, принятие, применение на добровольной основе и исполнения требований национальных стандартов, сводов правил и других нормативных документов добровольного применения;
- 3) оценка соответствия продукции, процессов ее создания, эксплуатации и утилизации.

Первое направление реализуется через принятие и применение технических регламентов на продукцию и процессы жизненного цикла продукции (ЖЦП); второе – через стандартизацию; третье – на основе подтверждения соответствия требованиям (см. рис.1 «методы □ средства»).

Обязательные нормы, регламентирующие безопасность в нефтегазовом машиностроении, содержатся только в технических регламентах. Остальные нормативные документы носят рекомендательный характер и применяются добровольно. При этом, наибольшие споры в экспертном сообществе вызывают правовой статус и содержание стандартов, а также их гармонизация с техническими регламентами [1, 2].

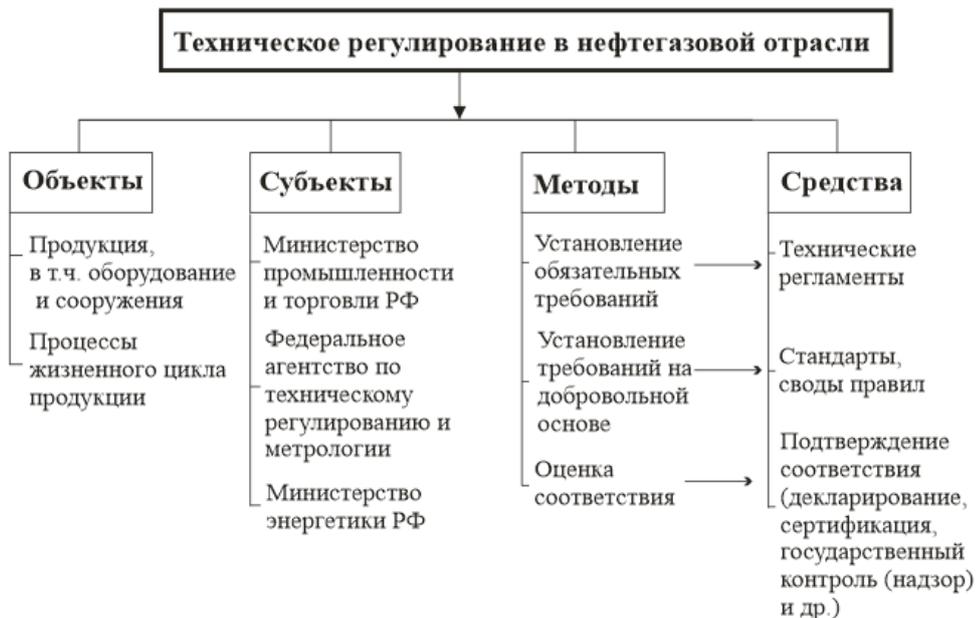


Рисунок 1. Структурные элементы технического регулирования

После внесения в ФЗ значительных изменений была принята двухуровневая система технического регулирования, сущность которой состоит в легитимном использовании стандартов и сводов правил, если выполнение их требований служит доказательной базой выполнения требований технического регламента. То есть, объект признается соответствующим требованиям технического регламента, если он соответствует требованиям стандартов и сводов правил, включенных в перечень документов, обеспечивающих выполнение требований безопасности, установленных в техническом регламенте. Производитель продукции на добровольной основе выбирает для своих целей те или иные стандарты и своды правил. Как только их перечень попадает в договор (контракт), выполнение этих норм добровольного применения становится обязательным.

Рассмотрим более подробно законодательную и нормативную базы нефтегазового машиностроения.

В нефтегазовой отрасли РФ кроме федеральных законов и подзаконных актов традиционно применялись и применяются многочисленные нормативные документы (рис. 2), в отличие от других стран, где действует намного меньшая номенклатура документов. Например, в странах Европейского Союза применяют «директивы и стандарты ЕС» (обозначаемые EN), Еврокоды, а также международные стандарты.



Рисунок 2. Законодательная и нормативная базы нефтегазового машиностроения

### **Перспективы технического регулирования в нефтегазовом машиностроении**

В технических регламентах, согласно ФЗ, должны содержаться требования к характеристикам нефтегазового оборудования и сооружениям, к процессам изыскания, проектирования, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, вывода из эксплуатации и утилизации сооружений, выполнение которых обеспечивает безопасность. То есть, указанными регламентами предусмотрены лишь показатели безопасности – одного из свойств, входящих в сложное понятие «качество». Кроме требований безопасности существуют не менее важные свойства объектов нефтегазового машиностроения, такие как долговечность, ремонтпригодность, эксплуатационная пригодность, энергосбережение и т.д., которые в составе технических регламентов законом не предусматриваются. Поэтому, необходимо установление обязательных норм и по данным вопросам. В свою очередь, документы в области стандартизации (стандарты, своды правил) с целью повышения уровня безопасности, обеспечения конкурентоспособности и качества работ могут содержать более высокие требования к безопасности, а также другие требования к продукции. Однако, как было указано выше, применение этих дополнительных требований основано на принципе добровольности.

Фонд национальных стандартов вместе со сводами правил, устанавливающий требования к эксплуатационным характеристикам нефтегазового оборудования и сооружений, их безопасности, нуждается в обновлении и совершенствовании [2, 3]. В производство постоянно внедряются новые материалы и конструкции. В результате появления новых материалов возникает необходимость их нормативного обеспечения и гармонизации с международными стандартами.

Получив законодательную основу в виде технических регламентов (см. рис. 2), органы власти совместно с национальными объединениями саморегулируемых организаций проектировщиков и изыскателей приняли и реализуют программу актуализации и развития нормативной технической базы нефтегазовой отрасли.

### **Выводы**

1. В связи с формированием в нефтегазовой отрасли новой системы технического регулирования и стандартизации важной задачей является анализ нормативной базы и ее

обновление. Российская нормативная база представлена неоправданно многочисленной номенклатурой документов, не всегда согласованных между собой [4].

2. В РФ принята двухуровневая система технического регулирования. Первый уровень – это технические регламенты, устанавливающие обязательные требования, второй – применяемые на добровольной основе национальные стандарты, своды правил и другие документы по стандартизации, обеспечивающие соблюдение требований технических регламентов.

3. Органы власти совместно с национальными объединениями саморегулируемых организаций проектировщиков и изыскателей приняли и реализуют программу актуализации и развития нормативной технической базы нефтегазового машиностроения, а также её гармонизации с международными и региональными нормативно-техническими документами.

### **Библиография**

1. Аграфенин С.И. Нерешенные вопросы технического регулирования в области технологической инфраструктуры систем нефте- и газоснабжения // Нефть. Газ. новации. № 9 (226), 2019. С. 18-122
2. Варфоломеева Н. Нефтегазовый комплекс: путь на развитие // Стандарты и качество. №4, 2022. С.44-47.
3. Петровский М.А., Аграфенин С.И. О концепции технического регулирования в нефтегазовой отрасли // Научно-технический вестник ОАО НК «Роснефть». № 3 (44), 2016. С. 6-13.
4. Федеральный закон № 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании».

*Экологические вопросы применения технологий гидроразрыва пласта  
Цыбенков Ц.З.\* (МГРИ, [tsybenov.tsyden02@gmail.com](mailto:tsybenov.tsyden02@gmail.com)),  
Бруслов А.Ю. (МГРИ, [bruslovay@mgri.ru](mailto:bruslovay@mgri.ru))*

**Аннотация**

Работа посвящена анализу экологических аспектов применения технологий гидроразрыва пласта (ГРП) для подготовки рекомендаций по улучшению экологии техно-природных систем с участием технологий ГРП.

На базе обзора общей практики применения технологий ГРП выявлены основные экологические риски, опасности, вредные воздействия, а также сформулированы рекомендации для их дальнейшей минимизации.

**Ключевые слова**

Гидроразрыв, проппант, пласт, трещина, экология, техно- природная экосистема, риски, опасности, вредные воздействия, минимизация.

**Краткий обзор технологий ГРП и их экологических аспектов**

Гидроразрыв пласта (ГРП) является одним из наиболее распространенных эффективных методов воздействия на продуктивные пласты для интенсификации работы скважин и увеличения нефтеотдачи. Сущность метода ГРП заключается в нагнетании в призабойную зону скважины жидкого рабочего агента под давлением, превышающим местное горное давление. Как следствие, в обрабатываемых горных породах создаются дополнительные трещины, по которым пластовые флюиды, том числе и нефть, фильтруются с большей интенсивностью. Геометрию, глубину, раскрытие трещин, продолжительность их работы можно стараться регулировать. Чтобы предотвратить смыкание трещин после снятия давления, в них вводят закрепляющий материал проппант). Технологии ГРП различаются по объему закачки, составу рабочего агента и, соответственно, по размерам и глубине создаваемых трещин. Проведение гидроразрыва с образованием протяженных трещин приводит к увеличению не только проницаемости призабойной зоны, но и охвата пласта воздействием.

Главную цель ГРП часто определяют как стимуляцию скважины посредством увеличения её продуктивности. В результате отмечается рост производительности (дебита) скважины либо уменьшение рабочего перепада давления (депрессии). Снижение перепада давления помогает ограничить вынос песка, избежать образования конуса обводнения или разгазирования нефти вблизи забоя скважины.

Экология – это одна из важнейших тем в современном обществе. С каждым годом, люди все больше заботятся о сохранении окружающей природы и постепенно осознают, какие пагубные последствия может привести эксплуатация природных ресурсов. Одно из таких последствий, связанных с освоением месторождений горючих ископаемых, является проблема экологического разрушения при методе гидроразрыва пласта. Такие вопросы рассматривает прикладная экология, в частности экология промышленная и экология нефтегазового производства.

Уже имеются рекомендации и ведутся работы по улучшению экологии ГРП. Для этого составляют перечни опасных, вредных воздействий на человека, окружающую среду, соответствующих мер, рекомендаций, работ и правил по их минимизации. Перечни составляют на основе практики проведения ГРП, проявления видимых вредных экологических воздействий и их источников. Пример такого перечня представлен в таблице 1.



Рисунок 1. Оборудование для ГРП [8]

Источники и виды экологических опасностей при ГРП (из доступных источников информации по ГРП)

Таблица 1

№	Источник опасности	Вид экологически вредного воздействия	Ссылка на источник
1	Химреагенты и вода ГРП	Загрязнение веществами вредными для здоровья и окружающей среды	[1]
2	Вода ГРП	Загрязнение коллектора и флюидов микроорганизмами	[1]
3	Водозабор и водосток при ГРП	вода становится непригодна для питья, люди чаще болеют, происходит увеличение онкологических заболеваний	[2]
4	Проведение ГРП	Нарушение шумового, атмосферного, популяционного режима экосистемы	[1]
5	Необратимое нарушение прочностных свойств горной породы (трещинообразование)	Неконтролируемая опасность притока и дальнейшего выброса газов в атмосферу	[2]
6	Необратимое нарушение прочностных свойств горной породы (трещинообразование)	Смещение частей горных пород. Сейсмическая нестабильность и землетрясения, а также проседание почвы, которое может составлять десятки метров	[3]
7	Генерация дополнительных шумов с частотами и уровнями, вредными для человека	Негативно воздействие на нервную систему и слух	[2]
8	Заполнение трещин ГРП флюидами со смазывающими свойствами	Ускорение взаимного смещения частей горных пород	[1]

9	Подготовка площадки для ГРП	Нарушение почвенного и растительного слоя	[2]
10	Технологические ошибки и нарушения с потерей рабочих жидкостей и проппанта	Загрязнение почв и растительного слоя	[2]

Из таблицы видно, что имеются источники экологически вредных воздействий, а некоторые воздействия влияют не только на окружающую среду, но и на самого человека, который эти воздействия осуществляет. Поэтому правильней говорить не об источниках вредных воздействий, а об участниках вредных взаимодействий. Как можно заметить, применение термина «Участник» вместо «Источник» приводит к более конструктивному и детальному анализу экологии, поскольку для участников можно выявить уже не одно, а как минимум два вредных встречных воздействия. Такой подход поможет выявлять дополнительные экологически вредные воздействия, их риски, опасности и последствия. Кроме того, с применением термина «участник» расширяется их число. Например, вместо одного источника «Химреагенты» или «Технология» в качестве участников рассматриваются как минимум уже три: сами «химреагенты», «технология» и дополнительно человек и те объекты, на которые химреагенты и технология воздействуют.

В связи с этим предлагается концепция «Участников» экологически вредных взаимодействий [10] вместо более ограниченной концепции «Источников» вредных воздействий. Для практической работы с этой концепцией важно уточнять не только самих участников, но и виды взаимных воздействий.

Дальнейшую работу по применению концепции участников экологически вредных взаимодействий планируется применить как для ГРП, так и другой технологической деятельности в нефтегазовом деле: на более системном уровне, с построением схем техно природных нефтегазовых экосистем, их участников и взаимных воздействий.

### **Выводы**

1. На основе анализа и обобщения информации из доступных источников предложена таблица экологически вредных воздействий для технологии гидроразрыва пласта.
2. Предложена концепция участников вредных взаимных воздействий техно- природных экосистем нефтегазового производства. Концепция позволяет выявлять экологически вредные воздействия и их участников на более детальном и системном уровне.
3. Предусмотрено продолжение работ по улучшению экологии нефтегазового производства с применением концепции участников вредных взаимных воздействий техно- природных экосистем, построением схем, участников и взаимодействий между ними.

### **Благодарности**

Выражаю благодарность организаторам конференции «Молодые – Наукам о Земле – 2024» и профессорско-преподавательскому составу кафедры «Разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений», особенно А.Ю. Бруслову, за мотивацию и ценные советы при подготовке данной работы.

### **Библиография**

1. Прошкин А. Ю. Таиров Г. Р. Экологические проблемы при освоении месторождения методом гидроразрыва пласта // Журнал «Научный лидер» выпуск # 23 (121), 2023.
2. [https://alphapedia.ru/w/Environmental\\_impact\\_of\\_hydraulic\\_fracturing](https://alphapedia.ru/w/Environmental_impact_of_hydraulic_fracturing)

3. Кулинич К. С., Замерина О. С. Экологическая опасность применения метода гидроразрыва пласта при добыче сланцевого газа.  
<https://scienceforum.ru/2015/article/2015014458?ysclid=ltzoYG83uu508827185>
4. Соловьянов А. Экологические последствия освоение месторождений сланцевого газа: опыт США, опубликована в журнале «Neftegaz.RU», 2014.
5. Патент на изобретение RU 2122111 С1. Способ гидроразрыва пласта / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Сулейманов Б.А., Аббасов Э.М., Чукчеев О.А., Галеев Ф.Х. // 20.11.1998. Заявка № 97109098/03 от 16.06.1997.
6. Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э. Оптимизация плотности сетки скважин и ее влияние на коэффициент извлечения нефти // Нефтяное хозяйство. 2007. № 12. С. 54-58.
7. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х. и др. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
8. <https://neftegaz.ru/tech-library/tekhnologii/141812-gidravlicheskiy-razryv-plasta-grp/>
9. Наилучшие доступные технологии. Применение в различных отраслях промышленности. Сборник статей 6. — М.: Издательство «Перо», 2017. — 144 с.  
<https://burondt.ru/files/Publishing/PublishingFile63.pdf?ysclid=lu11zbe6xq376098079>
10. А.Ю. Бруслов. Материалы лекций «Основы экологии и рационального недропользования нефтегазового производства (ОЭРННГП)», Москва, МГРИ, 2024.

*Анализ методов ППД: технологическая и экономическая эффективность методов  
Шейко А.В.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, sheiko02@mail.ru),*

*Научный руководитель д.т.н., профессор Дроздов А.Н. (Российский государственный  
геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, Drozdov\_AN@mail.ru)*

### **Аннотация**

В данной работе представлен анализ заводнения и водогазового воздействия. Указано, что заводнение имеет ряд недостатков, такие как малая вязкость воды по сравнению с ВГВ. Анализ данных показал, что водогазовое воздействие обладает большей эффективностью по сравнению с заводнением. При реализации закачки водогазовой смеси как наиболее перспективного метода ВГВ, необходимо уделять внимание свойствам водогазовой смеси. ВГВ позволяет увеличить коэффициент вытеснения. Для лучшего эффекта в некоторых случаях рекомендуется добавление ПАВ. В заключении отмечается, что добавление ПАВ имеет смысл только в случае, когда состав пластовой воды не соответствует необходимому, в противном случае его экономическая целесообразность оспаривается.

### **Ключевые слова**

Заводнение, ПАВ, водогазовое воздействие, коалесценция газовых пузырьков.

### **Теория**

Заводнение имеет ряд технологических недостатков. Главный из них – малая вязкость воды по сравнению с пластовой нефтью, что приводит к обводнению скважин [1-10]. Добавление газа с технической точки зрения делает технологию более совершенной. Водогазовое воздействие является перспективным методом увеличения нефтеотдачи. Оно совмещает в себе преимущества классической технологии заводнения и газового воздействия, при этом являясь более совершенным методом.

Для совершенствования заводнения в воду добавляют различные вещества: ПАВ, химические реагенты (получение полимерных растворов), либо газ. Для реализации любой из данных модификаций используется существующий фонд нагнетательных скважин и инфраструктура объекта. Преимущество ВГВ перед заводнением заключается в увеличении охвата пласта воздействием. Полимерное заводнение приобрело некоторую популярность, однако оно имеет явный недостаток, который заключается в сравнительно высокой цене на добавляемый агент – полимер. Напротив, ВГВ лишено данного недостатка: в качестве газовой компоненты может быть использован попутный газ (ПНГ), либо какой-либо иной газовый компонент (либо смесь ПНГ и дополнительного газа). Учитывая обстановку (жёсткие антироссийские санкции), данный метод наиболее перспективен.

Из всех модификаций SWAG technology – одновременная закачка или закачка водогазовой смеси наиболее эффективна. Также выделяется FAWAG – закачка с добавлением пенообразующих ПАВ.

Внедрение WAG-method показало, что несмотря на добавление ПАВ и разработку методик закачки оторочек на конкретных объектах, велика вероятность прорыва отдельных фаз к добывающим скважинам. Прорыв газа приводит к срыву подачи и поломке скважинного оборудования. Напротив, SWAG-method, который предусматривает закачку смеси, является наиболее приемлемым вариантом.

Для реализации SWAG technology необходимо получить такую водогазовую смесь, в которой будет подавлена коалесценция газовых пузырьков. При этом газосодержание в пластовых условиях д.б. таким, чтобы обеспечить максимальное вытеснение нефти (снижение газосодержания нерационально). В работах [9,10] показано, что подавлению сливания газовых

пузырьков влияет комплекс факторов. Первый – диаметр пузырьков. С целью уменьшения диаметров пузырьков рекомендуется применять насосно-эжекторные системы (НЭС). Эжектор в составе НЭС способствует диспергированию смеси. Многоступенчатый центробежный насос также дробит пузырьки и увеличивает давление нагнетания, благодаря чему на выходе получается относительно стабильная смесь. В процессе закачки по водоводам и стволу скважины смесь претерпевает трение, она расслаивается на воду и газ. Для предотвращения этого необходимо подобрать состав жидкости, который позволит подавлять коалесценцию. На Самодуровском месторождении такой жидкостью стала пластовая вода. Растворённые в ней ионы способствовали предотвращению коалесценции, что позволило закачивать стабильную смесь без добавления ПАВ.

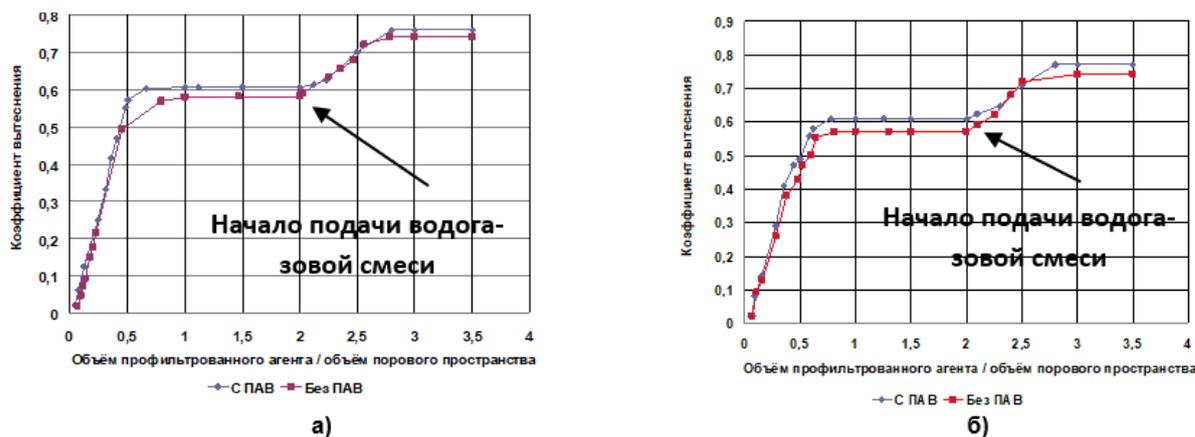


Рисунок 1. а – Зависимости коэффициента вытеснения нефти пластовой водой и водогазовой смесью (входное газосодержание 13%) от отношения прокачанных поровых объёмов к общему объёму пор в модели для условий Самодуровского месторождения без добавления ПАВ и с ПАВ; б – Зависимости коэффициента вытеснения нефти пластовой водой и водогазовой смесью (входное газосодержание 25%) от отношения прокачанных поровых объёмов к общему объёму пор в модели для условий Самодуровского месторождения без добавления ПАВ и с ПАВ

С целью определения эффекта закачки пластовой воды, водогазовой смеси (с различными  $\beta_{пл}$  с ПАВ и без) были проведены керновые исследования. Результаты показали преимущество закачки смеси перед заводнением и прирост  $k_{выт}$  при добавлении ПАВ. Т. е. добавление ПАВ к минерализованной воде показывает лучший результат (рис.1). Однако при выборе МУН необходимо определить наиболее рентабельный метод. Прирост нефтеотдачи за счёт добавления ПАВ незначителен, он не оправдывает его добавление в том случае, когда можно использовать воду рациональной минерализации.

В случаях, когда состав пластовой воды не соответствует необходимому, целесообразно применять ПАВ. В работе рассмотрены несколько ПАВ, которые обладают разными кратностями и устойчивостями (разными пенообразующими свойствами), рекомендуется проводить исследования для применения ПАВ на конкретном промысле.

### Выводы

Добавление поверхностно-активных веществ позволяет увеличить коэффициент вытеснения ( $k_{выт}$ ) остаточных запасов по сравнению с значениями  $k_{выт}$  при закачке вытесняющего агента без ПАВ. Закачка водогазовой смеси рационального газосодержания позволяет увеличить коэффициент вытеснения. Однако, при наличии воды оптимального минерализационного состава прирост  $k_{выт}$  при добавлении ПАВ незначителен, что не позволяет сделать экономически целесообразным добавление ПАВ.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность организаторам конференции «Молодые – Наукам о Земле» и заведующему кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Шахвердиеву А.Х.

### **Библиография**

1. Шахвердиев А.Х., Шестопалов Ю.В. [и др.]. Альтернативная концепция мониторинга и оптимизации заводнения нефтяных пластов в условиях неустойчивости фронта вытеснения // Нефтяное хозяйство. 2019. № 12. С. 118-123.
2. Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация нестационарного заводнения с целью повышения нефтеотдачи пластов // Нефтяное хозяйство. 2019. № 1. С. 44-49.
3. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В. Концепция мониторинга и оптимизации процесса заводнения нефтяных пластов при неустойчивости фронта вытеснения // Нефтяное хозяйство. 2021. № 11. С. 104-109.
4. Шахвердиев А.Х. Еще раз о нефтеотдаче // Нефтяное хозяйство. 2014. № 1. С. 44-48.
5. Шахвердиев А.Х. Некоторые концептуальные аспекты системной оптимизации разработки нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. 2017. № 2. С. 58-63. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-2-58-63
6. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М. Синергетические эффекты при системном воздействии на залежь термо-реохимическими методами // Нефтяное хозяйство. 2002. № 11. С. 61-65.
7. Патент на изобретение RU 2123586 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Сулейманов Б.А., Аббасов Э.М., Курбанов Р.А., Матвеев К.Л. // 20.12.1998. Заявка № 97109102/03 от 16.06.1997.
8. Gumersky Kh.Kh., Dzhafarov I.S. and al. In-situ generation of carbon dioxide: new way to increase oil recovery // Proceedings of the European Petroleum Conference. European Petroleum Conference (EUROPEC). Paris, France, 2000. С. 499-504.
9. Горелкина Е.И. Водогазовое воздействие: уникальное решение актуальных проблем, пути развития технологии // Молодые – Наукам о Земле. Тезисы докладов X Международной научной конференции. В 7-ми т. Москва, 2022. С. 85-89.
10. Горелкина Е.И. Исследование подавления коалесценции газовых пузырьков и его влияния на работу дожимного насоса в составе насосно-эжекторной системы при откачке водогазовых смесей // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 33-47.

*Технология предупреждения гидратообразования на морских месторождениях*

*Шокиров М.Д\* (МГРИ mehrullo\_2002@mail.ru),*

*Харченко Ю.А. (kharchenkoya@mgri.ru),*

*Бруслов А.Ю. (bruslova@mgri.ru)*

**Аннотация**

Работа посвящена обзору современных методов и технологий предупреждения гидратообразования на морских месторождениях. На базе доступной информации обозначены наиболее перспективные технологии, а также дальнейшие работы по их развитию. В статье приводится сравнение различных ингибиторов по их ингибиторной способности, а также анализируется возможность их производства в промышленных условиях. Показано, что наибольшей ингибиторной способностью обладает метанол.

**Ключевые слова**

Гидраты, гидратообразования, метанол, моноэтиленгликоль, морское месторождение.

**Теория**

Гидратообразование – это серьезная проблема при добыче и подготовке углеводородов в том числе и на морских месторождениях. Гидраты включают снегоподобные образования из молекул воды и различных газов. Накапливаясь в пористой среде или промышленном оборудовании, гидраты создают закупоривающие агрегаты. Например, гидратообразование на газовых месторождениях, находящихся в северных широтах, может стать причиной закупорки проходных каналов оборудования и выхода из строя всей технологической линии [1-10].

Гидраты как химические соединения были открыты еще в XIX веке, но активную разработку методов борьбы с гидратообразованием начали только в начале XX века после промышленного освоения газовых месторождений.

Для предупреждения гидратообразования используют следующие основные методы:

- обеспечение безгидратных термобарических условий эксплуатации систем добычи и транспорта газа;
- осушку газа в установках подготовки газа к транспорту;
- ввод в поток газа ингибиторов(замедлителей) гидратообразования.

В технологиях предупреждения гидратообразования, в качестве ингибиторов применяют различные реагенты, которые дозированно вводят в потоки добываемой продукции скважин, в призабойных зонах, в самих скважинах и элементах поверхностной инфраструктуры. Выделяют кинетические и термодинамические ингибиторы.

Кинетические ингибиторы гидратообразования, это те, что предотвращают на некоторое время процесс образования гидратов и резко замедляют рост центров кристаллизации гидратов.

Термодинамические ингибиторы (их первоначально называли антифризами по аналогии с веществами, предотвращающими замерзание водной фазы) — это вещества, растворимые в воде и меняющие термодинамическое равновесие системы «газ — водная фаза — газовые гидраты» в сторону более низких температур. К таким ингибиторам относятся алифатические спирты, гликоли и водные растворы неорганических солей. Из термодинамических ингибиторов известны электролиты, гликоли и растворы метанола. Данные ингибиторы отличаются друг от друга по ингибиторной способности, стоимости производства, летучести, коррозионной активности, токсичности и другим факторам.

Свойства термодинамических ингибиторов исследуют для получения информации об их эффективности. Эффективность определяют как снижение температуры гидратообразования в зависимости от концентрации ингибитора в потоке. Или как увеличение времени

гидратообразования за счет введения ингибитора. Пример сравнения ингибиторов по снижению температуры гидратообразования приведен на рис.1 [9].

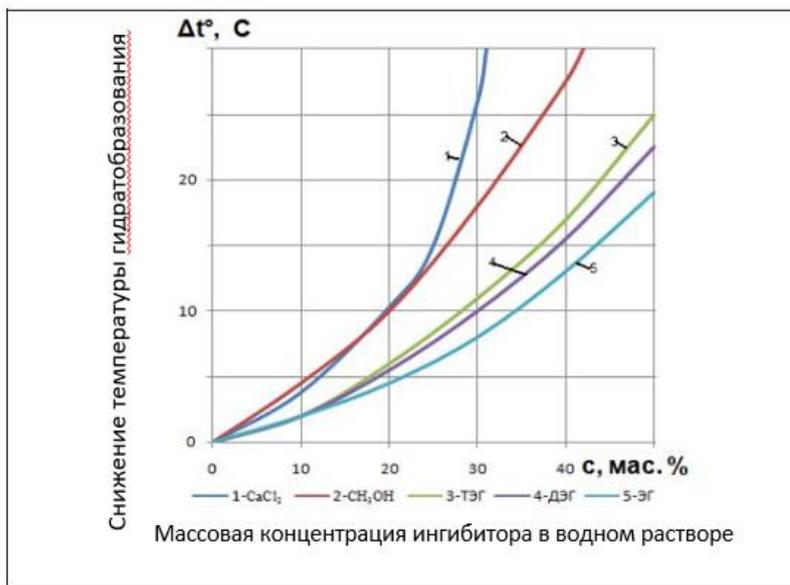


Рисунок 1. Снижение температуры гидратообразования в зависимости от ингибитора гидратообразования в водном растворе

Из графика видно, что метанол  $\text{CH}_3\text{OH}$ , наряду с хлоридом кальция  $\text{CaCl}_2$ , обеспечивает по сравнению с триэтиленгликолем (ТЭГ), диэтиленгликолем (ДЭГ) и моноэтиленгликолем (ЭГ) наибольшие снижения температур гидратообразования при меньших концентрациях ингибитора.

Ввиду технологической доступности, наиболее распространёнными термодинамическими ингибиторами являются метанол и моноэтиленгликоль. В настоящее время для предупреждения образования и ликвидации газовых гидратов в системах сбора и промысловой подготовки газа на месторождениях используется главным образом метанол.

Метанол обладает малой вязкостью, низкой температурой замерзания водных растворов, высокой степенью понижения температуры гидратообразования, способностью быстро разлагать уже образовавшиеся гидратные пробки и смешиваться с водой в любых.

Метанол, вводимый в газовый поток, благодаря малой вязкости и высокой упругости паров, легко распыляется и интенсивно испаряется. Благодаря своей летучести, он обеспечивает перераспределение паров воды и газа, что способствует интенсивному разрушению гидратов. Метанол полностью растворяется в воде и газе. Для предотвращения образования гидратов метанол вводится в поток газа перед местом возможного гидратообразования. В скважине он обычно подается в забой через затрубное пространство. На установках комплексной подготовки газа метанол вводится в поток газа перед штуцерами или теплообменными аппаратами, так как в этих технологических местах возникает опасность образования гидратов.

Однако, наряду с преимуществами, метанол имеет и недостатки: он летуч, ядовит, токсичен, пожароопасен, загрязняет окружающую среду. Метанол и его пары особенно опасны для жизни персонала на промыслах. Доза отравления метанолом 10-15мл., доза смертности - 30мл.

В связи с этим и необходимостью поиска новых ингибиторов гидратообразования, ведутся различные исследования [1] по нескольким направлениям.

- проведение детальных физико-химических исследований по скорости образования и разложению газовых гидратов в присутствии различных ингибирующих добавок, включая кинетические ингибиторы;
- работы по обнаружению и изучению новых гидратов, образующихся в результате внедрения ингибиторов;
- целенаправленный поиск ингибиторов гидратообразования новых классов;
- анализ технологических возможностей и экономической целесообразности применения уже найденных и новых ингибиторов;
- проведение промысловых испытаний кинетических ингибиторов;
- дальнейшее развитие и внедрение новых процессов, с летучими осушающими и ингибирующими реагентами.

Разработка совершенно новых, практически "безингибиторных" технологических процессов промысловой и заводской обработки природного газа.

Разработка новых методологических подходов к прогнозированию и нормированию удельных расходов метанола и гликолей, с учетом особенностей и перспектив совершенствовании промысловых систем в части снижения технологических потерь реагентов.

### **Выводы**

На базе имеющихся материалов о методах и технологиях предупреждения гидратообразования на морских месторождениях показано, что на сегодняшний день лучшим ингибитором гидратообразования является метанол.

Исследования и испытания в области применяемых и перспективных ингибиторов ведутся по двум основным направлениям: оптимизация применения известных ингибиторов, а также поиск и испытание новых.

### **Благодарности**

Выражаю огромную благодарность за руководство при подготовке данной работы к.т.н., профессору кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Ю.А. Харченко и к.т.н., доценту кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений А.Ю. Бруслову.

### **Библиография**

1. Ингибиторы гидратообразования: российские и зарубежные разработки // «Neftegaz.RU» 2023. №3. <https://magazine.neftegaz.ru/archive/772821/> 2
2. Истомин В.А., Якутев В.С. Газовые гидраты в природных условиях / М.: Недра, 1992. – 235 с. <https://core.ac.uk/download/pdf/84122514.pdf>
3. Оценка технологической эффективности при воздействии на залежи углеводородов / Рыбickaя Л.П. и др. // Нефтяное хозяйство. 2003. № 4. С. 65-68.
4. Патент на изобретение RU 2068078 С1. Устройство для очистки скважины / Чукчеев О.А. и др. // 20.10.1996. Заявка № 96103240/03 от 27.02.1996.
5. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х. и др. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
6. Скважинное клапанное устройство для промывки насосно-компрессорных труб от асфальтосмолопарафиновых отложений / Тамашевский П.М. и др. // Патент на изобретение RU 2100572 С1, 27.12.1997. Заявка № 97107025/03 от 13.05.1997.
7. Сравнение эффективности ингибиторов гидратообразования кинетического типа и опыт их промышленного применения. Вести газовой науки / А.В. Фаресов и др. // Актуальные проблемы добычи газа. 2016. № 2(26). <https://ozneftehim.ru/articles/vesti-gazovoi-nauki-02-2016/?ysclid=ltztyg4fr3723848881>

8. Устройство для предотвращения и ликвидации асфальтосмолопарафиновых и гидратных отложений в скважине / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Саламов Г.В. // Патент на полезную модель RU 110406 U1, 20.11.2011. Заявка № 2011122387/03 от 02.06.2011.

9. Харченко Ю.А // Материалы лекции по технологиям предупреждения гидратообразования. В сборнике лекций «Подводные технологии и оборудование для разработки месторождений на шельфе.

10. Шахвердиев А.Х. Оптимизация системы поддержания пластового давления при заводнении залежей // Нефтяное хозяйство. 2001. № 3. С. 42-44.

***Применение технологии увеличения нефтеотдачи на месторождении R с применением  
затрубного нефтяного газа***

***Бойченко С.В.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, boichenkosergey678@gmail.com),***

***Исмайылов Т.Р. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, teymurismayilov2004@gmail.com),***

***Фатыкова Я.Р. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, Yfatykova@bk.ru)***

**Аннотация**

Рассмотрена технология откачки затрубного газа и его использование в процессе нефтедобычи (водогазовое воздействие с применением затрубного нефтяного газа). Внедрение данного метода позволяет увеличить эффективность нефтедобычи по сравнению с заводнением и снизить объём сжигаемого нефтяного газа, т.к. ПНГ будет закачиваться в пласт с водой в виде мелкодисперсной водогазовой смеси.

**Ключевые слова**

Заводнение, водогазовое воздействие, насосно-эжекторные системы, закачка нефтяного газа, мелкодисперсная водогазовая смесь.

**Теория**

Месторождение R Татарстана является крупнейшим нефтяным месторождением. Выделены два объекта, в которых насчитывается 200 залежей. Пласты характеризуются неоднородным строением, между продуктивными толщами многочисленные глинистые пропластки.

Плотность пластовой нефти в диапазоне 0,8 – 0,82 г/см<sup>3</sup>. Содержание серы не превышает 2%. Газовый фактор имеет невысокое значение (что характерно для многих объектов Урало-Поволжья).

Месторождение находится на третьей (завершающей) стадии разработки. Обводнённость продукции стремится к значению 70%. Доказанные запасы нефти, которые насчитываются на данном месторождении, превышают 5 млрд т.

Заводнение позволяет получить до 15% дополнительной добычи, однако существенная доля запасов не вовлечена в разработку, что объясняется сильной неоднородностью пластов [1-10].

С целью рационализации процесса разработки и увеличения зоны воздействия планируется уплотнение сетки скважин, т.к. это непосредственно влияет на КИН [2, 10].

Компания, которой принадлежит лицензия на разработку, активно внедряет технологии с целью увеличения нефтедобычи. При этом значительные средства вкладываются в проекты, которые нацелены на увеличение эффективности разработки и внедрения экологически чистых технологий. В настоящий разрабатывается идея поддержания пластового давления посредством закачки воды и нефтяного газа. Промысловые условия и проведённые лабораторные исследования показали, что данный способ имеет большой потенциал, и по окончании проекта полномасштабное внедрение позволит получить около 12% дополнительной добычи.

Ещё одна проблема, выявленная на данном объекте, заключается в высоких значениях затрубных давлений. Существующие способы снижения давления неприменимы на данном объекте из-за ограниченной области их применения. В связи с этим предлагается использование технологии, предложенной в [1, 4]. Способ водогазового воздействия и предложенная в [1] насосно-эжекторная система позволят получить и закачать в пласт водогазовую смесь с

применением затрубного газа. Водогазовое воздействие как МУН и снижение затрубного давления позволят существенно увеличить нефтеотдачу.

При внедрении метода ВГВ на поздних стадиях разработки рекомендуется учитывать распределение объема остаточных запасов в залежи согласно [5], т.к. на многих объектах Урало-Поволжья нефти характеризуются малыми значениями газового фактора. Для успешного ВГВ необходима водогазовая смесь с газосодержанием, соответствующим области рациональных (рис.1) [1]. Закачка смеси в выбранные участки пласта (участки, которые содержат наибольшие объемы остаточных запасов) позволит рационально расходовать нефтяной газ.

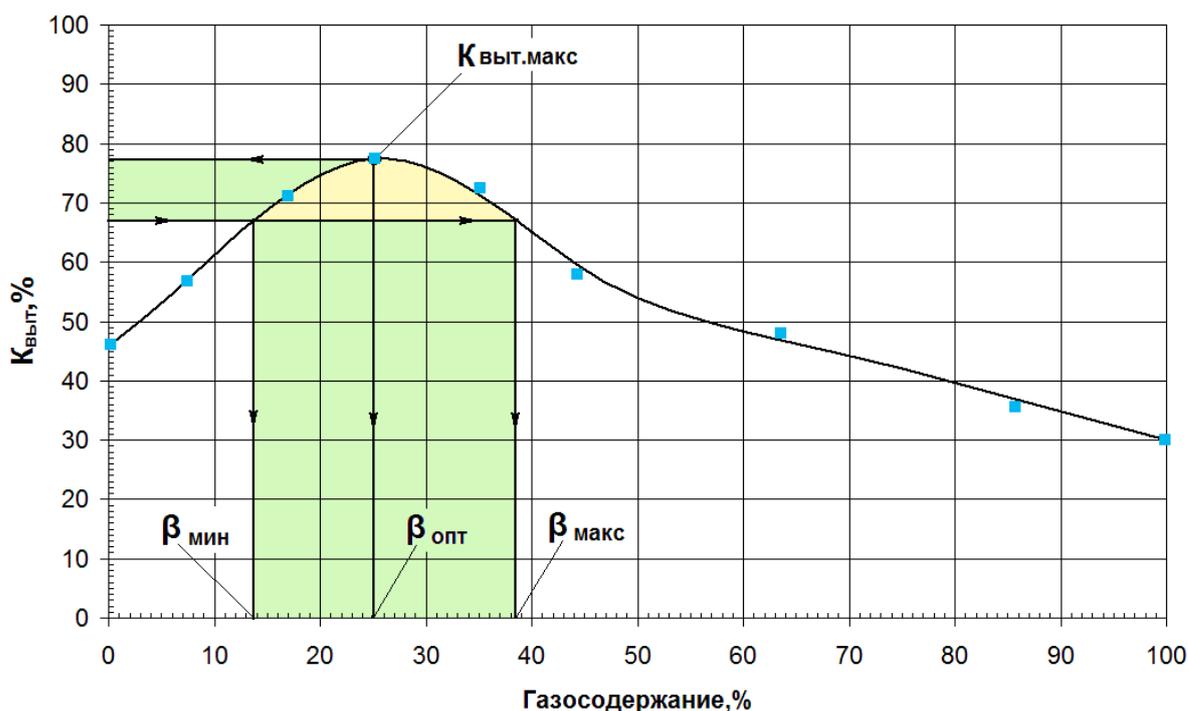


Рисунок 1. Определение области оптимальных газосодержаний водогазовой смеси в пластовых условиях при лабораторных фильтрационных исследованиях

### Выводы

Водогазовое воздействие имеет ряд преимуществ по сравнению с заводнением. Этот метод (с закачкой ПНГ) позволяет не только увеличивать нефтеотдачу, но и полезно использовать ПНГ. Его рациональное внедрение с учётом распределения запасов в залежи и геолого-геофизических параметров, а также технические решения, подстраивающиеся под условия промысла, способствуют расширению области применения ВГВ.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность организаторам конференции за организацию конференции «Молодые – наукам о Земле», профессору Шахвердиеву А.Х. и всему коллективу кафедры РЭНГМ.

### Библиография

1. Горелкина Е.И. Водогазовое воздействие: уникальное решение актуальных проблем, пути развития технологии // В книге: Молодые - Научкам о Земле. Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах. Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Москва, 2022. С. 85-89.

2. Оптимизация плотности сетки скважин и ее влияние на коэффициент извлечения нефти / Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э. // Нефтяное хозяйство. 2007. № 12. С. 54-58.
3. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего / Гумерский Х.Х. и др. // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 22-26.
4. Снижение затрубного давления в механизированных насосных скважинах и водогазовое воздействие на пласт с использованием ПНГ и азота / Калинин В.Н. и др. // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. № 4 (112). С. 38-41.
5. Способ определения местоположения застойных и слабодренируемых зон нефтяной залежи / Максимов М.М. и др. // Патент на изобретение RU 2105136 С1, 20.02.1998. Заявка № 97114425/03 от 03.09.1997.
6. Способ определения технологической эффективности методов увеличения нефтеотдачи пластов / Шахвердиев А.Х., Мандрик И.Э., Шарифуллин Ф.А. // Патент на изобретение RU 2095548 С1, 10.11.1997. Заявка № 97104539/03 от 28.03.1997.
7. Способ разработки нефтяной залежи / Сулейманов Б.А. и др. // Патент на изобретение RU 2119580 С1, 27.09.1998. Заявка № 97109101/03 от 16.06.1997.
8. Шахвердиев А.Х., Рыбичкая Л.П. Оценка технологической эффективности при воздействии на залежи углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2003. № 4. С. 65-68.
9. Шахвердиев А.Х. Оптимизация системы поддержания пластового давления при заводнении залежей // Нефтяное хозяйство. 2001. № 3. С. 42-44.
10. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems / Shestopalov Y., Shakhverdiev A. // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.

*Исследование процессов коалесценции для реализации технологии водогазового  
воздействия*

*Горелкина Е.И.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе, [gorelckina.evgenia@yandex.ru](mailto:gorelckina.evgenia@yandex.ru))*

**Аннотация**

Актуальным является совершенствование технологии заводнения. Технологией, имеющей широкий потенциал для внедрения на различных промыслах, является водогазовое воздействие. С целью увеличения эффективности метода необходимо получать и закачивать водогазовую смесь с подавленной коалесценцией.

Проведены экспериментальные исследования зависимости режима подавленной коалесценции при различных значениях расхода газа, давлениях в экспериментальном стенде и с различными концентрациями NaCl.

Экспериментально установлены диапазоны значений расхода газа, минерализации жидкости и давления в системе, при которых не срывается подавление коалесценции.

**Ключевые слова**

Заводнение, водогазовое воздействие, закачка водогазовой смеси, подавление коалесценции газовых пузырьков.

**Теория**

В связи с актуальной задачей повышения эффективности эксплуатации объектов нефедобычи необходимо подбирать методы, которые отвечают промысловым требованиям.

Многочисленные современные технологии являются усовершенствованной технологией заводнения. Модификации предполагают добавление поверхностно-активных веществ, наночастиц, химических реагентов или газа. Таким образом, изменяются значения коэффициентов вытеснения и/или охвата, что позволяет увеличить КИН [1-10].

Добавление нефтяного газа в воду является методом водогазового воздействия. Водогазовое воздействие с применением насосно-эжекторных систем, представляющее собой закачку мелкодисперсной смеси воды и газа, является решением проблемы низкой нефтеотдачи. Применение нефтяного газа как газового компонента также способствует его полезному использованию и сокращению объёмов сжигаемого газа.

Одним из принципиально важных задач связан с исследованием свойств водогазовых смесей и разработкой научных основ получения стабильных смесей с подавленной коалесценцией газовых пузырьков. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования, представленные ниже.

Известно, что подавлению коалесценции способствует повышение давления в системе. На практике давление нагнетания рассчитывается исходя из значения пластового давления и гидравлических потерь, неизбежно возникающих в процессе закачки. Повышать давление больше расчётной величины нерационально (это повышает требования к дожимному насосу и может привести к автоГРП). Поэтому для подавления коалесценции необходимо подобрать состав воды, который позволит увеличить стабильность смеси.

На рисунке 1 приведены данные по зависимости  $Q_{\max}$  от концентрации NaCl при добавлении хлористого натрия в пластовую воду Самодуровского месторождения и значениях внешнего давления  $P = 0,2, 0,3$  и  $0,4$  МПа в колонке.

Исследования подавления коалесценции проводили на пластовой воде Самодуровского месторождения (данная вода обладает оптимальным минерализационным составом, способствующим предотвращению коалесценции). При этом в воду добавлялась NaCl и пенообразующие поверхностно-активные вещества.

Несмотря на исходную минерализацию пластовой воды Самодуровского месторождения, способствующую подавлению коалесценции, добавка соли NaCl до концентрации  $C = 0,08$  моль/л в целом улучшает процесс подавления коалесценции в контексте достижения максимально высокого расхода газа  $Q_{\max}$  через колонку с жидкостью. Кроме того, повышение внешнего давления также приводит к существенному росту расхода газа  $Q_{\max}$ . В то же время при увеличении концентрации NaCl до 0,09 моль/л происходит резкое снижение  $Q_{\max}$  при всех значениях внешнего давления. Это фактически свидетельствует о прекращении подавления коалесценции газовых пузырьков при увеличении концентрации добавляемой соли до некоторого критического значения.

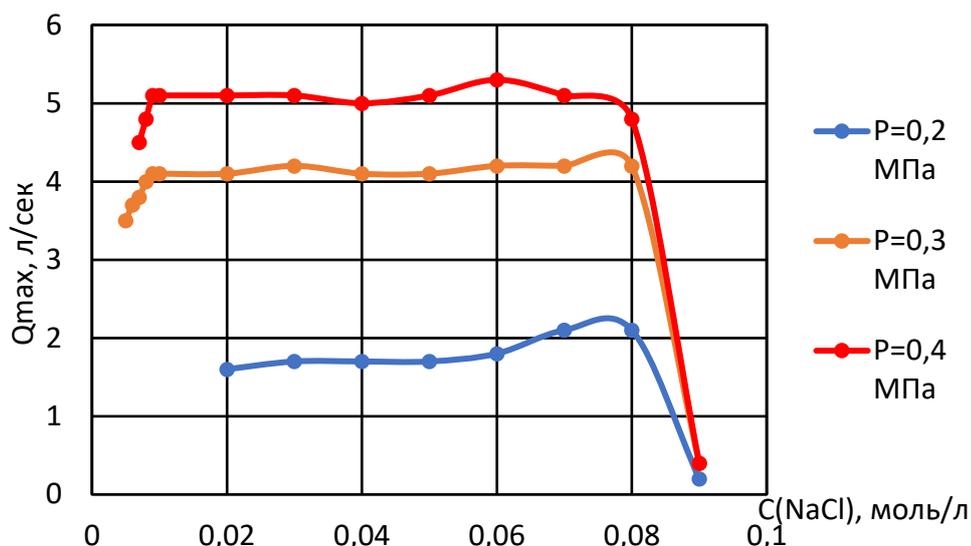


Рисунок 1. Данные по  $Q_{\max}$  при добавлении NaCl с разными концентрациями в пластовую воду Самодуровского месторождения при внешнем давлении  $P = 0,2$  МПа,  $0,3$  МПа и  $0,4$  МПа

### Выводы

Использование в составе закачиваемой смеси воды с минерализацией, которая соответствует области рациональных значений (при наличии электролитов, способствующих подавлению коалесценции) способствует предотвращению расслоения смеси в процессе закачки.

Экспериментальные исследования процессов подавления коалесценции на пластовых водах Самодуровского месторождения показали, что минерализационный состав этих вод способствует подавлению коалесценции, и с увеличением давления возрастает максимальный расход газа, при котором наблюдается подавление коалесценции. Добавление пенообразующего ПАВ в дистиллированную воду также способствует образованию устойчивой пены. Добавление ПАВ в воду с рациональной минерализацией существенно усиливает наблюдаемый эффект.

При постоянном давлении и увеличении минерализации жидкости расход газа, при котором наблюдается подавление коалесценции, сначала возрастает, затем остаётся стабильным, и при дальнейшем увеличении минерализации режим подавления коалесценции срывается.

### Благодарности

Автор выражает благодарность за научные консультации и неоценимый вклад в работу своему научному руководителю – профессору, д.т.н. Дроздову А.Н. и д.т.н., профессору Шахвердиеву А.Х. – за мотивацию и ценные советы.

### **Библиография**

1. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрислоистой генерации газа / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2006. № 11. С. 76-80.
2. Концепция мониторинга и оптимизации процесса заводнения нефтяных пластов при неустойчивости фронта вытеснения / Арефьев С.В. и др. // Нефтяное хозяйство. 2021. № 11. С. 104-109.
3. Синергетические эффекты при системном воздействии на залежь терморехимическими методами / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2002. № 11. С. 61-65.
4. Патент на изобретение RU 2125154 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Панахов Г.М. и др. // 20.01.1999. Заявка № 97109104/03 от 16.06.1997.
5. Патент на изобретение RU 2142557 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Брезицкий С.В. и др. // 10.12.1999. Заявка № 99113100/03 от 29.06.1999.
6. Патент на изобретение RU 2105136 С1. Способ определения местоположения застойных и слабодренлируемых зон нефтяной залежи / Максимов М.М. и др. // 20.02.1998. Заявка № 97114425/03 от 03.09.1997.
7. Шахвердиев А.Х. Еще раз о нефтеотдаче // Нефтяное хозяйство. 2014. № 1. С. 44-48.
8. Шахвердиев А.Х. Некоторые концептуальные аспекты системной оптимизации разработки нефтяных месторождений // Нефтяное хозяйство. 2017. № 2. С. 58-63. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-2-58-63
9. Shakhverdiev A.Kh., Shestopalov Yu.V. Qualitative analysis of quadratic polynomial dynamical systems associated with the modeling and monitoring of oil fields // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2019. Т. 40. № 10. С. 1695-1710. DOI: 10.1134/S1995080219100226
10. Shestopalov Y., Shakhverdiev A. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.

*Совершенствование закачки водогазовых смесей с применением насосно-эжекторных систем*

*Горелкина Е.И.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, [gorelckina.evgenia@yandex.ru](mailto:gorelckina.evgenia@yandex.ru)),  
Д.т.н., профессор Дроздов А.Н. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, [Droz dov\\_AN@mail.ru](mailto:Droz dov_AN@mail.ru))*

**Аннотация**

Предлагается комплекс технических решений по совершенствованию водогазового воздействия с применением насосно-эжекторных систем. Для эффективного воздействия на пласт необходимо реализовывать закачку водогазовой смеси в скважины, вскрывающие участки пласта с наибольшими остаточными запасами (в скважины с максимальными запасами – смесь с наибольшим газосодержанием из области рациональных значений). При этом в качестве источника газовой фазы может использоваться попутно добываемый газ, азот. Также приводится описание насосно-эжекторной системы для использования попутного газа из затрубных пространств добывающих скважин. Для эффективной работы системы необходимо подбирать элементы системы, которые будут эксплуатироваться с максимальным КПД при промысловых условиях. Приводятся результаты экспериментальных исследований эжекторов: КПД эжектора имеет непосредственную связь с величиной минерализации рабочей жидкости, а также давлением на входе.

**Ключевые слова**

Заводнение, водогазовое воздействие, насосно-эжекторные системы, увеличения нефтеотдачи, закачка нефтяного газа.

**Теория**

Низкая нефтеотдача, высокая обводненность многих месторождений, ввод в эксплуатацию месторождений трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), а также ущерб, наносимый окружающей среде при сжигании попутного газа на факелах месторождений, обуславливают актуальность исследований методов увеличения нефтеотдачи, а также способов их реализации [1-10]. Водогазовое воздействие (ВГВ) с применением насосно-эжекторных систем (НЭС) является перспективным методом увеличения нефтеотдачи, который может быть реализован при разработке залежей различного геолого-геофизического строения как на вводимых в разработку объектах, так и при разработке остаточных запасов.

Данные фильтрационных исследований кернов различных промысловых объектов показали, что при вытеснении остаточных запасов водогазовой смесью максимальный КИН может быть достигнут в случае, когда газосодержание смеси в пластовых условиях стремится к значениям 13–20%. Для внедрения ВГВ рекомендуется проводить фильтрационные исследования для определения области рациональных газосодержаний для условий конкретного промысла.

Также были проведены исследования влияния минерализации рабочей жидкости на свойства водогазовых смесей. Оказалось, что добавление некоторых электролитов способствует подавлению коалесценции пузырьков газа. Обнаружено, что для каждой критической концентрации (концентрация электролита, при повышении которой эффект подавления коалесценции прекращается) существуют значения предельного расхода газа. Наличие предельной концентрации показывает, что существует область рациональных минерализаций, в пределах которой при повышении минерализации эффект подавления коалесценции усиливается. Подавлению коалесценции способствует увеличение давления в системе. Важность изучения поведения газовых пузырьков в жидкости при влиянии комплекса внешних факторов

объясняется следующим образом: закачка водогазовой смеси предотвращает образование газовых пробок в залежи.

С увеличением минерализации рабочей жидкости с добавлением электролитов (которые способствуют подавлению коалесценции) улучшаются напорно-энергетические характеристики жидкостно-газового эжектора – принципиального составляющего элемента НЭС. Это явление объясняется улучшением энергообмена между рабочим и пассивным потоками в камере смешения эжектора. Также с уменьшением газосодержания  $\beta_{вх}$  на входе в дожимной насос увеличивается развиваемое насосом давление  $P_n$ . Однако в случаях, когда невозможно применение минерализованной воды, рекомендуется подбирать состав и концентрацию ПАВ, что позволит увеличить развиваемое дожимным насосом давление и эффективно воздействовать на остаточные запасы.

Актуальной проблемой является скапливание ПНГ в затрубных пространствах добывающих скважин. Предлагается НЭС, которая содержит линии подачи газа из затрубных пространств добывающих скважин в эжектор. Также газ сепарируется из продукции скважин и подаётся в эжектор для смешивания с водой. Для регулирования газосодержания в систему включают частотно-регулируемые приводы. При увеличении частоты увеличиваются подачи и развиваемое дожимным насосом давление, что приводит к снижению давления на выходе из эжектора и увеличению его подачи. С целью повышения эффективности системы изучена возможность повышения КПД эжектора при изменении режимных параметров. За счёт регулирования давления нагнетания жидкости удалось достичь величины КПД эжектора 48,2% – наивысшее значение на сегодняшний день. При этом повышение давления расширяет рабочую область эжектора и системы в целом.

Т.к. ВГВ является методом разработки ТРИЗ, необходимо учитывать геологическое строение залежи. Анизотропия по пористости и проницаемости, наличие дизъюнктивных нарушений приводит к неравномерности распределения запасов по породе. Разработана компоновка НЭС, которая позволяет получать водогазовую смесь, содержащую низконапорный ПНГ, далее смесь направляется в сепаратор, часть воды и отсепарированный газ направляются в дожимную НЭС, которая создаёт водогазовую смесь с повышенным газосодержанием. Смесь предполагается закачивать в скважины, которые вскрывают зоны пласта с наибольшими остаточными запасами. При этом в иные скважины нагнетается вода. Данное решение особо актуально в случаях, когда получение большего количества смеси с необходимым газосодержанием (для закачки в большее количество скважин) технически невозможно, либо экономически нерентабельно (рис. 1).

Для наиболее эффективного ВГВ необходим способ, который позволит учитывать расход закачиваемого агента в каждую скважину. На Самодуровском месторождении предлагалось использовать многофазные ультразвуковые расходомеры «Ульттрафлоу», однако из-за дороговизны устройств реализовать идею не удалось. Поэтому рекомендуется снабжать насосно-эжекторные системы диафрагмами – устройствами для контроля расходов закачиваемого агента в каждую из нагнетательных скважин.

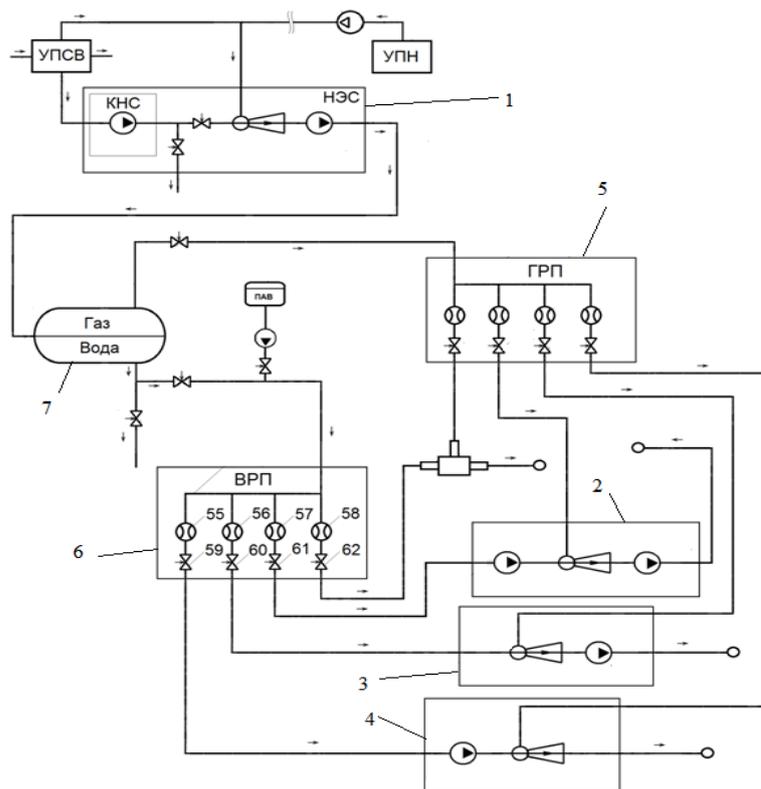


Рисунок 1. Принципиальная схема устройства для рациональной закачки: 1 – насосно-эжекторная система, 2, 3 и 4 – дожимные насосно-эжекторные системы, 5 и 6 – газо- и водораспределительные пункты, 7 – сепаратор

### Выводы

Разработана новая технология проведения водогазового воздействия на пласт при откачке затрубного газа с применением насосно-эжекторной системы, которая имеет лучшие функциональные возможности, более широкую область применения по сравнению с прежними решениями, и позволяет повысить эффективность процесса добычи нефти, увеличить нефтеотдачу и обеспечить более высокие дебиты скважин.

Стендовыми исследованиями подтверждена возможность реализации предложенной насосно-эжекторной системы для водогазового воздействия с использованием затрубного газа добывающих скважин в широком диапазоне изменения значений давления рабочей жидкости. При экспериментальных исследованиях получена величина максимального КПД эжектора 48,2 %, что является наивысшим показателем на сегодняшний день.

Предлагаемый комплекс решений способствуют активному внедрению данной технологии на промыслах и расширению области её применения. Использование попутного газа позволяеткратно сократить объёмы его нерационального использования, снизить углеродный след, увеличить нефтеотдачу и прибыль компаний-разработчиков.

### Библиография

1. Высокоэффективная технология повышения нефтеотдачи и интенсификации добычи нефти на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 90-95.
2. Инновационная технология извлечения остаточных запасов углеводородов внутрипластовой генерацией диоксида углерода / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2010. № 6. С. 44-47.

3. Интегративная эффективность воздействия на пласт при внутрипластовой генерации газа / Панахов Г.М. и др. // Нефтяное хозяйство. 2006. № 11. С. 76-80.
4. Патент на изобретение RU 2105136 С1. Способ определения местоположения застойных и слабодренлируемых зон нефтяной залежи / Максимов М.М. и др. // 20.02.1998. Заявка № 97114425/03 от 03.09.1997.
5. Патент на изобретение RU 2125154 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Панахов Г.М. и др. // 20.01.1999. Заявка № 97109104/03 от 16.06.1997.
6. Патент на изобретение RU 2142557 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Брезницкий С.В. и др. // 10.12.1999. Заявка № 99113100/03 от 29.06.1999.
7. Патент на изобретение RU 2244110 С1. Способ разработки нефтяной залежи / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М. // 10.01.2005. Заявка № 2003110568/03 от 13.06.2002.
8. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В. Концепция мониторинга и оптимизации процесса заводнения нефтяных пластов при неустойчивости фронта вытеснения // Нефтяное хозяйство. 2021. № 11. С. 104-109.
9. In-situ generation of carbon dioxide: new way to increase oil recovery / Gumersky Kh.Kh., and al. // В сборнике: Proceedings of the European Petroleum Conference. European Petroleum Conference (EUROPEC). Paris, France, 2000. С. 499-504.
10. Shestopalov Y., Shakhverdiev A. Qualitative theory of two-dimensional polynomial dynamical systems // Symmetry. 2021. Т. 13. № 10.

*Research on optimizing the content of lost circulation materials for polymer mud system drilling in  
the basement of Bach Ho field*

*Truong Van Tu\*, Nguyen Tien Hung, Nguyen The Vinh*

*Hanoi University of Mining and Geology, e-mail:truongvantu@hmg.edu.vn*

**Abstract**

One of the common technical problems that encountered during drilling through the fractured Basement formation at the Bach Ho field is the loss of drilling fluid. Such technical problems not only result of loss a large volume of drilling fluid but also lead to other technical issues such as: instability of the wellbore, stuck pipe, alteration of the natural permeability characteristics of the formation, etc., consequently increasing operations time and cost, and affecting future production efficiency. While the method of using polymer mud system with LCM additives is more environmentally friendly towards the production formation as it limits the volume of influx drilling fluid, it faces challenges in selection of type and optimal concentration of LCM additives. Therefore, researching the selection of LCM additives as well as their optimal concentration to mitigate drilling fluid loss in the Basement at the Bach Ho field managed by the Vietnam-Russia oil and gas joint venture Vietsovpetro is crucial and necessary. The authors of this study utilized both theoretical research methods and experimental methods in the laboratory to test various additives such as rice husk ash, coconut husk, and calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), followed by determining their suitable concentrations when added to the base drilling fluid. The research results indicate that the new drilling fluid system, after adding the studied additives at the determined concentrations by the authors, effectively mitigates drilling fluid loss. This is demonstrated through the additives' ability to seal fracture and resist fluid loss under differential pressure conditions similar to those encountered in oil fields.

**Keywords**

Lost circulation, Fractured basement, Tampon, Husk, Coconut fiber and Calcium carbonate.

**Theory**

**Lost Circulation in Drilling Operations at the Bach Ho Field**

Loss of drilling fluid while drilling through the fractured basement reservoir of the Bach Ho field is always noted at the most complex level, causing many consequences not only for the drilling process but also for the subsequent production operations since this is the largest oil reservoir of the field. Loss of drilling fluid occurs when the hydrostatic pressure in the wellbore is greater than the formation pressure, drilling through fractured zones, weak formation. In the Bach Ho filed, the fractured basement formation is located at a depth of 3000 - 5000m, with predicted pressure in the range of 300 - 400 atm., and temperatures between 120 - 150°C. In the influence of these factors (especially at high temperatures), the drilling fluid invade tends to become diluted (due to the decomposition of polymers), a flow of drilling fluid into the formation, causing significant fluid loss [5,6].

The basement reservoirs with its characteristic fractures and cavities, currently has a formation pressure in the range of 0.8 to 0.9 times of the hydrostatic pressure, the bottom temperature of about 150°C. When penetrated through the basement formation, the fluid loss occurs in the varying level from partial loss to total loss. Based on the results of previous research, the authors group found that the extent of fluid loss in the fractured basement varies by region, depth, following a certain regulation and being related to geological factors such as lithological composition, tectonic destruction, etc. The level of fluid loss at the Central is much greater than that at the Northern. Specifically, fluid loss has not been occurred mainly in the Northern [2,8].

After over 30 years of production, the reservoir pressure has depleted (reaching only 0.80-0.90 of the hydrostatic pressure), leading to a more severe occurrence of drilling fluid loss in the reservoirs. Therefore, two methods are applied to kill the fluid loss including: no return drilling methodology with

using seawater and pumping lost circulation materials, which are subsequently removed by acid dissolution after drilling.

For the first method, due to the substantial amount of seawater used for no return drilling, this water will directly invade to the reservoir, affecting its natural permeability and reducing future production rates. Hence, this solution is rarely, if ever utilized. The second method, the Vietnam-Russia joint venture (Vietsovpetro) use polymer mud system with a clay content of 100-150 kg/m<sup>3</sup> combined with lost circulation materials, such as rice husk with a content of 15-50 kg/m<sup>3</sup>. However, this method still has some limitations. For instance, the inappropriate content of rice husk may increase the risk of drill string stuck, and the ability to limit fluid loss may not be sufficiently high, with fluid losses of up to 30 thousand cubic meters and lost circulation material volumes of up to 10 thousand cubic meters per year [3,4]. Therefore, it's crucial to determine the appropriate content of lost circulation materials to ensure the required sealing ability, limit fluid loss, reduce the risk of drill string stuck, and enhance fluid loss control capability.

### **Research Methodology**

The authoring team conducted material selection and experimentation on Lost Circulation Materials (LCM) as well as single-phase drilling fluid formulations at the Drilling Fluid Laboratory of the Research Institute of Petroleum Industry (NIPI). We utilized LCM test device laboratory equipment to select appropriate fluid loss prevention materials and formulate suitable single-phase drilling fluids.

The base fluid used in this experiment is bentonite, with the main components being bentonite and CMC-HV with a viscosity in the range of 100-120s [7,9]. Bentonite combined with rice husk and CaCO<sub>3</sub> enhances the sealing ability in lost circulation zones due to their different particle sizes and shapes (flakes, granules). The biopolymer CMC-HV possesses thermal stability to minimize clay content. Rice husk, coconut fiber, and calcium carbonate have flexible characteristics, facilitating their movement into various-sized fractures, easy decomposition by microorganisms, acid solubility, and convenience for cleaning the wellbore bottom after completion operations.

The experimental procedure was conducted following the instructions for the LCM and the method for testing drilling fluid loss prevention materials using models of fractures and steel balls [8]. The team conducted experiments with two models: models of various fractures with widths ranging from 1mm to 4mm to assess the sealing ability of the fluid; and hollow models created by steel balls in the casing with diameters of 4.39mm and maximum permeability of  $K = 200$  Darcy, and 14.3mm with maximum permeability of  $K = 2000$  Darcy to evaluate sealing and leakage prevention capabilities.

For the experimental steps involving fractures model, the team varied the concentrations of rice husk as lost circulation materials from 5-40 g/l, and coconut fiber from 5-10 g/l. For the experimental step with hollows model, we varied the concentration and type of CaCO<sub>3</sub> as presented in Table 3. The experiments were conducted at room temperature conditions, with pressure differentials ranging from 0.69 to 6.9 MPa.

### **Results and Discussion**

After conducting experiments with fractures model, the team recorded, statistically analyzed, synthesized, and presented the results obtained in figure 1 and figure 2. The results of experiments with fracture model:

- For the 3 fracture model with sizes of 1, 2, and 3mm, with drilling fluid samples containing only rice husk at concentrations ranging from 5-40 g/l, no bridging material formed in the fractures (see Figure 1).

- For the 4 fracture model with sizes of 1, 2, 3, and 4mm, when coconut fiber was added at concentrations ranging from 5-10 g/l while maintaining rice husk concentration at 5 g/l, bridging materials began to form. However, when the coconut fiber concentration was increased to 10 g/l, no bridging materials were formed (see Figure 1).

- For the 3 fracture model with sizes of 1, 2, and 3mm, when adjusting the rice husk concentration to 10 g/l and coconut fiber concentration to 5 g/l, bridging materials began to form in the fractures under

a pressure differential of 0.69 MPa, and completely bridged the fractures under a pressure differential of 6.9 MPa (see Figure 2).

- For the fracture model with a size of 4mm, with rice husk concentration of 10 g/l and coconut fiber concentration of 5 g/l, bridging materials began to form under a pressure differential of 1.5 MPa, but these bridging materials were destroyed under a pressure differential of 4.0 MPa (see Figure 2).



Figure 1. No bridging material formed in the fractures



Figure 2. Bridging material formed in the fractures

The experiments results indicated that, for small fractures ranging from 1 to 3 mm, the bridging materials remained intact under high pressure differentials and high permeability conditions. However, for fractures with a width of 4 mm, these bridging materials were disrupted under high pressure differentials (>4.0 MPa) and high permeability conditions.

Therefore, we conducted additional experiments by adding different types of  $\text{CaCO}_3$  (C, M, F) to enhance the sealing ability of the bridging layer, thus increasing the fluid loss prevention capability of the base fluid. By adding these types of  $\text{CaCO}_3$  to the above-mentioned fluid, the varied particle sizes (ranging from 10 to 1000  $\mu\text{m}$ ) and shapes (granules, flakes) of  $\text{CaCO}_3$  increased the bridging and sealing ability of the base fluid in crack networks. The results of the experiments testing the sealing ability of the fluid after the addition of various types of  $\text{CaCO}_3$  are presented in figure 3. The results of experiments with hollow models created by steel balls indicate:

- For the hollow model created by steel balls with a diameter of  $D = 4.39$  mm, no bridging materials were formed and the sealing capability was low for drilling fluid samples containing only coconut fiber and rice husk.

- When various types of  $\text{CaCO}_3$  were added at different concentrations, the formation of bridging materials and increased sealing capability were observed (Figure 3) when coconut fiber and  $\text{CaCO}_3$  were added at precise concentrations: 60 g/l of type M  $\text{CaCO}_3$ , 40 g/l of type C  $\text{CaCO}_3$ , and 20 g/l of coconut fiber.

- For the hollow model built by steel balls with a diameter of  $D = 14.3$  mm, equivalent to a permeability of 500 Darcy, no bridging materials were formed, and the sealing capability was very low even after various concentrations of bridging materials were added.



Figure 3. Modeling using steel balls with a diameter of 4.39 mm

Therefore, based on the results of the two experiments, the authors observed that the environments have porosity with widths in the range of 1 mm to 4 mm, permeability ranging from 35 to 140 Darcy, to enhance the waterproofing and sealing capability, only adding rice husk and coconut fiber with concentrations of: 10 g/l rice husk and 5 g/l coconut fiber is necessary. For reservoir have porosity with permeability ranging from 200 to 500 Darcy, to increase the waterproofing capability of the drilling fluid, it is necessary to additionally add coconut fiber with a concentration of 20 g/l and various types of CaCO<sub>3</sub> with concentrations: Type M CaCO<sub>3</sub> 60 g/l, Type C CaCO<sub>3</sub> 40 g/l.

### **Conclusions**

Based on the analyses and experimental results, the authors propose the following conclusions and recommendations:

- For fracture zones with crack widths ranging from 1 to 4 mm and permeability from 35 to 140 Darcy, the authors suggest using a polymer bentonite solution containing LCM with the following concentrations and types: 10 g/l rice husk and 5 g/l coconut fiber.
- For fracture zones with permeability ranging from 200-500 Darcy, the recommended solution is a polymer bentonite solution containing LCM with the following concentrations and types: 60 g/l Type M CaCO<sub>3</sub>, 40 g/l Type C CaCO<sub>3</sub>, and 20 g/l coconut fiber.
- For fracture zones with permeability above 500 Darcy, using a polymer bentonite solution containing LCM is deemed unfeasible and ineffective. The authors propose researching alternative modern drilling methods that do not compromise the natural permeability characteristics of the formation.

### **References**

1. Report on technology diagram for adjusting exploitation and construction of Bach Ho field, 2013. Volume I, III, Vietnam - Russia oil and gas joint venture.
2. Nguyen Lam Anh, Tran Xuan Dao, 2018. *Oil and gas exploration and exploitation in basement rock of Bach Ho field - Volume 2 Drilling technology and Exploitation technology*, Ho Chi Minh City National University Publishing House, 347 pp.
3. Tran Xuan Dao, Nguyen Thanh Truong, Nguyen Quoc Phong, Vu Van Hung, 2008. *Summary report on drilling work in fractured basement rock of Bach Ho field- Vietsopetro*, Vung Tau.
4. Nguyen Van Khuong, 2015. *Research to perfect drilling technology for wells in Bach Ho field fracture foundation using drill bits smaller than 7 inches*, Doctoral thesis.
5. Конесев Г.В., Мавлютов М.Р., Спивак А.И., Мулюков Р.А., 1993. *Смазочное действие сред в буровой технологии*. Недра, Москва, -272 с.
6. Рязанов Я.А., 2005. *Энциклопедия по буровым растворам*. Оренбург: «Летопись», -664 с.
7. VSP-000-РК-637, 2016. *Регламент буровых растворов при проводке скважин на месторождениях СП Вьетсовпетро*.
8. Отчёт о научно-исследовательской работе тема IV.1, 2017. *Совершенствование существующих и внедрение новых технологий строительства и КРС*, Вунгтау, VSP.
9. РД VSP-000-РК-650, 2017. *Технические требования к качеству и основные методики проведения лабораторных испытаний химических реагентов и материалов для бурения, капитального ремонта и кислотной ОПЗ скважин в СП Вьетсовпетро*.

**СЕКЦИЯ 6.**  
**ГЕОЛОГИЯ ТВЁРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕММОЛОГИЯ**  
**Подсекция 6.1. Геология МПИ**

*Спектры фотолюминесценции вторичных кальцитов в породах холомолохской свиты  
верхнего кембрия Сюльдюкарского поля и площади Улахан-Курунг-Юрях Мало-*

*Ботуобинского района Якутии*

*Попов Е.М\* (МГРИ, Egor\_porov02@mail.ru),*

*Игнатов П.А. (МГРИ, petrignatov@gmail.ru),*

*Еременко Р.У. (МГРИ, eremenko-ruslan@mail.ru)*

**Аннотация**

Впервые получены многочисленные спектры фотолюминесценции (далее ФЛ) кальцитов из прожилков и друз, отобранных из карбонатных и терригенно-карбонатных пород холомолохской свиты верхнего кембрия по керну Сюльдюкарского кимберлитового поля Ыгыятинского и поисковой площади Улахан-Курунг-Юрях Мало-Ботуобинского районов Якутии. Среди более чем ста спектрограмм установлены фоновые и аномальные спектры. Выявлена закономерная приуроченность аномальных спектрограмм ФЛ от интенсивности спектров ФЛ вторичных кальцитов в породах из околотрубочного пространства Сюльдюкарских кимберлитов и отсутствие таковых на поисковой площади Улахан-Курунг-Юрях.

**Ключевые слова**

Кальциты, спектральный анализ, фотолюминесценция, Сюльдюкарское кимберлитовое поле, поисковая площадь.

**Теория**

Объектами исследований являлись авторские коллекции кальцитов из пород холомолохской свиты верхнего кембрия, вмещающих кимберлиты Сюльдюкарского алмазоносного поля, расположенного в пределах Ыгыятинского района, и из той же свиты поисковой площади Улахан-Курунг-Юрях, находящейся на северо-западном краю Мало-Ботуобинского района Якутской алмазоносной провинции. Прожилки и друзы кальцита широко распространены в карбонатных породах кембрийских и ордовикских толщ, вмещающих кимберлиты Якутской алмазоносной провинции. В процессе специальной документации керна проводится описание и отбор проб кальцита для дальнейшего проведения люминесцентного анализа и картирования [Игнатов, Новиков 2019]. По Сюльдюкарскому полю коллекция включала 128 проб, по площади Улахан-Курунг-Юрях – 44. Сравнимые объекты изучены примерно по одинаковой сети поискового бурения и сопоставимы по размерам и имеют схожее геологическое строение. Пробы кальцитов отбирались без сгущения из скважин, охватывавших все площади, то есть более или менее представительно [Климцев и др., 2022].

Анализ ФЛ и флуоресценция (ФФ) проводился с использованием прибора ОИ-18 с лампой СВД-120 и фильтром УФС-2. По результатам анализов составлена база данных и дополнен имеющийся геоинформационный проект в программе QGIS.

В Сюльдюкарском поле имеется небольшая кимберлитовая трубка. Установлено, что в пределах ближнего околотрубочного пространства (до 200 м. от трубки) Сюльдюкарского поля преобладает красная ФЛ и присутствует некоторое количество кальцитов с голубой ФЛ. Для дальнего околотрубочного пространства (до 1.5 км. от трубки) отмечается подавляющее количество кальцитов с оранжевой ФЛ, а кальцитов с голубой ФЛ в три раза меньше. Для остального поля характерны кальциты с белой ФЛ (*Рисунок 1*).

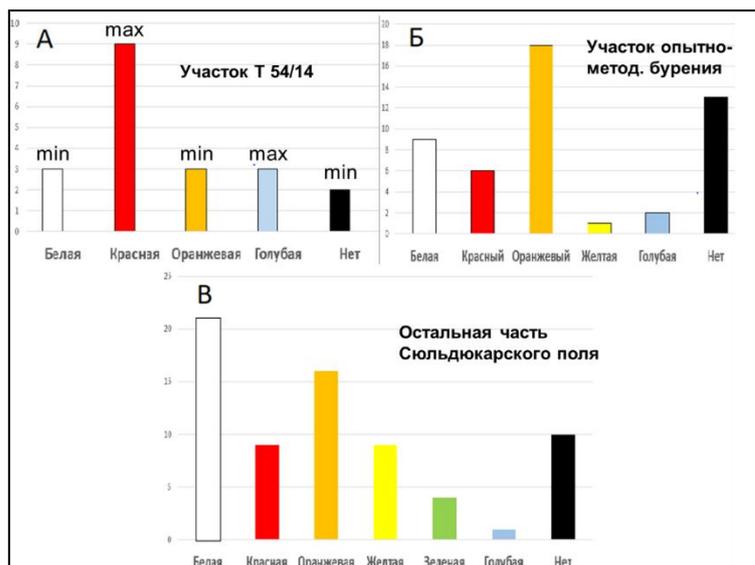


Рисунок 1. Гистограмма кальцитов разных цветов флуоресценции Слюдюкарского кимберлитового поля трёх выделенных групп: ближнего околотрубчатого пространства (А); дальнего околотрубчатого пространства (Б); фон (В). По вертикали показано относительное количество измерений

На площади Улахан-Курунг-Юрях кимберлиты не обнаружены и имеется мало перспектив их нахождения. Здесь гистограмма цветов ФЛ кальцитов (Рисунок 2) соответствует фону слюдюкарского поля.

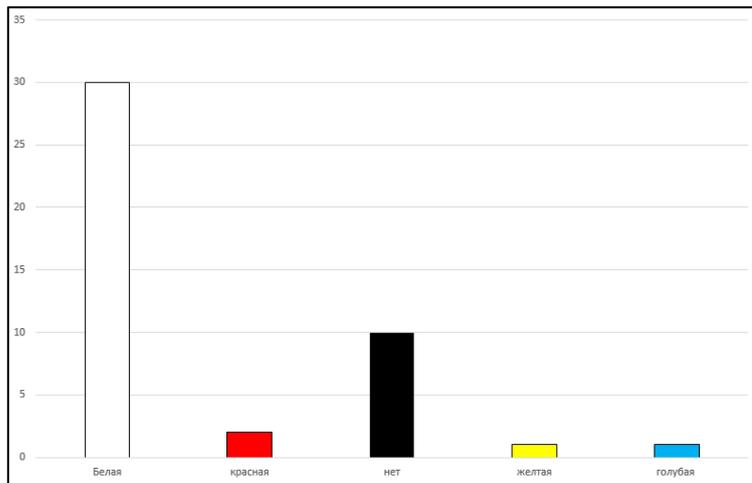


Рисунок 2. Гистограмма разных цветов ФЛ кальцитов поисковой площади Улахан-Курунг-Юрях. По вертикали показано относительное количество измерений

Получены спектрограммы ФЛ по всей коллекции кальцитовмс применением лазерного УФ возбуждителя и чувствительного спектрального приемника ЛЭСА-01 БИОСПЕК с использованием программы «UnoMomento». Принцип работы следующий: пучок ультрафиолетового лазера подается на поверхность кальцита, что возбуждает его ФЛ. Спектрограммы фл отражают интенсивность в диапазоне частот 400-900ТГц.

Спектры ФЛ подобных кальцитов из осадочных пород нижнего палеозоя, вмещающих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии приведены в работе А.М.Шмонова [2014].

По рентген-флуоресцентным анализам и ЭПР-спектрам монофракций таких кальцитов с определенными цветами люминесценции удалось установить, что желтая, фиолетово-красная, розовая, оранжевая и красная ФЛ обусловлена изоморфной примесью  $Mn^{2+}$  в количестве более 700-1000 г/т [Игнатов и др., 2018, Шмонов, 2014, Штейн, 1997]. Также показано, что голубая ФЛ обусловлена примесью  $Y$  и, возможно,  $Eu^{2+}$ , которые связаны с проявлением глубинного магматизма [Шмонов, 2014]. Полученные новые данные по ICP AES части Сюльдюкарской коллекции подтверждают это положение.

По Сюльдюкарскому полю получено 84 спектра ФЛ кальцитов, по площади Улахан-Курунг-Юрях - 44. По Сюльдюкарскому полю выделяются три типичных формы спектрограмм: А – характеризуется прямой формой спектрограммы в пределах всего спектра частот видимого света (5 проб); Б – снижение интенсивности спектрограммы от его максимального значения к минимальному в направлении от низких частот к высоким (19 проб); В – характеризуется двумя экстремумами в пределах частот 550 и 860 ТГц (60 проб) (Рисунок 3). Для кальцитов Сюльдюкарского поля со спектрограммами ФЛ третьего типа характерны красная ФЛ. Среди них встречены 4 спектрограммы с аномально высокими интенсивностями экстремумов (Рисунок 4). Из них 2 находятся вблизи кимберлитов, 3 на расстоянии порядка 1500 м. на ЮВ, а 4 порядка 1500 м. на СВ.

Подобные спектрограммы ФЛ присутствуют и на площади Улахан-Курунг-Юрях. Количество проб со спектрограммой А – 6, Б – 6, В – 32. На обеих площадях преобладают спектрограммы В-типа, однако аномальных спектрограмм на площади Улахан-Курунг-Юрях не выявлено.

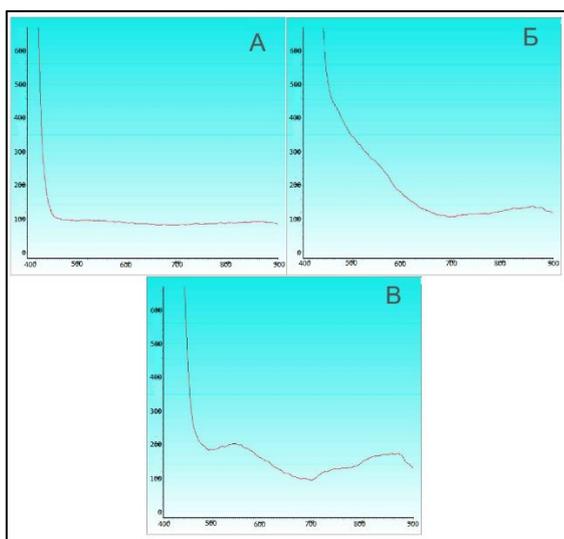


Рисунок 3. Типы спектрограмм ФЛ кальцитов Сюльдюкарского кимберлитового поля. (Ось абсцисс – частота регистрируемого свечения в ТГц, ось ординат- интенсивность регистрируемого свечения в Люменах)

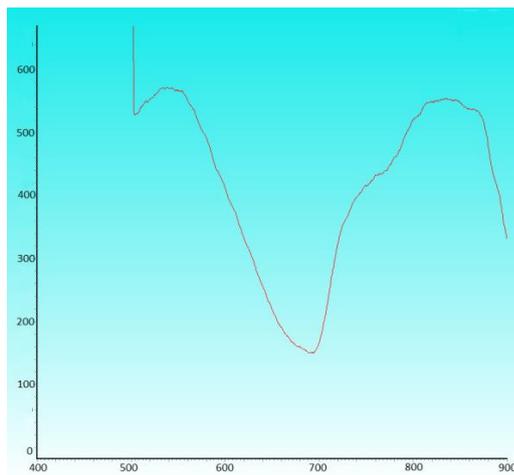


Рисунок 4. Спектрограмма аномальной интенсивности ФЛ в ближнем околотрубочном пространстве Сюльдюкарского кимберлитового поля. (Ось абсцисс – частота регистрируемого свечения в ТГц, ось ординат – интенсивность регистрируемого свечения в Люменах)

### **Выводы**

Впервые в пределах поисковых площадей для прожилковых и друзовых кальцитов получены 128 спектрограмм ФЛ трех типов: 1 – без изменения энергетического спектра, 2 – экспоненциальное её уменьшение согласно увеличению частоты, 3 – с двумя энергетическими экстремумами. На обеих площадях преобладает 3 тип.

Помимо этого, на Сюльдюкарском поле выявлено 4 аномальных спектрограммы, локальный максимум которых в два раза выше, чем средние их значения, расположенные в ближнем околотрубочном пространстве и в пределах полутора километров от кимберлитовых тел. Удалось установить, что спектрограммы второго зачастую принадлежат кальцитам с белой и голубой ФЛ, типы 1 и 3 встречаются у кальцитов с ФЛ имеют кальциты со всеми цветами свечения.

### **Библиография**

1. Еременко Р.У. Мишин И.А., Томаровская М.А., Игнатов П.А. Сравнение характеристик фотолюминисценции кальцита из его прожилков и друз на примере Сюльдюкарского кимберлитового поля и поискового участка Улахан-курунг-Юрях. - Москва : X Международная научная конференция молодых ученых "Молодые - наукам о земле", 2022. с
2. Игнатов П.А., Кряжев С.Г., Толстов А.В., Мальцев М.В. Признаки скрытых структур в осадочных толщах, вмещающих месторождения алмазов Накынского поля Якутии. Горный журнал. 2018, № 11, с. 18-23..
3. Игнатов П. А., Новиков К. В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя. Методическое руководство – Мирный, 2019. – 76 с. ISBN 978-5-6041056-1-0.
4. Климцев П.В., Еременко Р.У., Игнатов П.А., Поляков В.М. Количественный анализ геологических признаков двух площадей – с кимберлитом и без такового. III Молодежная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ (10-12 апреля 2022 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ») Сборник тезисов докладов Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. М. ЦНИГРИ. 2022. С. 87-91
5. Шмонов А. М. Геолого-структурные признаки и минералого-геохимические признаки, присущие алмазоносным кимберлитовым телам дайково-жильного типа(на примере накынского кимберлитового поля Якутии). Диссертация на соискание ученой степени кандидата

геолого-минералогических наук. М. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2014.

6. Штейн Я.И. Геологические особенности околотрубчатого пространства кимберлитов Якутии как критерии оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, МГГА-МГРИ. 1997.

***Вещественные особенности шлихового золота ручья Ветвистый (Момский улус, Якутия)  
как индикатор природы источника аллювиальной россыпи  
Прасолов А.М.\* (ФГБОУ ВО МГРИ, [prasolov00@yandex.ru](mailto:prasolov00@yandex.ru)),  
Владимирцева О.В. (ИГЕМ РАН, [olga\\_9\\_4@mail.ru](mailto:olga_9_4@mail.ru))***

**Аннотация**

Целью исследований является изучение вещественных характеристик золота и обнаружение зависимости наличия высокопробных кайм с различными параметрами золотин. Для оценки характеристик аллювиального золота был исследован химический состав золотин методом электронно-зондового микроанализа. Описаны крупность золотин ручья, их форма, пробность и степень окатанности. В результате исследования подтверждается, что золото поступает в ручей Ветвистый из промежуточного коллектора.

**Ключевые слова**

Россыпи золота, третичные отложения, высокопробные каймы, промежуточный коллектор.

**Теория**

Ручей Ветвистый, расположенный в 400 км к юго-востоку от посёлка Батагай Момского района Республики Саха (Якутия), является правым притоком реки Селеннях. Ручей представляет собой водоток 2-го порядка с U-образной долиной. Аллювий представлен песчано-галечными отложениями мощностью от 1 м (в верховьях) до более 3 м (в нижнем течении). Породы плотика представлены песчаниками уяндинской свиты. В ходе шлихового опробования установлено, что аллювиальные отложения по всей протяжённости руч. Ветвистый включают в себя россыпное золото. Наибольшие, в том числе весовые, содержания золота установлены в русловых и террасовых отложениях в среднем течении руч. Ветвистый.

Уяндинская свита выполняет основание Момо-Селенняхской, Берелехской и Томмотской впадин, обнажается по их периферии и в наиболее приподнятых блоках. Отложения свиты с угловым несогласием залегают на мезозойских толщах. Уяндинская свита представлена галечниками с прослоями песков разнозернистых, алевритов, присутствуют лигнитизированные растительные остатки [3]. Мощность отложений в обрывах рек до 20–70 м, а в пределах Томмотской впадины, по данным буровых работ, превышает 175 м.

В ходе рекогносцировочных работ в 2020 г. установлено, что неогеновые отложения, дренируемые ручьем Ветвистый, представлены светлыми, почти белыми слабосцементированными галечниками с прослоями в разной степени окаменелых деревьев и редкими маломощными (до 0,2 м) пропластами угля, встречаются окаменевшие шишки хвойных деревьев. Процент валунистости составляет порядка 20 на наблюдаемую мощность (15–20 м), фактически отсутствует глинистый материал. Эти наблюдения подтверждают принадлежность толщи к уяндинской свите [1].

В результате шлихового опробования 2020–2021 гг проводимого в рамках геологического изучения участка «Ветвистый» ООО «Селеннях» [1], было отобрано более 134 шлиховых проб. Установлено [1], что наибольшую промышленную значимость имеют аллювиальные отложения руч. Ветвистый ниже его слияния с руч. Рыжим (относительно большие объемы рыхлого материала и содержания золота от 0,5 до 1,0 г/м<sup>3</sup>). Также золотоносными являются аллювиальные отложения всей долины руч. Ветвистого (в том числе руч. Рыжего и других притоков руч. Ветвистый).

Золотины преимущественно уплощенные. Встречаются зерна различной формы: чешуйчатые, пластинчатые, сложной формы, комковидные, срастания нескольких золотин. На части золотин обнаружены закатанные края (Рис 1). Золото из всех проб обладает высокой

степенью окатанности, полностью отсутствуют сростки золотинок с другими минералами [2]. Большинство золотинок имеют ярко-желтый цвет, однако встречаются зерна и серебристых оттенков (до 30%). Также характерно наличие железистых рубашек на части золотинок (10%). Некоторые зерна сформированы из нескольких золотинок меньшего размера, что наблюдается и невооруженным взглядом, и при исследовании золота под микроскопом

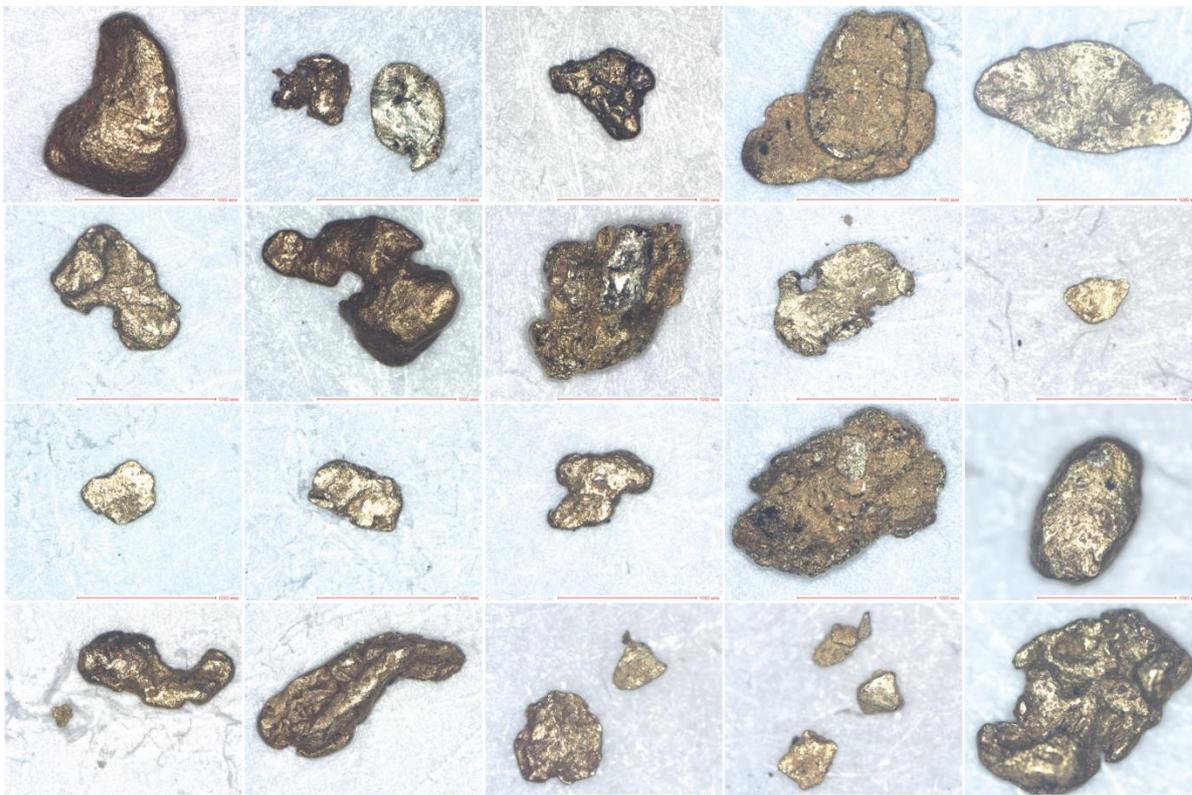


Рисунок 1. Шлиховое золото руч. Ветвистый

Преобладающим классом крупности является  $-0,5 +1,0$  мм, к нему относится 85 весовых процентов всего исследованного золота. Наиболее распространенная форма золотинок – уплощенные, они составляют порядка 90 весовых процентов класса крупности  $-0,5 +1,0$  мм.

Для оценки вещественных особенностей аллювиального золота был исследован химический состав золотинок методом электронно-зондового микроанализа, на микроанализаторе JXA-8200 фирмы JEOL в ЦКП «ИГЕМ-аналитика». Всего было проведено 59 измерений на 23 золотинок, отобранных со слияния руч. Рыжий и руч. Ветвистый. Золотины относятся к различным классам крупности: класса крупности  $-0,25 +0,5$  мм (6 шт),  $-0,5 +1,0$  мм (15 шт),  $-1,0 +2,0$  мм (2 шт).

Установлено (Рис. 2), что золотины относятся к различным группам по пробности: две высокосеребристые золотины (пробность ниже 600‰), 3 относительно низкопробные (пробность от 700 до 800‰), 8 золотинок средней пробности (пробность 800-900‰), 8 высокопробных золотинок (900-950‰) и две весьма высокопробные (выше 950‰). Средняя пробность золота составила 841‰. По данным работ предшественников (Соловьев Г.Г. и др., 1983 г. [4]), пробность золота руч. Ветвистый составила от 766 до 871‰.

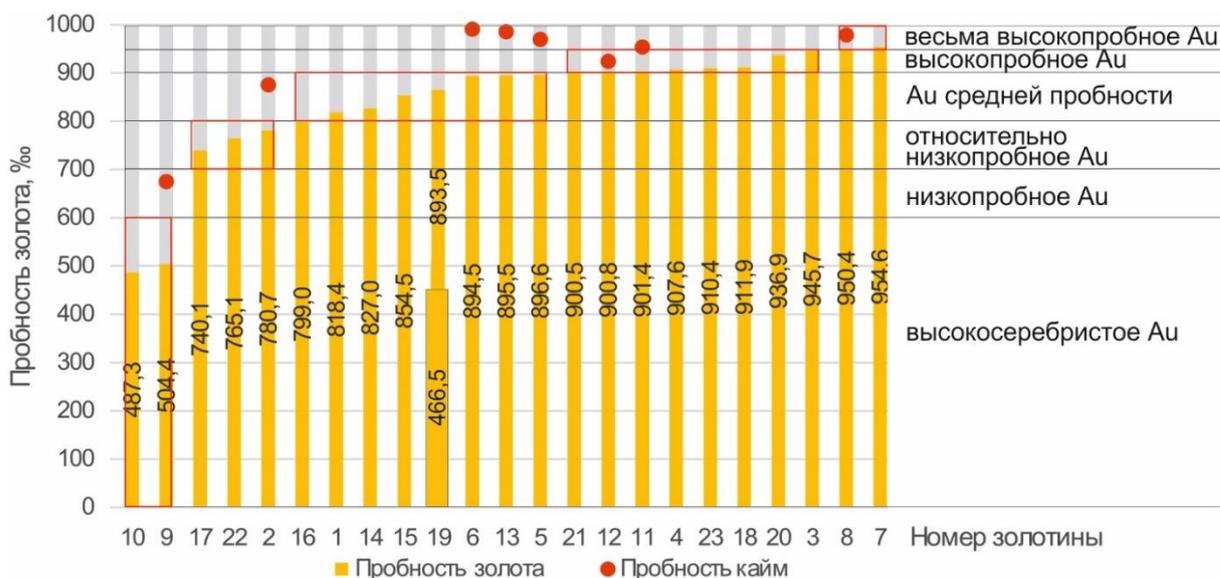


Рисунок 2. Вещественный состав золота руч. Ветвистый

У большинства исследованных (18 из 23) золотинок наблюдается развитие высокопробных оболочек, на 8 зернах измерены значения пробности золота в каймах. Выявленные явные (до 50 мк, Рис. 3) высокопробные каймы свидетельствуют о длительном пребывании золота в зоне гипергенеза. Корреляционная связь между пробностью золота и наличием гипергенных кайм не установлена.

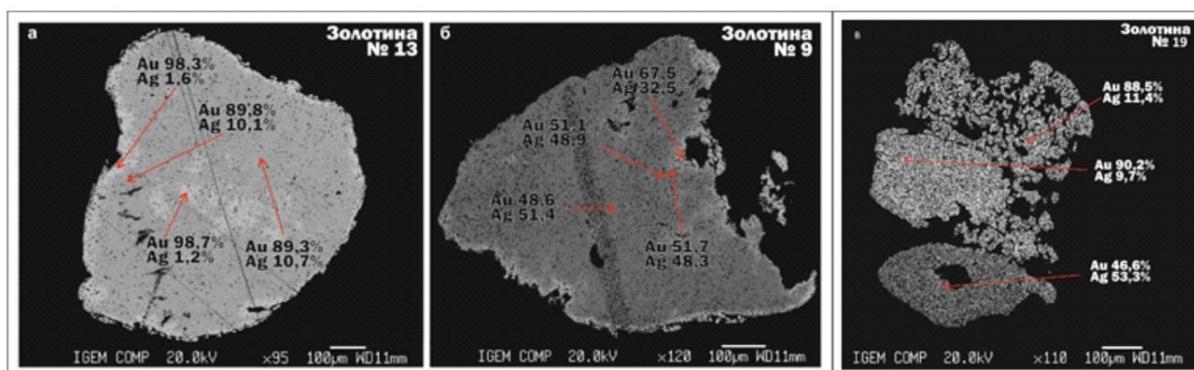


Рисунок 3. Химический состав золотинок по результатам электронно-зондового микроанализа: а) золотины №13 - увеличение 95; б) золотины №9 - увеличение 120, в)-золотина №19, увеличение 110

Также выявлена золотины (Рис. 3.в) состоящая из золота существенно разной пробности. По форме золотины видно, что скорее всего она образовалась в результате слипания и срастания менее крупных золотинок.

В ходе обработки результатов морфологического анализа шлихового золота и анализа полученных данных, было установлено отсутствие зависимости между пробностью золотины, ее классом крупности, формой и наличием высокопробных кайм.

### **Выводы**

Отсутствие корреляционных связей между пробностью, формой и размерами шлихового золота руч. Ветвистого и его притоков указывает на множественность и генетическое различие его потенциальных коренных источников. Отсутствие корреляции между «пробностью/формой/крупностью» золотин и наличием высокопробных кайм указывает на гипергенную природу каемок на шлиховом золоте. Учитывая молодость долины руч. Ветвистый, это свидетельствует о поступлении золота в россыпь из промежуточного коллектора, который длительное время концентрировал в себе золото существенно различной пробности и морфологии. За время нахождения в промежуточном коллекторе шлиховое золото претерпело гипергенные преобразования. Этот вывод подтверждается высокой степенью окатанности золотин, нехарактерной для водотоков низких порядков. Промежуточным коллектором скорее всего являются неогеновые отложения уяндинской свиты.

### **Библиография**

1. Владимирцева О. В., Коноплев В. А., Березнев М. В. Состав и золотоносность неогеновых отложений среднего течения р. Селеннях (Момский, Абыйский районы, Республика Саха (Якутия)). Руды и металлы. 2023. № 1.
2. Прасолов А. М., Владимирцева О. В. Морфологический анализ россыпного золота при прогнозировании нетепличных источников аллювиальных россыпей. Новое в познании процессов рудообразования ИГЕМ РАН. 2023
3. Протопопов Г. Х., Трущелев А. М., Кузнецов Ю. В., Радулевич Я. А. [и др.]. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Листы Q-54 – Усть-Нера. Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2020. – 843 с
4. Соловьев Г.Г., Сикорин В.В., Денисенко Н.М. Отчет о поисковых работах в нижнем течении р. Селеннях в 1980-83 г.г. Батагай. 1983 г. Ф.

*Геологическое строение, минеральный состав и условия образования месторождения  
цеолитов Хонгуруу (респ. Саха)*

*Румянцева А.О. \*(ИГЕМ РАН, rumyantseva.anastasia2017@yandex.ru),  
Кайлачаков П.Э. (ИГЕМ РАН, kplaton@yandex.ru),  
Белоусов П.Е. (ИГЕМ РАН, pitbl@mail.ru)*

**Аннотация**

Работа посвящена изучению геологического строения, минерального состава и условий образования месторождения цеолитов Хонгуруу. В результате полевых и лабораторных работ были уточнены минеральный и химический состав образцов цеолитов, а также их структурно-текстурные особенности и физико-химические свойства. На основании состава обменных катионов проведена типизация цеолитов, рассмотрены их особенности образования. Было установлено, что по минеральному составу выделяются две разновидности цеолитов - гейландит-клиноптилолитовые и преимущественно гейландитовые. Для преимущественно гейландитовых цеолитов характерно повышенное содержание стронция, находящегося в обменной форме в каналах минерала. В генетическом плане цеолиты относятся к вулканогенно-осадочному типу и образовались в результате цеолитизации пеплового материала в мелководных водах с повышенной соленостью.

**Ключевые слова**

Цеолит, гейландит, клиноптилолит, природные сорбенты, генезис.

**Источники финансирования**

Работы выполнены при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-77-10050.

**Теория**

Цеолиты являются важным неметаллическим полезным ископаемым и относятся к группе каркасных алюмосиликатов. Характерными представителями данной группы являются клиноптилолит, морденит, гейландит, шабазит и пр. На территории России выявлено около 120 месторождений и проявлений цеолитсодержащих пород. Государственным балансом запасов в Российской Федерации учитываются 18 месторождений цеолитов с балансовыми запасами категории А+В+С1 — 594 млн т, категории С2 — 799 млн т. [1].

Основной целью данной работы было изучение геологического строения, особенностей минерального состава и условий образования месторождения Хонгуруу. Месторождение Хонгуруу расположено в 22 км к востоку от посёлка Кемпендйя Сунтарского района республики Саха, на правом склоне долины ручья Курун-Юрях в отгорах одноименного небольшого хребта. В структурном плане месторождение располагается на юго-восточном борту Таас-Туусской солянокупольной антиклинальной структуры, где расположены четыре пласта цеолитизированных туфов.

В геологическом строении территории принимают участие девонские вулканогенно-осадочные отложения кемпендйяской свиты (D3km) и верхнедевонско-нижнекаменноугольные терригенные отложения курунгуряхской свиты (D3-C1kr), к которым и приурочена продуктивная толща цеолитов [2, 4] (рис.1). Кемпендйяская свита (D3km) представлена пестроцветными вулканогенно-терригенно-карбонатными породами. Свита подстилается пластом каменной соли и согласно покрывается сероцветными образованиями верхнедевонско-нижнекаменноугольного возраста. Мощность вскрытой части кемпендйяской свиты в разрезе составляет 174 м. В разрезе свиты выделяют первый и второй пласты цеолитовых туфов. Курунгуряхская свита (D3-C1kr) согласно залегает на образованиях верхнего девона. Мощность изученной части 166,3 м. В

разрезе свиты выделяются третий и четвертый пласты цеолитовых туфов. Основная часть разреза сложена карбонатными породами.

Всего на месторождении Хонгуруу выделяются четыре основных пласта цеолитовых туфов. Пласты имеют северо-восточное простирание и моноклинально погружаются под углом 25-45°. Мощность пластов колеблется от 5,6 до 11 м, они залегают согласно с вмещающими их осадочными и вулканогенными породами верхнего девона (D3) и нижнего карбона (C1). Прослежены пласты на расстояние 6-8 км, их строение изучено до глубины 100-160 м. Запасы категории В+С1 составляют 11,4 млн т [2, 4].

Пласт I выходит на дневную поверхность на вершине северного отрога хребта Хонгуруу. Туфы залегают на красноцветных глинистых доломитах и перекрываются туфопесчаниками перекрытыми известковистыми пестроцветными песчаниками. Пласт II вскрывается средней части хребта Хонгуруу и прослежен на расстоянии 6,5 км. Пласт залегают на желто-серых песчаниках и перекрывается пестроцветными алевролитами с пропластами песчаников. От первого пласта разделен толщей терригенных пород мощностью 106м. Пласт III вскрывается на основной вершине хребта Хонгуруу. Пласт представлен цеолитовыми туфами и пластом туфопесчаников, постепенно переходящих в песчаники. Пласт залегают на известняках серого цвета, перекрывается слабоизвестковистыми песчаниками и известняками. От второго пласта разделен толщей терригенно-карбонатных отложений девона- карбона мощностью около 70 м. Пласт IV вскрыт канавами на вершине небольшой высоты, расположенной южнее главного хребта. Цеолиты залегают на серых плотных известняках и перекрываются мергелями черного цвета. От третьего пласта отделяется пачкой карбонатных пород мощностью 50-55 м.

Макроскопически встречаются цеолиты серо-зеленые и бежевые с тонко- и толсто плитчатыми массивными текстурами. Микроскопически породы представляют собой витрокластические и кристалловитрокластические туфы, почти полностью замещенные скрытокристаллическими изотропными минералами цеолитового ряда. При проведении исследования методом сканирующей электронной микроскопии было обнаружено, что зеленые цеолиты имеют однородную плотную структуру, а бежевые разности - рыхлое и пористое строение с туфогенной структурой.

По минеральному составу выделяются как гейландит-клиноптилолитовые, так и преимущественно гейландитовые разности. Содержание цеолитов в породах колеблется в пределах 55 - 82%. Для преимущественно гейландитовых разностей характерно повышенное содержание стронция, который находится в виде обменных катионов в каналах минерала. В виде примесей встречаются смектит, слюдистые минералы, кварц и полевой шпат. По химическому составу цеолиты относятся к высококремнистой разности, соотношение кремнезема к глинозему составляет в среднем 5,6, что является характерным для минералов клиноптилолит-гейландитового ряда.

Емкость катионного обмена цеолитов месторождения Хонгуруу колеблется от 140 до 204 мг-экв/100 г. По составу обменных катионов выделяют щелочные, с преобладанием катионов натрия в каналах цеолита, и щелочноземельные (Mg-Ca). Участки с преобладанием щелочноземельных цеолитов пространственно приурочены к проявлениям гипса. Проведенные эксперименты по сорбции ионов свинца и цезия показали, что наилучшими значениями сорбции обладают щелочные цеолиты однородной плотной структуры, в то время как щелочно-земельные цеолиты с рыхлой и пористой структурой обладают пониженной сорбционной активностью.

Образование цеолитов месторождения Хонгуруу происходило в результате девитрификации вулканических пеплов и туфового материала в мелководных морских прибрежных водах с повышенной соленостью, также с близлежащих гор поступал терригенный и обломочный материал. Туфогенный материал имел реалитовый и дацитовый состав. В периоды активизации вулканической деятельности в регионе и регрессии моря пепловый материал образовывал туфопесчаники и туфоалевролиты. В периоды затопления района исследований

прибрежными морскими водами с повышенной соленостью происходила цеолитизация пеплового материала. Об образовании цеолитов по вулканогенному материалу в прибрежных соленых водах свидетельствуют коренные выходы гипса и каменной соли в районе месторождения, а также реликты вулканического стекла в образцах цеолитов.

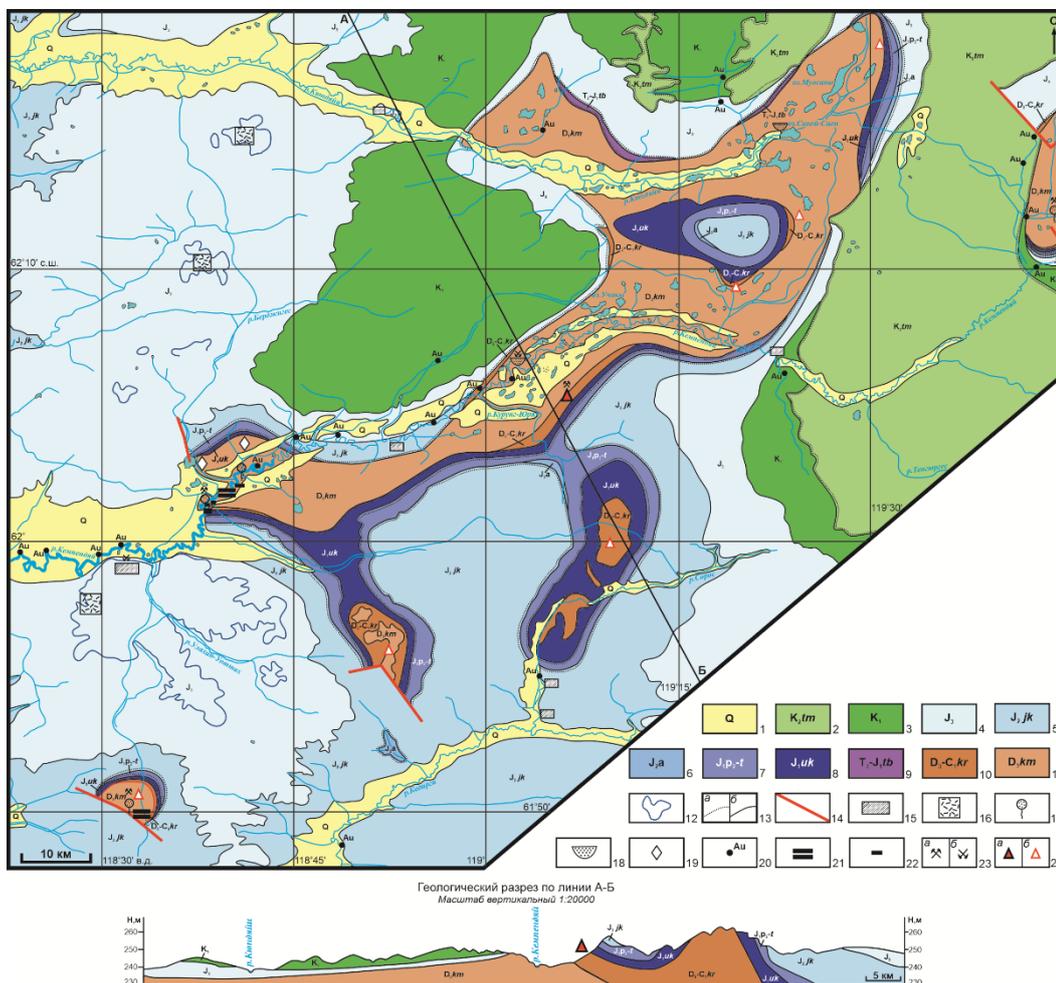


Рисунок 1. Геологическая карта района месторождения Хонгуруу [3]. Условные обозначения: 1–Четвертичные отложения нерасчлененные; Терригенные отложения мелового возраста (2–3): 2–Тимердяхская свита; 3–Нерасчлененные отложения; Терригенные отложения юрского возраста (4–8): 4–нерасчлененные отложения; 5–Якутская свита; 6–Ааленский ярус; 7–Верхнеплинсбахский подъярус–тоарский ярус; 8–Укугутская свита; 9–верхнетриасово–нижнеюрские терригенные отложения табасындской свиты; 10–верхнедевонско–нижнекаменноугольные терригенные отложения курунгурыхской свиты; 11–девонские вулканогенно-осадочные отложения кемпендяйской свиты; 12–Маркирующий горизонт (горелые породы); 13–границы залегания отложений: а - несогласного, б – нормального; 14–тектонические нарушения установленные; Проявления полезных ископаемых (15–24): 15–бурый уголь; 16–горелые породы; 17–соляные источники и рассолы; 18–поваренная соль; 19–гипс; 20–шлиховые пробы, содержащие Au; 21–грязи лечебные; 22–глины; 23–месторождения: а – эксплуатируемые; б – законсервированные; 24–цеолиты: а – месторождения, б – проявления

### Выводы

Цеолиты месторождения Хонгуруу имеют вулканогенно-осадочный генезис и образовались в результате цеолитизации пеплового материала в морских водах с повышенной

соленостью. По минеральному составу выделяются две ассоциации цеолитов – клиноптилолит-гейландитовые и преимущественно гейландитовые, для которых характерно повышенное содержание стронция в каналах цеолита. Изучаемые цеолиты относятся к высококремнистой разновидности. Проведенные исследования по определению емкости катионного обмена позволили выделить два типа цеолитов: щелочные с преобладанием Na и щелочно-земельные с преобладанием Mg-Ca.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность ООО «СунтарЦеолит» за возможность проведения полевых работ на месторождении Хонгуруу.

### **Библиография**

1. Белоусов П.Е., Чупаленков Н.М., Карелина Н.Д., Крупская В.В. // Геолого-структурная позиция месторождений бентонита и цеолита России. Новое в познании процессов рудообразования. Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. // ИГЕМ, 2020, стр. 826-830.
2. Колодезников К.Е., Новгородов П.Г., Матросова Т.В., Степанов В.В. Кемпендяйский цеолитоносный район // Якутск: ЯНЦ СО РАН. 1992. 68 с.
3. Петрова А.И., Старыгина Т.Т., Николаев А.В. (1993). Геологическая карта района работ. К отчету по результатам детальной разведки месторождения цеолитов Хонгуруу. Геолком РФ ЯРГЦ.
4. Сафронов А. Ф., Колодезников К. Е., Уаров В. Ф. Полезные ископаемые Сунтарского района и перспективы их промышленного освоения // Якутск: ЯФ ГУ "Изд-во СО РАН". 2004. С.49-57.

*Геология серии касила (ar2ks), Форекарианский регион, Гвинейская Республика Сиссоко  
Билли Нанкуман\* (Российский университет дружбы народов (РУДН),  
bill6489cissoko@gmail.com),*

*Котельников А.Е. (Российский университет дружбы народов (РУДН), kotelnikov-  
ae@rudn.ru),*

*Ромеро Барренеcheа Моисес Эсау Мицисесэсау (Российский университет дружбы народов  
(РУДН), romero-barrenechea-v@rudn.ru)*

### **Аннотация**

На территории Гвинеи верхний архей представлен поли метаморфическими расчлененными комплексами, расположенными в зонах и массивах развития более поздних гранитоидов, образуя в их груди остаточные тела, отделенные друг от друга и различных размеров, а также многочисленные сиаллитов и ксенолиты.

Кристаллический фундамент цоколя состоит из архейских консолидирующих структур, образованных двумя различными генетическими группами пород: метаморфическими с явными признаками первичной стратификации и метаморфическими, но магматического или палингенетически-метасоматического происхождения.

Согласно абсолютной датировке этих пород, их размещение происходило в интервале от 3500–3550 млн лет до 2600–3200 млн лет, что соответствует раннему и позднему архею.

В начале XXI века в Гвинейской Республике накопилось большое количество разнообразной информации, касающейся различных геологических аспектов о полезных ископаемых, включая результаты геологического исследования.

Благодаря геологической съемке, проведенной советскими геологами ОЗГЕО в период 1967–1993 годов, охватившей около 60% территории страны, и ускоренной геологической съемке, проведенной французскими геологами BRGM в 1997-1999 годах, охватившей остальную территорию (восточную и юго-восточную части), вся территория страны была покрыта геологической съемкой 1:200 000.

Поиски бокситов, золота, алмазов и железной руды в различных регионах в двадцатом и начале двадцать первого веков, особенно активных после Второй мировой войны, дали очень важную и интересную дополнительную геологическую информацию. Однако в стране не было обобщающей работы, которая охватила бы все эти геологические знания. Интересный отчет немецких геологов BGR, подготовленный в 1998 году, ограничился золотом.

Было ясно, что необходим синтез всей информации, касающейся геологии и полезных минералов. Этот синтез необходим, прежде всего, властям страны для планирования развития горнодобывающего сектора - основной движущей силы социально-экономического развития страны.

### **Ключевые слова**

Касила, Нимба, Леона-Либерийский массив, Метаморфизм, Метагаббро, ферругинизация.

### **Теория**

Основание Африканской Платформы. Кристаллическая Порода Подвала.

Кристаллический фундамент кратона состоит из архейских структур консолидации, образованных двумя различными генетическими группами пород: метаморфическими с явными признаками первичной стратификации и метаморфическими, но магматического или палингенетический-метасоматического происхождения. Согласно абсолютным датам этих пород, их заложение происходило в интервале от 3500–3550 млн лет до 2600–3200 млн лет, что соответствует раннему (нижнему) и позднему архею. (Верхний) архей.

Ранний архей (AR<sub>2</sub>)

Ранние архейские породы были выделены геологами brgm-dnrgh на листе Н'Зерекоре у северо-западного подножия горного массива Нимба, состоящего из отложений раннепротерозойского комплекса Симанду - нимба. Они имеют ограниченное развитие и, согласно геологической карте 1:200 000, представлены метагаббро сами (символ 18θ) с абсолютным возрастом  $3512 \pm 11$  Ма и ортогнейсами (символ ζγ2-4) гранитоидного состава с абсолютным возрастом  $3542 \pm 11$  Ма (микрозон, метод U/Pb циркона). Приведенные выше данные являются единственным основанием для отнесения этих пород к раннему архейским. Следует отметить, что эти породы являются самыми древними из всех образований, обнаруженных в Леона-Либерийском кристаллическом массиве, их возраст можно сравнить с возрастом ортогнейсов поднятия Региба в Мавритании.

Структурно-геологическое положение пород, отнесенных к раннему архею, не уточняется. Их связь с более молодыми позднее архейскими вмещающими породами и вышележащими раннепротерозойскими породами не установлена. Кроме того, как станет ясно ниже, они не имеют явных литолого-петрографических или иных отличий от позднее архейских метагабброидов и ортогнейсов. В целом, этот вариант геологической обстановки горного хребта Нимба и прилегающих территорий вызывает сомнения в аргументации многокилометровых (3,0–7,0 км) горизонтальных смещений некоторых геологических блоков в изолированных районах и представлении общей геологической ситуации, не соответствующей территории Либерии и представлениям экспертов BGR-DNRGH. По этой причине автор настоящей работы взял на себя смелость предложить другой вариант интерпретации данных, относящихся к этой территории, представленных на геологической карте 1:500 000 и согласованных с геологическими рамками аналогичных структур в Гвинее (цепь Симарева) и Либерии (район Нимба Валогой). Этот вариант предполагает существование тектонических связей на уровне наклонных разломов (надвигов) между ранние архейскими, позднее архейскими и раннепротерозойскими породами с установлением тектоноблоков, клиньев или плит под действием интенсивного горизонтального сжатия геологических структур массива Нимба.

#### Стратифицированные Комплексы Верхнего (Позднего) Архея (Ar2)

На территории Гвиней верхний архей представлен стратифицированными поли метаморфическими комплексами, расположенными в зонах и массивах развития более поздних гранитоидов, образуя в их груде остаточные тела, отделенные друг от друга и различных размеров (от нескольких км<sup>2</sup> до нескольких сотен км<sup>2</sup>), а также многочисленные сиаллитов и ксенолиты.

В ходе геологической съемки масштаба 1:200 000 эти комплексы были нанесены на карту в ранге серий, некоторые из них были разделены на свиты. Это стратиграфическое деление, с некоторыми обобщениями, сохранилось на геологической карте 1:500 000. Территориально выходы этих пород расположены в трех основных регионах страны, указанных в легенде этой карты.

#### Серия Касила (AR<sub>2ks</sub>), Форекарианский регион

Геологическая съемка листов Конакри и Сиероумб А в бассейне реки Бофон и нижнем бассейне реки Коленте позволила изучить комплекс метаморфических пород, отнесенных к серии Касила. Впервые эта серия была дифференцирована в прибрежном регионе Сьерра-Леоне. Впоследствии участки его развития были выявлены в юго-западной части этой страны; в 1968–1969 годах советские геологи распространили серию на территорию прибрежной Гвиней.

В данном регионе отложения этой серии образуют крупную антиклинальную структуру северо-западного направления с наклоном пластов 40-60°, реже до 80° (рис. 2–3) на флангах антиклинали. Также наблюдается прогрессивное погружение в том же северо-западном направлении оси этой структуры и ее замыкание с развитием мелких пологих складок с наклоном 10-20°. Центральная часть этой структуры содержит серию крупных разломов, контролирующих

расположение кембрийских грабенов. Юго-западный фланг структуры замещен раннепротерозойским гранито-гнейсом, а северо-восточный фланг - вендскими гранитами.

Серия состоит из двух частей. Нижняя часть предпочтительно мафическая и состоит из пород свит Кисси-Кисси и Форекария. Верхняя часть в основном салическая и состоит из пород свит Махера и Кунсута.

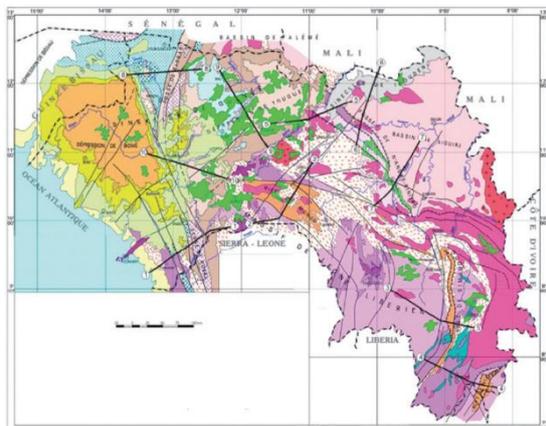


Рисунок 1. Схема расположения геологического разреза

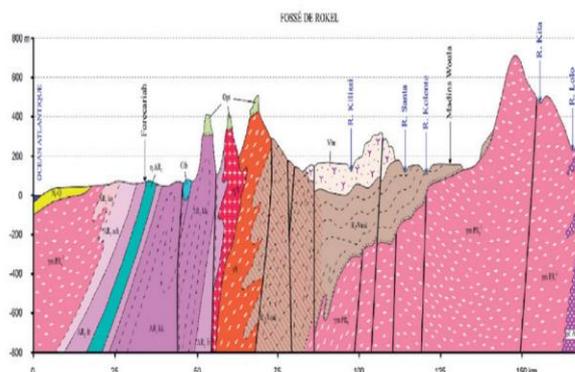


Рисунок 2. Участок линии Форекария – Мадина улан (листы: Конакри – Сьерумба)

### Выводы

Ранние архейские породы, окружающие раннепротерозойскую структуру Касила, требуют дальнейшего изучения, особенно в отношении их связи с окружающими поздней архейскими породами и, следовательно, возраста их залегания.

Метаморфические породы серии Касила, Камбий преобразованы раннепротерозойской гранитизацией, в некоторых районах существенно, в других - полностью, в диафориты или мигматиты и гранито-гнейсы. В будущем эти породы должны быть показаны на геологических картах более четко - либо соответствующими символами, либо как самостоятельные геологические тела.

Как уже упоминалось, метаморфические серии Касила и Камбий фактически представляют собой единый метаморфический комплекс в Гвинее и соседних странах. В дальнейшем их целесообразно объединить в единую метаморфическую серию, характеризующую поздней архейский осадочно-метаморфогенный цикл развития кристаллического основания Леона-Либерийского массива.

Принятая схема поздней архейского магматизма и палингено-метасоматических процессов, несомненно, требует дальнейшей аргументации. Не исключено, что метанорит-метагипербазитовые интрузии I фазы и пироксенов метадiorит-метагранодиориты II фазы относятся к одному и тому же до метаморфического цикла. Чарнокиты и чарнокиты могут быть продуктами раннепротерозойской гранитизации (микроклизации).

### Библиография

1. OZGEO-DNG Boufeev Y., Tcherenkov V., et al. Carte Géologique de la République de Guinée à l'échelle du 1:200 000, Feuilles KENIEBA (ND-28-I), TOUGUÉ (NC-29-XIX), BAFING-MAKANA (ND-29-II), DINGUIRAYE (NC-29-XX) et Notice Explicative. CPDM, Conakry. OZGEO, Moscou, 1991.

2. BRGM-DNRGH Thiéblemont D., Gounjou J., Bah M. et al. Carte Géologique au 1:200 000. Feuille N°ZÉRÉKORÉ NC-29-XXII et Notice Explicative. BRGM, Orléans. CPDM, Conakry, 1999.
3. Маракушев А. Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. М. 1965.
4. Arnould M., Ayme J.M., Guillaume R., Nouvelle stratigraphie des séries primaires du Nord du FoutaDjallon (Guinée – Sénégal). Bull. Soc. Géol. de France. 7 sér., t.1, №6, 1960.
5. Barrere T., La presqu'île de Kaloum et le Massif du Kakoulima (Rep de Guinée). Service de Géologie et de Prospection minière, 38 p., 1959.
6. Force E. and Berge J. Geologic map 1:250 000 of the SANOKOLE quadrangle, Liberia. U.S. Geol. Survey, Arlington.VA 22202, 1977.

***Особенности геологического строения, минерализации и разведка бокситов месторождения  
Плато Боваль-Понтиоло бокситоносной провинции Туге (Гвинея)  
Ба Мамаду корка\* (РУДН им. П. Лумумбы, bahmamdoukorka@gmail.com),  
Карелина Е. В. (РУДН им. П. Лумумбы, karelina\_ev@pfur.ru),  
Люсьен Туре (Геопроспект, lucien201187@gmail.com)***

**Аннотация**

В статье рассмотрены основные особенности геологического строения гвинейской бокситоносной провинции на примере месторождения Плато Боваль-Понтиоло, их связь с морфологией рельефа. Приводится краткая текстурно-структурная характеристика разновидностей, их минеральный и химический состав.

Предлагается проект разведки северной части месторождения и его геолого-экономическая оценка.

**Ключевые слова**

Гвинея, бовали, бокситы, морфология, химический состав.

**Теория**

Алюминий имеет широкое применение в промышленности. В частности, именно с его использования начали свою работу авиастроение, ракетостроение, пищевая промышленность и изготовление посуды. Благодаря своим особенностям алюминий позволяет улучшить маневренность судов за счет меньшей массы. Конструкции из алюминия в среднем на 50% получаются легче, нежели аналогичные стальные изделия.

Мировой спрос на алюминий растет непрерывно из года в год в среднем на 5-7% и соответственно увеличивается его производство. Так, за последние 15 лет производство алюминия выросло более чем в 2 раза [4].

Самые крупные месторождения алюминиевых руд приходятся на Западную и Центральную Африку (32%). Объект настоящих исследований - Плато Боваль-Понтиоло бокситоносной провинции Туге (Гвинея).

**Цель работы** заключается в изучении особенностей минерального состава бокситов и их химической характеристики, а также проект разведки и геолого-экономические показатели северной части Плато Боваль-Понтиоло.

Месторождение бокситов Понтиоло расположено в пределах бокситоносного района Туге, на западе Гвинеи. Общая площадь участка составляет 2003 км<sup>2</sup>.

В геологическом отношении район Туге сложен терригенно-осадочными породами палеозойского возраста и основными магматическими породами мезозойской трапповой формации. Общее падение пород юго-западное субгоризонтальное с редкими локальными перегибами. Контактные зоны пород осадочного чехла и основных магматических пород, как правило, ороговикованы [1].

Были проанализированы данные по химическому составу различных по составу и генезису пород, слагающих площадь бокситоносного района. Результаты позволяют сделать вывод, что наиболее благоприятным субстратом для формирования бокситов являются алевро-аргиллиты силура и девона, а также долериты с наиболее высоким соотношением  $Al_2O_3$  к  $Fe_2O_3$ .

Одной из задач наших исследований было выявления связи геоморфологического строения района с его бокситоносностью. Анализ топокарты м-ба 1:100 000 показал, что в пределах рассматриваемой площади латеритные коры выветривания развиты неравномерно: сплошной чехол латеритных кор выветривания, в том числе бокситоносных формируется на вершинах бовалей и их пологих склонах во всем диапазоне высотных отметок (от 330-350 м до 850 м) рельефа, сформированного по осадочным породам силура и девона, либо по долеритам.

На нижних геоморфологических уровнях рельефа, а также по всей площади в днищах долин и на крутых ( $>30^\circ$ ) склонах латеритные коры выветривания практически отсутствуют (рис.1).

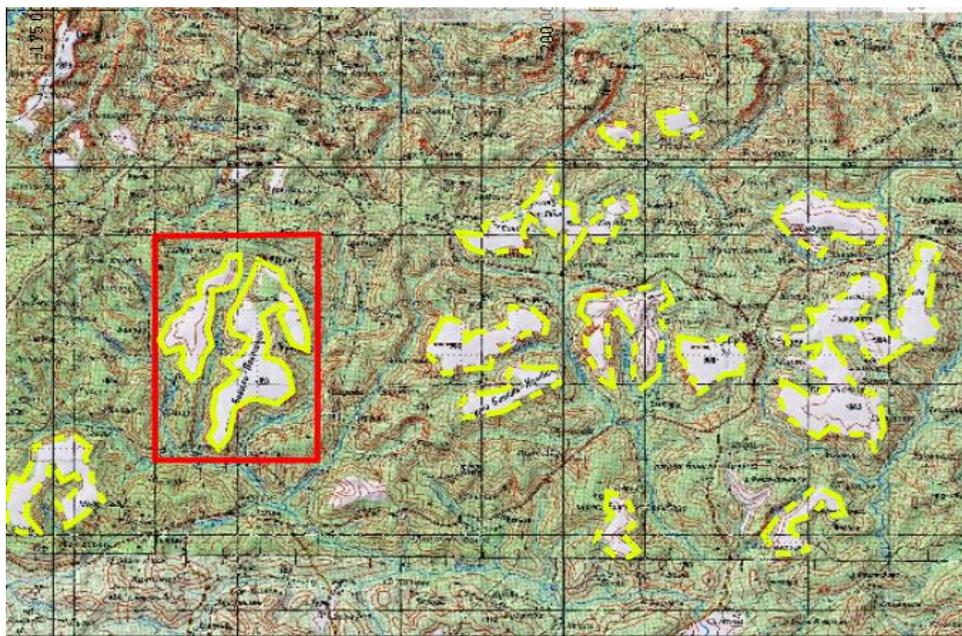


Рисунок 1. Фрагмент топокарты м-ба 1:100 000 бокситоносной провинции Туге. Красным обозначен контур бовали Понтиоло. Желтым цветом обозначены контуры бовалей: сплошной линией – разведанные, пунктирной – прогнозируемые. Изолинии проведены через 40м

Т.о. с точки зрения оценки бокситоности рассматриваемой площади представляют интерес латеритные коры выветривания средних и верхних уровней рельефа, образованных по осадочным породам силура и девона и основным породам мезозойской трапповой формации.

На большинстве бокситовых месторождений Гвинеи присутствуют два генетических типа руд: латеритные коры выветривания и осадочно-латеритные [3].

В вертикальном разрезе латеритной коры выветривания четко выделяется 2 горизонта [2]: 1. нижний горизонт – полиминеральные и каолиновые глины (рис.2А) и 2. верхний горизонт – собственно латеритный покров, сложенный в основном гидроксидами и оксидами железа и алюминия (рис.2Б).

Латеритный покров является рудовмещающей толщей, внутри которой бокситы обычно слагают большую часть разреза, либо отдельные линзы и горизонты, сменяющиеся железистыми латеритами ( $Al_2O_3 < 38\%$ ).

В верхней части латеритных покровов площади Туге широко развиты грубообломочных латеритизированных континентальных образований мощностью от 1–2 до 7–8 метров, относящиеся к осадочно-латеритному типу бокситов. Они представляют собой продукты механического разрушения латеритных покровов *in situ*, оставшиеся на месте своего образования (глыбовый элювий), или испытавшие определенную транспортировку в континентальных условиях, переотложенные в делювиальных и пролювиальных фациях и подвергшиеся вторичной цементации существенно железистым материалом (рис. 2 В).

Химический состав осадочно-латеритных образований весьма изменчив, зависит от состава обломочной части и варьирует от бокситов среднего качества до без бокситовых латеритов. Почти всегда осадочно-латеритные образования, даже бокситового состава, отличаются повышенной железистостью (35–50%  $Fe_2O_3$ ). Минеральный состав их также сильно

варьирует, как правило, преобладает гиббсит (40–60%) при существенной доле железистых минералов (30–55%), в том числе новообразованного гематита (до 10–20%).

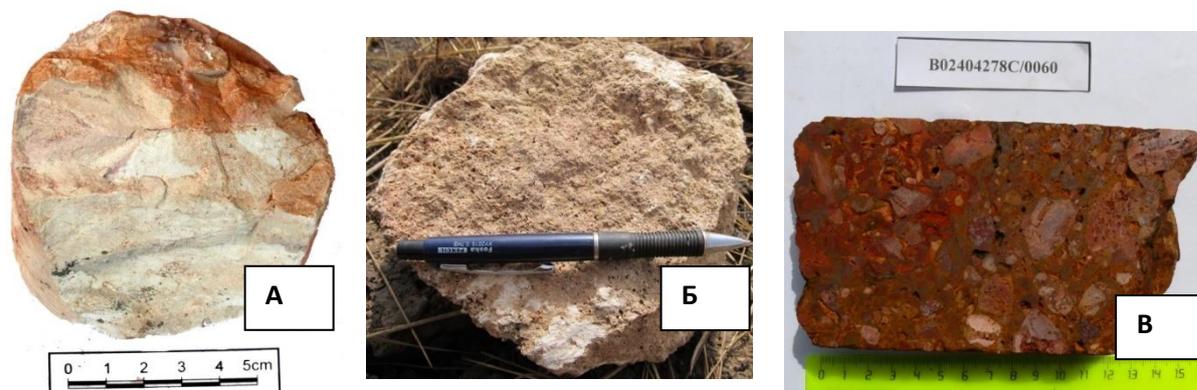


Рисунок 2. Породы бокситоносного горизонта: А - глинистого горизонта: Каолинит-гидрослюдистая глина по алевро-аргиллиту. Б - Обеленный сильно гелефицированный (до гелеморфного) боксит по неясному субстрату. Образец B02410280; В - грубообломочная осадочно-латеритная порода, вторично сцементированная железистым цементом

С целью изучения особенностей строения месторождения, а также дальнейших работ по его разведке, нами была построена его модель в MicroMine (рис.3), которая позволила выделить северный участок, нуждающийся в более детальной разведке и составить проект геологоразведочных работ его северной части.

По сложности геологического строения месторождение относится ко 2-й группе.

Для разведки северной части месторождения Боваль-Понтиоло и с целью перевода запасов из категории С<sub>1</sub> в В, планируется провести сгущение сети скважин методом колонкового бурения по имеющимся профилям, с последующим проведением в скважинах комплекса геофизических исследований и опробованием. Бурение будет проводиться на полную мощность коры выветривания, с последующим подсчетом запасов по всем данным категориям. Всего нам предстоит пробурить **625 скважину** со средней длиной 25 м, что в сумме составит 15625 м глубины.

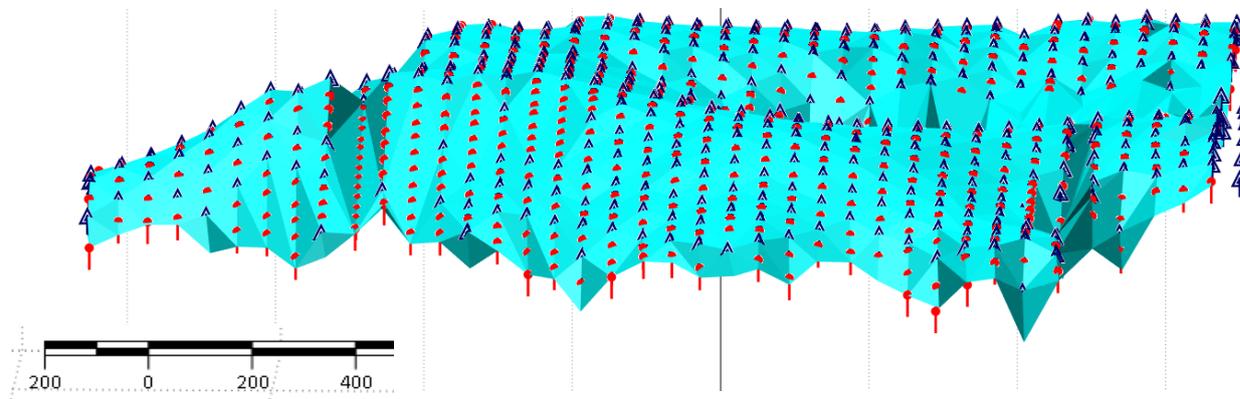


Рисунок 3. 3-D модель Плато Боваль-Понтиоло с разведочными скважинами предыдущих этапов разведки (черно-синим цветом) и проектными (красный цвет). Автор: Ба Мамаду корка, 2023 г.

Общие затраты на разведочные работы, включающие бурение скважин, ГИС-исследования, а также полный комплекс опробовательских работ составят 151,8 млн рублей. Запасы оксида алюминия – при среднем содержании в рудах 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> почти 127,5 млн. т. Т.о. затраты на ГРП составят – 0,00057%.

### **Выводы**

Исследования показали связь бокситоносной района с его геоморфологией. Проведенный анализ типов руд показал, что в районе Туге бокситы относятся к 2-м генетическим типам – латеритному и латеритно-осадочному. Выявлены особенности их химического и минерального состава. Составлен экономически выгодный проект разведки северной части бокситов Боваль-Понтиоло.

### **Библиография**

1. Мамедов В. И., Буфеев Ю. В., Никитин Ю.А. Геология Гвинеической республики. Т. 1. Изд-во МГУ, 2011. 341 с.
2. Мамедов В.И., Чаусов А.А., Оконов Е.А., Макарова М.А., Боева Н.М. Крупнейшая в Мире бокситоносная провинция Фута-Джалон-Мандино (Западная Африка). Часть I Общие сведения // Геология рудных месторождений. 2020. Том 62. № 2. С. 178–192.
3. Савко А. Д., Овчинникова М. Ю. Эволюция бокситонакопления в фанерозое/ Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2022, № 1, 4–33
4. [https://aluminiumleader.ru/economics/how\\_aluminium\\_market\\_works/](https://aluminiumleader.ru/economics/how_aluminium_market_works/)

***Поступательное прямолинейное смещение точки, прямой и плоскости при геологическом  
картировании тектонически нарушенных месторождений полезных ископаемых***

***Вологина А.С.\* (МГРИ, alispu05@gmail.com),  
Калиничев В.Н (МГРИ, kalinichevvn@mgru.ru)***

**Аннотация**

Основным методом графического решения многих задач геологии и горного дела являются проекции с числовыми отметками. При геологическом картировании тектонически нарушенных месторождений полезных ископаемых выполняются построения, связанные со смещением геометрической фигуры по направлению прямой или ломаной линии.

**Ключевые слова**

Плоскость сместителя, борозды скольжения, амплитуда смещения, тектонические нарушения, сместившееся крыло, геологическая карта.

**Теория**

Смещение происходит по плоскости разрывного нарушения, которое называется плоскостью сместителя прямой лежащей в этой плоскости, которую называют бороздой скольжения.

К параметрам смещения относят: азимут падения или простирания и угол падения плоскости сместителя, угол падения борозды скольжения, а также истинную вертикальную и горизонтальную амплитуды смещения.

Построение сместившегося крыла может быть сведено к построению одной из точек этого крыла, сместившегося по плоскости сместителя в борозде скольжения направлению.

Построения, связанные со смещением геометрической фигуры по направлению прямой или ломаной линии, выполняют при выполнении геологического картирования тектонически нарушенных месторождений полезных ископаемых

Под поступательным смещением понимают перемещение точки (или множества точек) по направлению прямой или ломаной линии (рис. 1). Вектор  $L^*$ , соединяющий исходное и конечное положения смещающейся точки  $A$ , носит название истинной величины (амплитуды) смещения.

На рис. 1 дан пример построения проекции точки  $A$ , сместившейся в указанном направлении по прямой  $s$  на заданное расстояние  $L_s$ .

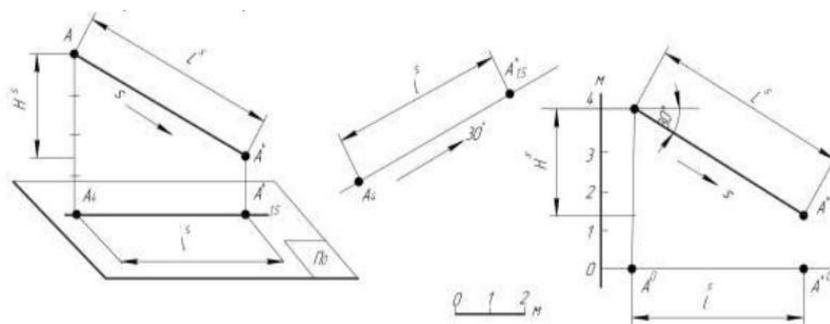


Рисунок 1. Пример построения

Решение задачи начинается с построения проекции прямой  $s(A \angle 60)$  -траектории прямолинейного движения точки  $A$ . Построив профиль прямой  $s$  и отложив на нем истинную величину смещения  $L_s$ , определяем горизонтальную  $l_s$  и вертикальную  $H_s$  величины смещения:  $l_s = |A0A^*0|$ ,  $H_s = h_A - h_{A^*}$ . Горизонтальная величина смещения  $l$  определяет положение проекции точки  $A^*$ , вертикальная

$H_s$  – ее числовую отметку 1,5 м.

**Разрывы** - это нарушения сплошности пород при деформирующих силах, превышающих предел их прочности.

Нарушение сплошности проявляется как в виде одной поверхности (см. рис 2) . так и в виде зон разной мощности, в пределах которых породы дробятся и перетираются.

В любом разрывном нарушении выделяют два крыла (или два блока) и сместитель, по которому крылья (блоки) перемещаются и который может быть представлен поверхностью.

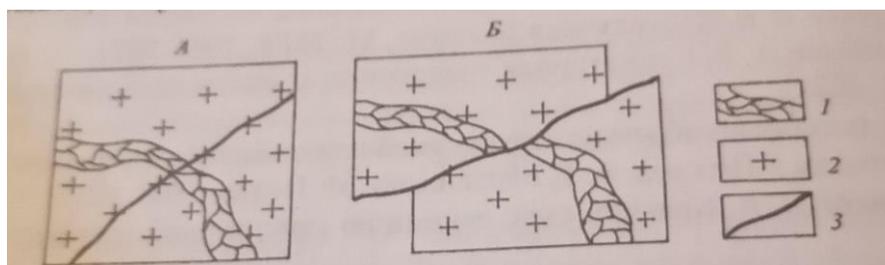


Рисунок 2. Примеры разрывов Граниты (2) с жилой кварца (1) пересекается разрывом (3): А-без смещения(трещеной) Б-со смещением (разрывным нарушением)

Положение сместителя в пространстве определяется азимутом простирания, азимутом падения и углом наклона ( $\alpha$ )

**Борозды скольжения** образуются в том случае, когда на поверхность сместителя попадают зерна твердых минералов. В начале перемещения твердые зерна оставляют на поверхности узкие, но глубокие царапины. По мере того, как они раздавливаются, глубина царапин становится меньше, а ширина их увеличивается. По ориентировке борозд скольжения можно устанавливать относительное перемещение блоков. Если борозды имеют горизонтальное положение, то и смещение блоков происходило в горизонтальной плоскости, вертикальная ориентировка говорит о вертикальных движениях. По относительному расположению вершин и оснований борозд можно судить о том, перемещался блок вверх или вниз.

Разрывы со смещением имеют разный характер, бывают: Сбросы, Взбросы, Ступенчатые сбросы, Грабены, Горсты, Раздвиги, Сдвигами, Надвиги

В приведенном на рис. 3 примере рассматривается случай смещения прямой  $m$  на плоскости. Плоскость, по которой смещается прямая  $m$ , условимся называть плоскостью сместителя.

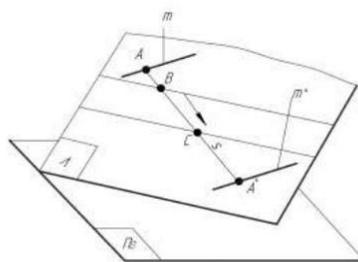


Рисунок 3. случай смещения прямой  $m$  на плоскости

Так, в решении практических задач называют тектоническую трещину в горном массиве, по которой происходило смещение горных пород. По условию задачи смещение прямой  $m$  происходит без ее вращения. Смещаясь, она остается параллельной своему исходному положению:  $mm^*$ . Следовательно, для построения новой проекции прямой, сместившейся по

плоскости в указанном направлении, достаточно определить горизонтальную величину смещения для любой ее точки. На плане задача решается в следующем порядке (рис. 4):

1) через точку  $A$  прямой  $m$  в указанном направлении проводим вспомогательную прямую  $s$ . По этой прямой точка  $A$  будет перемещаться при смещении прямой  $m$  по плоскости. Прямая  $s$  определяется точками  $B$  и  $C$  пересечения ее с горизонталями плоскости;

2) по профилю прямой  $s$  с учетом истинной величины смещения  $L_s$  определяем горизонтальную  $l_s$  и вертикальную  $H_s$  величины смещения рассматриваемой точки  $A$ ;

3) построив проекцию точки  $A^*$ , параллельно исходному положению  $m$  проводим прямую  $t^*$  — проекцию заданной прямой, смещавшейся по плоскости на указанное расстояние  $L_s$ .

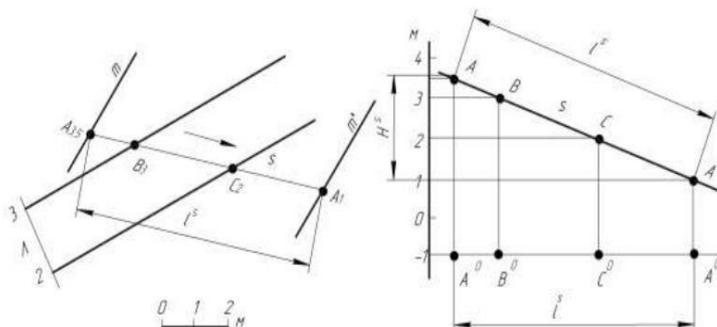


Рисунок 4. Пример решения задач

В качестве примера рассмотрим построение геологической карты (рис. 5) осложненной тектонически смещением

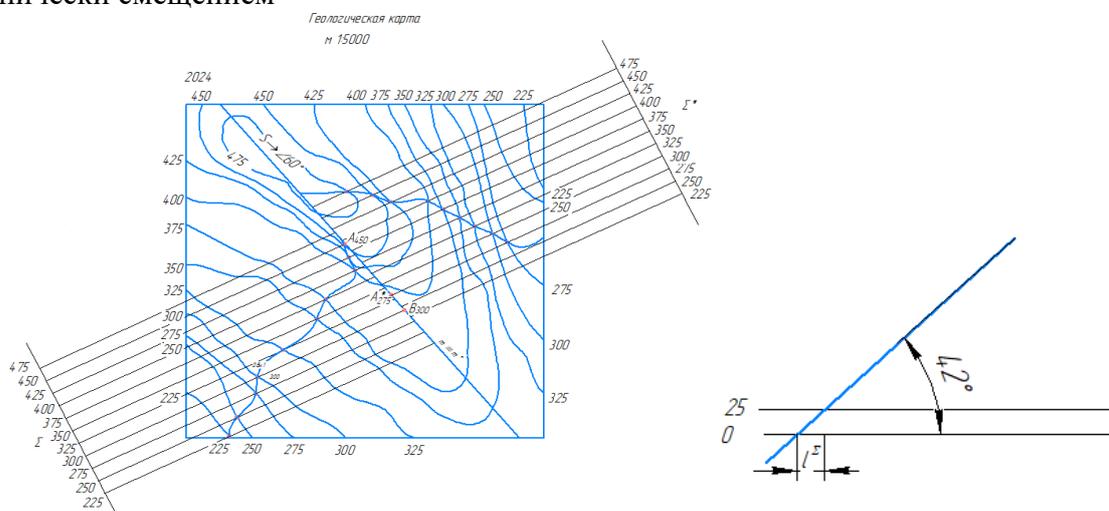


Рисунок 5. Геологическая карта Рисунок 6. Элементы залегания

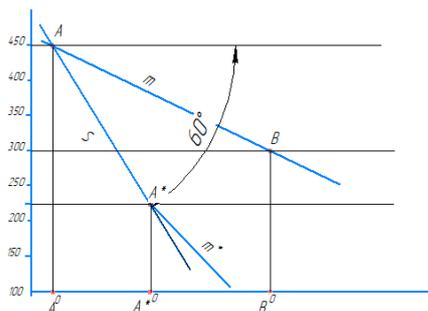


Рисунок 7. Профиль

В качестве плоскости сместителя в примере рассмотрим вертикальную плоскость. Пересекает структурную плоскость по линии  $m$  (а,б), которая является линией разрыва.

В примере была построена структурная плоскость по азимуту, элементам залегания(рис.6),

В точке  $m$  прослежено обнажение

Линия разрыва, борозда определены вектором с углом  $60^\circ$  (рис.7)

Вертикальная амплитуда смещения равно  $175\text{ м на}^*$

Для того чтобы найти новое смещенное положение  $A^*$  с отметкой  $275$

На разрезе  $t-t$  находим смещенное положение точки  $A$ , и соответственно смещенное положение прямой  $m-m^*$

Расстояние  $A_0-A_0^*$  определяет горизонтальную амплитуду смещения

Также отрезок  $A-A^*$  истинная амплитуда смещения.

На плане через смещенное положение точки  $A - A^*275$

Проводим первую горизонталь с отметкой  $275$  смещенного положения правого крыла.

С теми же элементами залегания построены горизонталь правого сместившегося крыла плоскости и соответственно построена линия выхода на дневную поверхность

### Выводы

Метод прямолинейного поступательного смещения точки, прямой и плоскости используется при построении геологических карт при тектонических нарушениях горных пород или месторождений полезных ископаемых.

Чтобы найти новое, сместившееся положение крыла структурной плоскости или поверхности, достаточно найти сместившееся положение любой ее точки.

Для этого необходимо знать положение плоскости сместителя, направление и угол падения борозды скольжения, истинную горизонтальную или вертикальную амплитуду смещения. Возможно решение и обратной задачи- определение истинной величины смещения прямой по проекциям её исходного и конечного положения, а также проекции плоскости сместителя.

### Библиография

1. Ребрик Б. М, Сироткин Н. В, Калинин В. Н, Инженерно-Геологическая графика Издательство: “НТ Прогресс”, 2008
2. Корсаков А. К Структурная геология Издательство: КДУ, 2009
3. Ушаков И. Н Горная геометрия Издательство “Недра”, 1979
4. Пылов А. П, Тимофенко Е. П Горная геометрия Издательство “Недра”, 1975

*Геологические особенности урановых месторождений песчаникового типа Нигера  
Имрана Х.И.\* (РУДН имени Патриса Лумумбы, 1032205598@pfur.ru),  
Марков В. Е. (РУДН имени Патриса Лумумбы, markov\_ve@pfur.ru),  
Конате М. (Университет Абду Мумуни Ниамея/Нигер; konate.moussa@gmail.com)*

#### **Аннотация**

В работе рассмотрены особенности геологического строения республики Нигер, приводится краткая характеристика известных урановых месторождений. Изучены условия локализации месторождений, их связь с древними комплексами, приводятся основные характеристики морфологии рудных залежей, минерального состава. Приведены аргументы в пользу их инфильтрационного образования в результате выщелачивания урана из древних комплексов с последующим его переотложением в минеральных формах в бассейнах осадконакопления, богатых органическим веществом.

Результаты дешифрирования показали наличие в районе месторождений системы меридиональных и широтных зон нарушений и приуроченность большинства месторождений к узлам их пересечений.

По выявленным критериям размещения рекомендованы участки для поисков аналогичных месторождений.

#### **Ключевые слова**

Месторождения урана, песчаниковый тип, дешифрирование космоснимков, Нигер.

#### **Теория**

Нигер является одной самых богатых урановыми месторождениями стран. Почти все эти месторождения относятся к так называемому, песчаниковому типу [1].

Основные особенности геологического строения урановых месторождений песчаникового типа включают: осадочное происхождение, пористость и проницаемость, геохимические условия и структурные характеристики [3]. Изучение геологических особенностей этих месторождений имеет важное значение для оптимизации процессов добычи урана, разработки эффективных технологий и управления ресурсами.

Методология исследования включала в себя анализ доступных данных о месторасположении урановых месторождений, их геологических характеристик и потенциала. Также было проведено дешифрирование космоснимков с применением ГИС технологий для обработки пространственных данных и создания цифровых моделей месторождений.

В геологии Нигера принимают участие древние магматические и метаморфические кристаллические породы на западе, возрастом более 2,2 млрд лет, а также более молодые терригенные образования, слагающие бассейны Вольта, Эйр-массив и Юллемеден и вулканические комплексы, образующие многочисленные кольцевые структуры [2]. Сегодня, благодаря сложным геологическим процессам и интенсивной латеритизации, Нигер богат минеральными ресурсами, включая уран, молибден, железо, уголь, серебро, никель, кобальт и другие ресурсы.

Большая часть территории Нигера сложена осадочными отложениями мезокайнозойского возраста, образующими 2 крупные синеклизы: Мали-Нигерская на западе и Чадская на востоке (рис.1). Наиболее древними породами являются распространенные на большей части Западной Африки породы фундамента архейского и протерозойского возраста. Архейский фундамент обнажается на севере (массив Аир), на северо-востоке (массив Джадо), на юге (северная часть плато Джос) и юго-западе (северо-восточная окраина массива Липтако) территории. Кристаллические породы фундамента представлены гранито-гнейсами и мигматитами, метаморфизованными до амфиболитовой фации регионального метаморфизма.

Верхнепротерозойские и вендские отложения представлены песчаниками и аргиллитми, кварцитами, сланцами, а также яшмы, известняки, содержащими месторождения фосфоритов и рудопроявления свинца, цинка, железа.

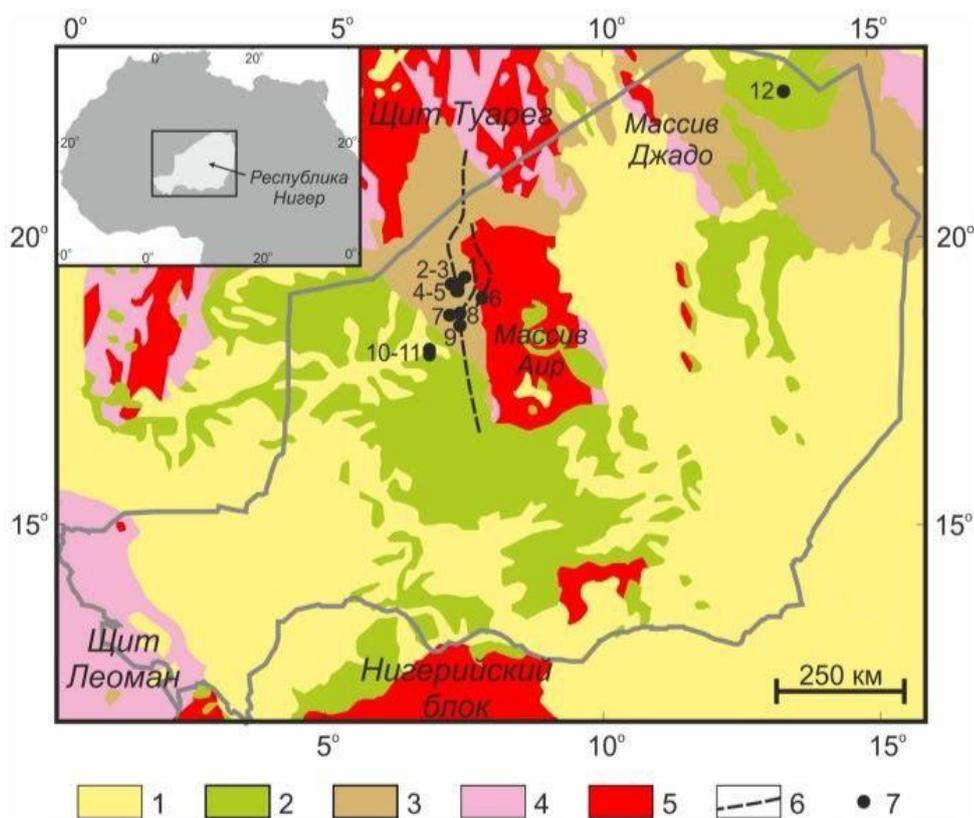


Рисунок 1. Геологическая схема территории Республики Нигер и прилегающих стран по (Schluter, 2008; Thieblemont, 2016), и расположение месторождений урана на территории республики: 1 — кайнозой; 2 — мезозой; 3 — палеозой; 4 — протерозой; 5 — архей; 6 — система разломов Азауа-Арлит; 7 — месторождения урана (1 — Арлит, 2–3 — Таза (Северное и Южное), 4–5 — Акаута (Акаута-1 и Акаута-2), 6 — Мадауэла, 7 — Афасто, 8 — Имурарен, 9 — Секирет, 10–11 — Азелик (Северное и Южное), 12 — Джадо)

Из представленной геологической схемы (рис.1) видно, что 11 из 12 крупнейших месторождений урана находятся на западных склонах массива Аир, представляющего собой выступ докембрийского фундамента щита Туарег. Эти месторождения локализованы в палеозойско-мезозойском платформенном прогибе Тим-Мерсой и относятся к песчаниковому типу. Месторождение Джадо так же залегает среди терригенных осадочных пород мезозойского возраста в 250 км к востоку от докембрийского выступа одноименного массива.

Месторождения, как правило, выполняют депрессии и трюги, выполненные терригенными формациями каменноугольного и юрского возраста; представлены грубозернистыми песчаниками, переслаивающимися алевролитами и глинистыми сланцами. В плане месторождения имеют размеры от 0,5 до 8 км. Размах оруденения по мощности составляет от 10 до первых сотен метров. Рудные залежи имеют многоярусное строение, мощность отдельных пластов в среднем 5-10м до 25м.

Урановая минерализация представлена настураном и коффинитом в равных соотношениях, ассоциирующих с пиритом, марказитом. В первичных рудах выявлен ванадиевый хлорит, сфалерит и галенит, и несколько повышено содержание молибдена и ванадия. В

окисленных рудах отмечаются уранотил, туюмунит, франсвиллит и карнотит в ассоциации с гематитом, хризоколлой и каолинитом. Границы окисленных и первичных пород нечеткие. Средние содержания урана в рудах в различных месторождениях колеблется от 0,1 до 0,5%. Настуран содержит до 3%  $ZrO_2$  (3–5%) и 1%  $V_2O_5$ .

Предполагается, что первоначально уран концентрировался вместе с органикой в дельте реки и прибрежной лагуне, затем он был ремобилизован кислородными водами в ЗПО (Зоны Пластового Окисления «ЗПО») являются важнейшим рудоконтролирующим фактором и основным поисковым критерием месторождений. ЗПО формируются напорными водами в средах с затрудненным водообменном при условии существования необходимого гидростатического давления в пластах, которая обеспечивается разностью гипсометрических уровней в областях питания и разгрузки.). Окислительный фронт продвигался на восток вглубь артезианского бассейна от массива Аир и в западном направлении от меридиональной зоны разломов [4]. Накопление урана в песчаниках богатых растительными остатками носило сингенетический характер с его поледующим переотложением в ЗПО в виде богатых стратиформных залежей; изменение пород и руд происходило восстановительными эпигенетическими растворами.

Изучение структурных критериев размещения урановых месторождений Нигера мы проводили в программе QGIS, которое включало в себя привязку геологических карт и космических изображений SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Дешифрирование космоснимка площади массива Арлет позволило выделить систему линеаментов меридионального и широтного направлений.

Результаты дешифрирования позволили сделать вывод, что в районе массива Аир кроме меридиональных разломов, широко развита сеть широтных и диагональных разломов. И что практически все известные месторождения урана приурочены к узлам пересечений меридиональной системы с широтной.

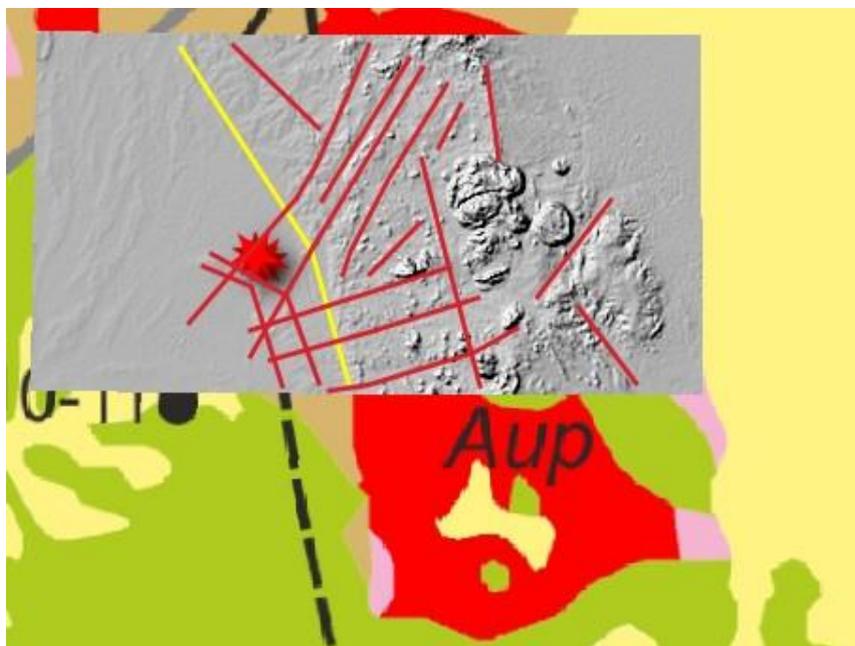


Рисунок 2. Фрагмент Геологической карты Республики Нигер. Расположение урановых месторождений в Нигере и линеаменты, указывающие на перспективы минерализации урана (Изображение SRTM). Линии на снимке: желтые – продольные; красные – широтные и диагональные; звездочкой обозначено месторождение Арлит. Автор: Имрана Х.И., 2024

### **Выводы**

Проведенные нами исследования позволили установить ряд критериев размещения урановых месторождений Нигера. К которым относятся связь с древними кристаллическими массивами архея и протерозоя, отложение среди терригенных пород в осадочных бассейнах С и J возраста, а также приуроченность к узлам пересечений разломов меридионального и широтного направлений. По указанным критериям наиболее благоприятными для выявления новых урановых месторождений нам представляется южное окончание щита Туарег, западная часть массива Джадо и северная часть Нигерийского блока на юге Нигера.

### **Библиография**

1. Бойцов В.Е. Геология месторождений урана. М.: Недра, 1989. 302 с. [Boytsov V.E. Geology of uranium deposits / M.: Nedra, 1989. 302 p. (in Russian)].
2. Sani A. Role of N70° accidents in the emplacement of uranium mineralization in the Tim Mersoï basin: Case of the DASA graben, western border of the Aïr (Northern Niger). Doctoral Thesis, Abdou Moumouni University of Niamey (Niger). 2020:233.
3. Gerbeaud O. Structural evolution of the Tim Mersoï Basin: Deformations of the sedimentary cover, Relations with the location of uranium deposits in the Arlit sector (Niger). Doctoral Thesis University of Paris-Sud Scientific UFR of Orsay. 2006 :270.
4. Vallance, J., 2007. Modèle métallogénique du gisement d'Imouraren (Niger). Rapport Post-doctorat du centre de recherches sur la géologie des matières premières minérales et énergétiques.

*Геология железо-окисдно-медно-золотого месторождения Гуэлб Могрейн (Мавритания)  
Эвбек А. (МГРИ, [salha19957@gmail.com](mailto:salha19957@gmail.com)),  
Верчеба А.А. (МГРИ, [verchebaaa@mgri.ru](mailto:verchebaaa@mgri.ru))*

**Аннотация**

Крупные золоторудные месторождения локализованы в краевой части архейского фундамента щита Регибат на его сочленении с поперечной древней рифтогенной структурой Мавританид.

Одно из таких месторождений - Гуэлб Могрейн, известно с эпохи неолита. Дано обоснование и разработаны поисковые предпосылки отнесения месторождения к перспективному типу золоторудных объектов IOCG.

Горная отрасль — основной источник государственного дохода и капитала Мавритании. На отрасль приходится 40% ВВП, экспорт твердых полезных ископаемых превышает 2,5 млрд евро в год (80% общего объема экспорта). Мавритания является одной из наиболее экономически зависимых от горной отрасли стран мира [1].

**Ключевые слова**

Мавритания, Гуэлб Могрейн, месторождения, архей, золото.

**Теория**

Геологические исследования недр методами рудно-формационного анализа установили, что в Мавритании содержатся различные полезные ископаемые (рис. 1). Основным видом разрабатываемых минеральных ресурсов является железная руда. Однако в последние десять лет часть горного производства отводится золоту и меди.

По данным GFMS Gold Survey 2019, Мавритания занимала 13-е место по добыче золота среди других африканских стран. Уровень добычи драгоценного металла в стране в целом устойчивый, на протяжении последних десяти лет колеблется в пределах 8–10 т в год. Запасы золота в стране при этом оцениваются более чем в 770 тонн.

Крупным месторождением, определяющим состояние минерально-сырьевой базы золота Мавритании, является месторождение Гуэлб Могрейн. Оно рассматривается как медное месторождение сульфидных руд. Нами предполагается, что месторождение относится к железо-окисдно-медно-золотому типу месторождений (IOCG).

Для докембрийских месторождений, относимых к данному семейству, наиболее характерной считается локализация на границах древних (с архейским фундаментом) платформ в связи с интракратонными зонами рифтогенеза [3; 4], возможно, отражающими формирование мантийных диапиров (плюмов). Месторождение Гуэлб Могрейн и перспективные площади Табринкоут и Кадияр в складчатом поясе Мавританид образуют на севере территории золоторудный район.

Для этих месторождений устанавливается прямая или опосредованная связь с магматизмом высококалиевого известково-щелочного, калиевого субщелочного (шошонитового) или щелочно-гранитного («анорогенные гранитоиды А-типа») типов [3]. Нередко на месторождениях проявлен магматизм разных типов или магматические породы обладают переходными характеристиками, что подчеркивает долгоживущий и глубокопроникающий характер контролирующих структур.

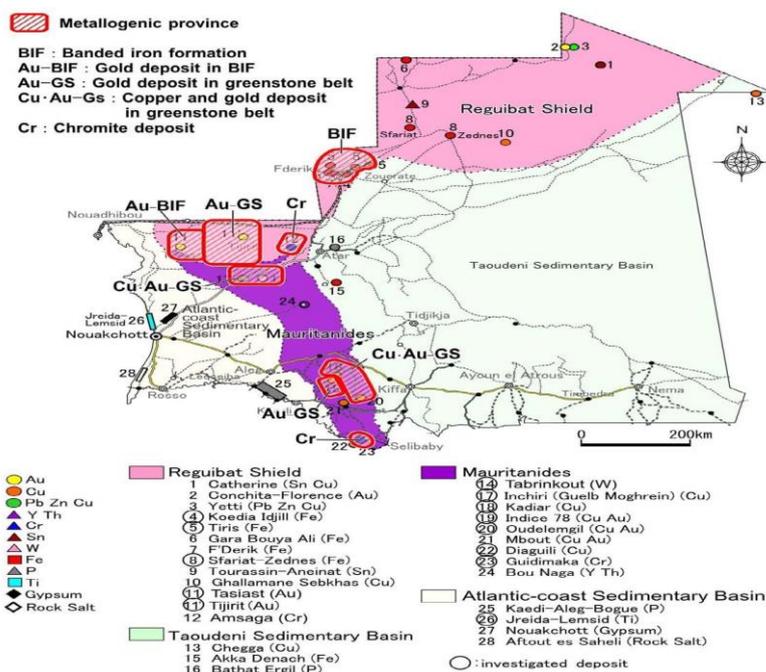


Рисунок 1. Металлогенические провинции Мавритании

Оруденение локализовано на западной границе западноафриканского кратона в зеленокаменных породах, замещающих карбонатные фации полосчатых кремнисто-железистых кварцитов архейского возраста [5]. На месторождении зеленые сланцы состоят в основном из (биотитовых) хлоритовых сланцев из фации зеленых сланцев и связаны с метагаббро, содержащими амфиболиты.

Эти фации состоят из железистых метакarbonатов с магнетитом, апатитом, кварцем. Минерализация образовалась на границе зоны регионального несогласия, между фациями зеленых сланцев и амфиболитов, где минерализованные трещины выполнены ассоциацией Cu-Au-Co-As-Te. Минеральный состав руд отличается преобладанием сульфидов. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что золотые руды представлены сульфидами, в которых часто преобладают пирротит и халькопирит, образованные флюидами, связанными с высокой минерализацией гидротермальных растворов. В зоне окисления месторождения Гуэлб Могрейн установлены вторичные руды куприта, азурита, малахита с содержанием 2,25% Cu, наличием золота и минерализации сульфидов: кубанита, халькопирита, пирротина и арсенопирита.

Рудные залежи месторождения расположены вблизи тектонического контакта, внутри пород среднего архея, в флексурном участке выклинивания северных мавританид.

Кроме того, вдоль южных мавританид выявлено множество мелких золотых проявлений, вероятно, соответствующих орогенным золоторудным объектам, которые, как считается, имеют ранний палеозойский возраст.

Минерализация Гуэлб Могрейн является результатом сложной гидротермальной эволюции с участием флюидов земной коры, которые переносились в зоны несогласия залегания пород и смешиваются в месте отложения. Месторождение контролируется надвиговой тектоникой, связанной с перекрытием структур фундамента Регибатского щита при панафриканском орогенезе мавританид.

По мусковиту зеленых сланцах проведено K-Ar датирование горных пород. На основе этого выявлен блок пород, соответствующий архейскому возрасту метаморфизма зеленосланцевой фации. Линзы магнетита образуют тонкие слои в зеленых сланцах на фланге месторождения. Железные и магниезиальные скарны, состоящие из талька и куммингтонита,

образовались в карбонатных и зеленокаменных породах до появления сульфидной минерализации месторождения.

Поисковые предпосылки месторождений типа IOGC в Мавританидах проявлены в геофизических полях, что установлено на примере месторождения Гуэлб Могрейн.

Рудные залежи месторождений отличаются, высокой магнитной восприимчивостью, связанной с высоким содержанием магнетита в рудах. Она понижается при росте содержания гематита, нередко замещающего магнетит совместно с развитием сульфидной (халькопирит и др.) минерализации. В любом случае присутствие значительных скоплений (рудных тел) магнетита обычно легко определяется по полям положительных магнитных аномалий [3].

Положительные аномалии силы тяжести являются также типичным признаком значительных концентраций магнетита, а также гематита и сульфидов, обладающих высокой плотностью. Гравитационные аномалии служат индикатором железоокисдно-медно-золотых месторождений, в которых магнетит замещен гематитом и сульфидами (борнитом, халькопиритом и др.), что обуславливает не контрастное выражение таких месторождений в гравитационных полях.

Проводимость минералов руд месторождений значительно отличаются от таковых вмещающих пород, что служит важным поисковым признаком рассматриваемых месторождений. В результате сульфидные рудные тела обычно обладают гораздо более высокой электропроводимостью / низким сопротивлением, чем безрудные вмещающие породы, и даже породы, содержащие магнетит и гематит, отличаются повышенной электропроводимостью. Особое значение имеет выявление поляризуемости пород [3].

На месторождениях типа IOGC нередко отмечается аномальная радиоактивность калиевой и урановой природы. Первая связана с развитием калиевого метасоматоза, причем последний, сопровождается обеднением пород торием, что способствует повышению отношения K/Th. В случае развития урановой минерализации месторождения четко маркируются ореолами аномальной радиоактивности урановой природы. Вместе с тем при развитии мощного осадочного чехла, перекрывающего рудные тела, интенсивность соответствующих радиометрических аномалий понижается.

### **Выводы**

Разработку месторождения Гуэлб Могрейн ведет рудник Guelb Moghrein — предприятие по добыче меди и золота компании Mauritanian Copper Mines (MCM), принадлежащей First Quantum Minerals. Промышленная добыча началась в октябре 2006 года. Горные работы на Guelb Moghrein осуществляются открытым способом. Добыча ведется в карьере с использованием гидравлических экскаваторов и самосвалов с механическим приводом. Ежемесячно добывается примерно 1 800 000 тонн руды для производства примерно 15 000 тонн медного концентрата в месяц. Руда отправляется на фабрику, на которой флотируется, извлечение золота производится по методу CIL. В 2018 г. на месторождении было добыто золота — 1,6 т; меди — 28,1 тыс. т меди. Общие предполагаемые и измеренные ресурсы руды оцениваются в 31 млн. тонн при среднем содержании Au 0,75 г/т (23,5 т), запасы — 15,3 млн. тонны при среднем содержании Au 0,63 г/т (9,6 т).

### **Библиография**

1. Вержозин С.С. Золотодобывающая промышленность Мавритании. Золото в странах мира
2. Соловьев С. Г. Железоокисдно-золото-медные и родственные месторождения: геолого-генетические модели и перспективы арктических регионов России // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 118—130. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-118-130.

3. Exploring for Iron-Oxide-Copper-Gold Deposits: Canada and Global Analogues. L. Corriveau, H. Mumin (eds.); Geological Association of Canada; Univ. of Newfoundland. St. John's, 2010, 185 p. (Short Course No
4. Groves D. I., Bierlein F. P., Meinert L. D., Hitzman M. W. Iron oxide copper gold (IOCG)
5. Kolb J, Meyer F., Vennemann T, Hoffbauer R, Gerdes A. London, Special Publications 2008; v. 297; p. 53-75

*Геохимия минералов и тренд эволюции метаморфизма гнейсов Хапчанского орогенного  
пояса (Анабарский щит)*

*Юрченко А.В. \* (ИГГД РАН, Санкт-Петербург, yurchenko-nastya@yandex.ru),  
Романова Л.Ю. (ФГБУ ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, sergeeva.luda02@yandex.ru)*

**Аннотация**

Изучены составы породообразующих минералов гранулитов хапчанской серии Хапчанского орогенного пояса (Анабарский щит) по главным, редким и редкоземельными элементами. Гранаты, характеризующиеся зональным строением по главным элементам, не находят подтверждения зональности по редкоземельным элементам. Редкоэлементный состав гранатов с четко выраженной отрицательной Eu-аномалией и высоким значением  $Sm_N/Gd_N$  отношения является типичным для низкокальциевых гранатов гранулитовой фации. В редкоэлементном составе биотитов наблюдается снижение содержания Ti и понижение всего спектра REE и Sr, что коррелирует со снижением температуры метаморфизма. Определение температур и давлений метаморфического минералообразования методами минеральной и мультиравновесной геотермобарометрии выявило пик метаморфизма пород в условиях высокотемпературной гранулитовой фации повышенных давлений (8.6–9.4 кбар, 915–930°C), что подтверждается присутствием цинксоодержащей шпинели в ассоциации с кварцем. Регрессивная стадия метаморфизма пород характеризуется синхронным снижением температуры и давления до 560°C и 3 кбар.

**Ключевые слова**

параметры метаморфизма, гранаты, биотиты, редкоземельные элементы, геохимия минералов, Хапчанский пояс, Анабарский щит.

**Источники финансирования**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00098, <https://rscf.ru/project/23-27-00098/>.

**Теория**

Хапчанский гранулит-парагнейсовый орогенный пояс обнажается в восточной части Анабарского щита. В его строении участвуют два гранулитовых комплекса. Нижний комплекс (хардахский) представлен метаморфизованными магматическими породами основного состава, слагающими слои и пачки различной мощности. Верхний комплекс (хапчанская серия) сложен метаосадочными породами, протолиты которых формировались в Хапчанском осадочном бассейне. U–Pb возраст метаморфизма парагнейсов составляет  $1928 \pm 21$  млн лет (Гусев и др., 2023). Геохимические особенности парагнейсов хапчанской серии указывают, что их протолитами были граувакки, подобные накапливающимся в палеозое на активных или пассивных континентальных окраинах (Zlobin et al., 2002). Метапелиты хапчанской серии изучены нами в пределах Хардахской площади на восточной окраине Анабарского щита в районе впадения р. Хардах в р. Бол. Куонамка.

По петрографическим наблюдениям в гранулитах участка преобладают *Grt–Bt–Sil*, *Grt–Sill–Crd* и *Grt–Opx* кварцсодержащие парагенезисы. В породах в разном количестве встречаются также *Pl*, *Kfs* (часто в виде пертита), *Bt*, иногда графит. Рудные минералы представлены *Mag*, *Ilm*, *Rt* и *Spl*.

Составы минералов получены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6510LA с энергодисперсионным спектрометром JEOL JED-2200 (ИГГД РАН), содержание редких и REE – методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) на ионном зонде Cameca IMS-4f (ЯФ ФТИАН).

*Grt* в исследуемых образцах имеют *Prp-Alm* состав (максимальное содержание *Prp* 41 мол. %) с небольшой примесью *Sps* (0–2 мол. %) и *Grs* (0–3 мол. %, максимальный *Grs* в ортопироксенсодержащем гнейсе 4–7 мол. %). Зерна *Grt* демонстрируют регрессивную зональность: от центра к краю зерен уменьшается содержание *Prp*, возрастает *Alm*. В образце ортопироксенсодержащего гнейса присутствуют два разных по составу *Grt*, что связано с мигматизацией, так в лейкократовой части *Grt* чуть более магнезиальный ( $Prp_{29-36}Alm_{57-61}Sps_{1-2}Grs_{4-6}$ ), меньше *Grs* и *Sps*, чем в матриксе ( $Prp_{27-30}Alm_{59-64}Sps_{2-3}Grs_{6-7}$ ).

*Bt* исследуемых образцов относятся к магнезиальным разностям ( $Mg\# = Mg/(Mg + Fe)$  0.64–0.77), с преобладанием в составе истонитового компонента, содержание  $TiO_2$  колеблется в широких пределах (0–6.72 мас. %). *Opx* представлен энстатитом с  $X_{Mg}$  0.57–0.64 содержанием  $Al_2O_3$  2.80–3.97 мас. %. Состав *Pl* в пределах образцов однороден и соответствует олигоклазу-андезину. *Kfs* соответствует *Or* с примесью *Ab* компонента. Максимальное содержание *Ab* в зернах с пертитами до 18–22 % *Ab*. *Spl* присутствует в одном образце в виде включений с *Qz* в *Grt* размер зерен до 0.3 мм, а также в матриксе с *Qz*. В составе шпинели преобладает шпинелевый минал  $Hc_{33-41}Spl_{40-44}Ghn_{17-21}$ , содержит примесь  $ZnO$  (8.0–10.1 мас. %),  $Cr_2O_3$  (0.1–0.4 мас. %) и  $MnO$  (0.0–0.15 мас. %). Кордиерит имеет высокую магнезиальность  $X_{Mg} = 0.83-0.84$ .

Несмотря на то, что *Grt* имеет регрессивную зональность по главным элементам, в спектрах распределения REE не наблюдаются заметной разницы между центральными и краевыми составами (Рисунок 1). В целом характер распределения REE в *Grt* с глубокой Eu-аномалией и относительно высоким  $Sm_N/Gd_N$  отношением (в среднем 0.60) является типичным для низкокальциевых гранатов гранулитовой фации метаморфизма (Jung, Hellebrand, 2006). Содержание Y в гранатах варьирует от 45.7 до 186 ppm (в среднем 92.3 ppm), положительно коррелируя с содержанием тяжелых REE. На достаточно высоком уровне находится содержание Ti (в среднем 176 ppm) и Zr (в среднем 32.9 ppm). Содержание Sr находится на низком уровне (в среднем 0.65 ppm), что указывает на совместную кристаллизацию граната и плагиоклаза.

Редкоэлементный состав биотитов фиксирует как совместную кристаллизацию с минералами-концентраторами легких REE (Ce–Nd) (монацит), так и разные стадии метаморфизма. Содержание Ti в биотите положительно коррелирует с температурой метаморфизма (Wu, Chen, 2015), поэтому возможно утверждать, что состав биотита с понижением содержания титана отражает регрессивный метаморфизм. Вместе с Ti в таких биотитах наблюдается понижение содержания и других элементов: V (от 1140 (в среднем) до 240 ppm), Cr (от 334 до 185 ppm), Sr (от 5.61 до 1.51 ppm) и Nb (от 32.5 до 1.13 ppm).

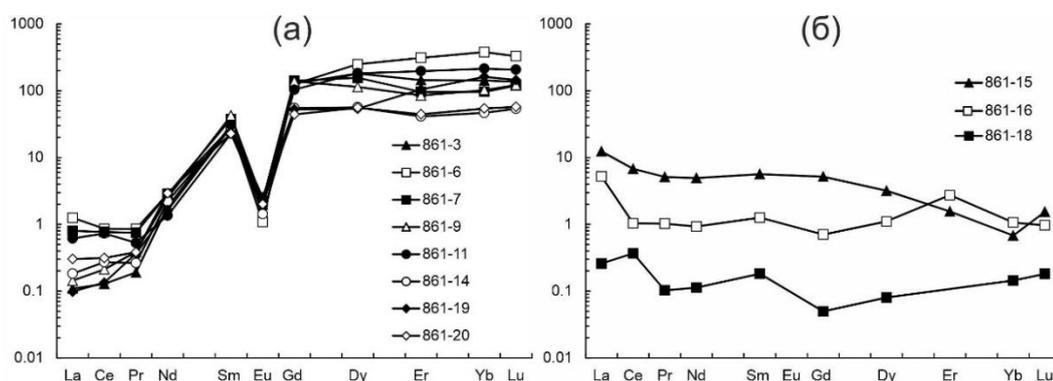


Рисунок 1. Пример спектров распределения REE, нормированные к хондриту CI, для гранатов (а) и биотитов(б) пород участка

Определение температуры и давления минералообразования производились методом мультиравновесной геотермобарометрии с помощью программы winTWQ (Berman, 1991), RCLC

(Pattison et al. 2003) и различных минеральных геотермометров и геобарометров, включенных в программу PTQuick (Симаков, Доливо-Добровольский, 2009; ссылки на инструменты в программе). Результаты расчетов представлена на Рисунке 2.

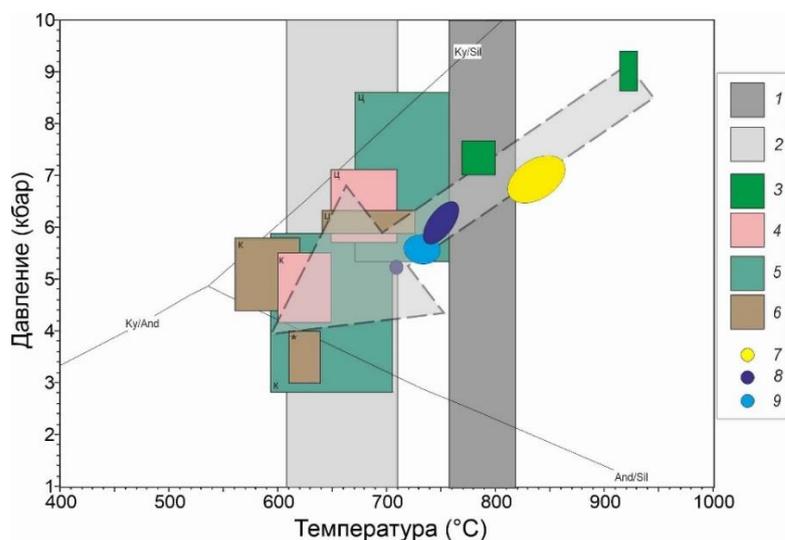


Рисунок 2. Схематизированный P-T тренд метаморфизма пород участка. Регрессивный тренд показан широкой серой стрелкой. Ограничены области, полученные с помощью классических методов геотермобарометрии для отдельных образцов: 1 – «Ti-в-кварце» (Wark, Watson, 2006), 2 – «Ti-в-биотите» (Wu, Chen, 2015), 3 – результаты расчета в RCLC (Pattison et al., 2003), 4 – Grt-Crd геотермобарометр, 5 – Grt-Opx геотермометр и Grt-Opx-Pl-Qz геобарометр, 6 – Grt-Bt геотермометр и Grt-Bt-Pl-Qz геобарометр; 7-9 P-T параметры, полученные методом winTWQ (Berman, 1991): 7 – Grt-Bt-Sil-Crd-Pl-Qz, 8 – Grt-Opx-Pl-Qz, 9 – Grt-Bt-Sil-Pl-Qz. Ц – центр граната, К – край граната, \* – Grt-Opx гнейс

### Выводы

Породы хапчанской серии характеризуются гранулитовыми парагенезисами: высокомагнезиальные гранаты в ассоциации с ортопироксеном, высокотитанистый биотит, пертитовый калиевый полево шпат, парагенезисы с силлиманитом и кордиеритом, а также находка парагенезиса шпинели с кварцем.

Породы участка подверглись гранулитовому метаморфизму с пиковыми условиями 915–930°C и 8.6–9.4 кбар, на регрессивной стадии происходило снижение температуры и давления, отражаемое в наступлении равновесий между минералами в породах, от 820–850°C и 6.6–6.8 кбар до 710°C и 5.2 кбар. Переуравновешивание Fe-Mg минералов и появление новых генераций биотитов на регрессивной стадии приводит к фиксации еще более низких параметров метаморфизма по минеральным геотермометрам и геобарометрам до 560°C и 3 кбар.

Реконструированный регрессивный тренд параметров метаморфизма с субизохорным охлаждением находит подтверждение в редкоэлементном составе биотитов, относящихся к различным стадиям метаморфизма. При понижении температуры метаморфизма, положительно коррелирующей с содержанием Ti, в биотитах происходит понижение всего спектра REE и Sr. Редкоэлементный состав гранатов с четко выраженной отрицательной Eu-аномалией и высоким значением  $Sm_N/Gd_N$  отношения является типичным для низкокальциевых гранатов гранулитовой фации.

### **Библиография**

1. *Zlobin V.L., Rosen O.M., Abbyasov A.A.* Two metasedimentary basins of the Early Precambrian granulites of the Anabar Shield (Polar Siberia) // Ed. M. Blum. International Association of Sedimentologists Special Publication 33. Fluvial Sedimentology VII. 2002. P. 275-291.
2. *Гусев Н.И., Романова Л.Ю., Скублов С.Г.* Эволюция метаморфизма в Хапчанской зоне Анабарского щита по редкоэлементному составу циркона из гнейсов // Современные проблемы геохимии. Материалы конференции молодых ученых (Иркутск, 11–16 сентября 2023 г.) Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 2023. С. 48-50.
3. *Jung S., Hellebrand E.* Trace element fractionation during high-grade metamorphism and crustal melting—constraints from ion microprobe data of metapelitic, migmatitic and igneous garnets and implications for Sm–Nd garnet chronology // *Lithos*. 2006. V.87(3-4). P. 193-213.
4. *Wu C.-M., Chen H.-X.* Revised Ti-in-biotite geothermometer for ilmenite- or rutile-bearing crustal metapelites // *Science Bulletin*. 2015. V.60(1). P.116–121.
5. *Berman R.G.* Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications // *Can. Mineral*. 1991. V.32. P. 833–855.
6. *Pattison D.R.M, Chacko T., Farquhar J., McFarlane C.R.M.* Temperatures of granulite facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange // *Jour. of Petrol.* 2003. V.44(5). P. 867–900.
7. *Симаков С.К., Доливо-Добровольский Д.В.* PTQuick: программа для определения условий равновесия минеральных парагенезисов методами классической геотермобарометрии. 2009. URL: <http://dimadd.ru/ru/Programs/ptquick>
8. *Wark D.A., Watson E.B.* TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer // *Contrib. Miner. Petrol.* 2006. V.152. P. 743–754.

*Общий обзор геологических и минералогических характеристик месторождений урана в  
Намибии*

*Лонго М.М. (РУДН, [madamalongo1709@gmail.com](mailto:madamalongo1709@gmail.com)),  
Котельников А.Е.\* (РУДН, [kotelnikov-ae@rudn.ru](mailto:kotelnikov-ae@rudn.ru)),  
Мишу Д.П. (РУДН, [doreenrichie98@gmail.com](mailto:doreenrichie98@gmail.com)),  
Джон Р.М. (РУДН, [isongoleboy@gmail.com](mailto:isongoleboy@gmail.com))*

**Аннотация**

В данной статье рассматривается геологическая и минералогическая характеристика урановых месторождений в Намибии, особенно в контексте орогенного пояса Дамара. Проанализированы различные этапы тектонической эволюции этого региона, включая внутриплитный разлом, период непрерывного расширения, субдукцию океана–континента, субдукционное столкновение и позднюю фазу коллизии. Дан обзор двух типов урановых месторождений в Намибии: первичного и вторичного уранового оруденения, включая их местоположение и характеристики. Отмечается значительный вклад Намибии в мировое производство урана, а также углублены аспекты формирования урановых месторождений в орогенном поясе Дамара.

**Ключевые слова**

Уран, Намибия, орогенный пояс Дамара, тектоническая эволюция.

**Теория**

В течение миллионов лет происходила непрерывная эрозия высокогорных плато, и вызванное этим перемещение Африканского континента на восток в течение кайнозоя привело к отложению речных и аллювиальных отложений в Намибии. Эти кайнозойские отложения являются источником поверхностного уранового оруденения по всей пустыне Намибия, которая расположена в западной части Намибии и называется органическим поясом Дамара [1].

Основываясь на характеристиках движения плит, тектоническая эволюция этого орогенного пояса была разделена на пять этапов.

Намибия является 4-м по величине производителем урана в мире и производит около 10% мирового урана.

**Основные этапы тектоники плит Дамарского орогенного пояса**

Орогенным поясом Дамара претерпел несколько отчетливых этапов в своей тектонической эволюции плит. Первоначально он пережил внутриплитный разлом около 750 миллионов лет назад, о чем свидетельствуют геологические данные. Эта фаза ознаменовала начало значительной тектонической активности в регионе. После разлома последовал период непрерывного расширения, продолжавшийся приблизительно от 730 до 600 млн лет, в течение которого геологические процессы продолжали формировать ландшафт и литосферу [2]. Это расширение, вероятно, способствовало расширению разлома и подготовило почву для последующих тектонических событий.

Примерно 580–560 млн лет назад субдукция океан–континент стала заметной в орогенном поясе Дамара, что означает сдвиг в тектоническом режиме. Эта фаза предполагает сближение тектонических плит, при этом океаническая кора вдавливается под континентальную кору. Впоследствии примерно между 550 и 540 млн лет назад произошло субдукционное столкновение, приведшее к дальнейшим сложным взаимодействиям между тектоническими плитами и формированию горного рельефа.

Наконец, поздняя фаза коллизии, имевшая место в период с 530 по 460 млн лет назад, ознаменовала кульминацию основных тектонических движений и установление геологического каркаса, характерного для орогенного пояса Дамара. Эти этапы тектоники плит сформировали

геологические и минералогические характеристики региона, дав ценную информацию о его геологической истории и эволюции [3].

### Основные месторождения урана

Орогенным поясом Дамара (внутриконтинентальная ветвь) имеет ширину примерно 400 км с севера на юг. Основываясь на различных характеристиках стратиграфии, разломах и основных линейных структурах, степени метаморфизма, магматической активности, геологическом возрасте и аэромагнитных аномалиях, орогенным поясом делится с севера на юг на северный террейн, северную окраину, северную зону, центральную зону и южную зону.

Центральный пояс разделен на две части, северный центральный пояс и южный центральный пояс, ограниченные разломом Омаруру.

Южно-центральный пояс, расположенный между разломом Омаруру и разломом Окаханджа, является основным районом распространения урановых месторождений Намибии.

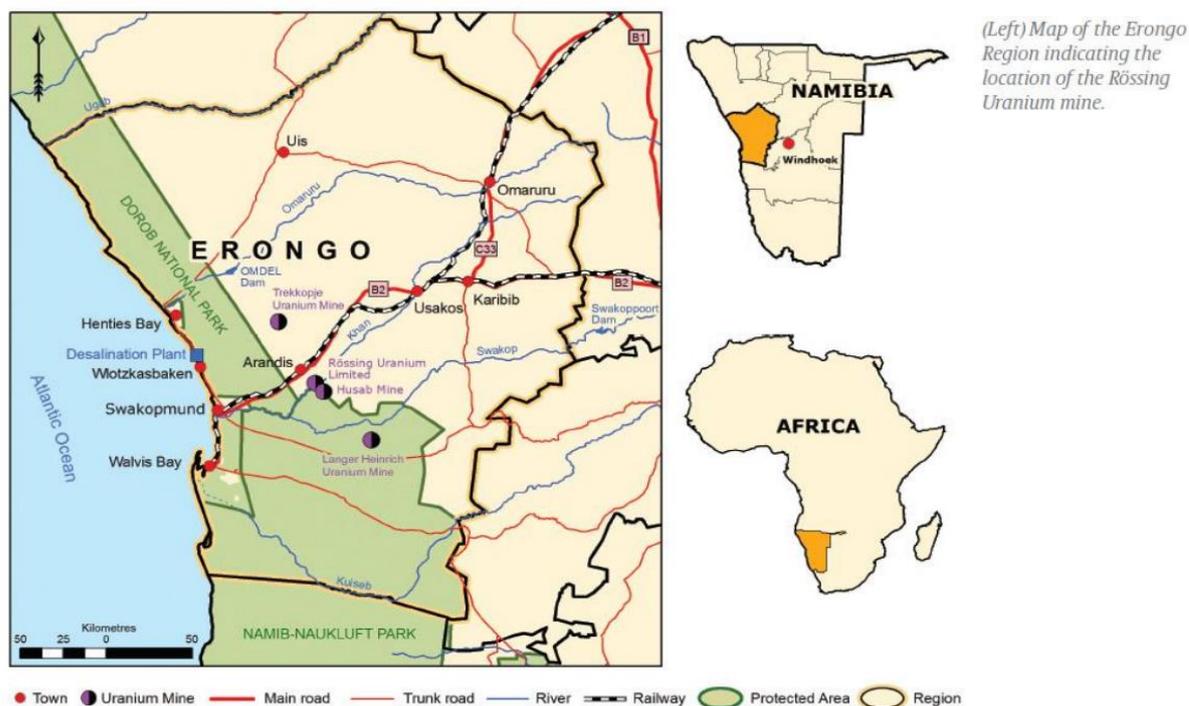


Рисунок 1. Карта добычи урана в Намибии

### Минерализация урана в Намибии

Урановое оруденение в орогенном поясе Дамара тесно связано с лейкогранитом. До периода субдукции и коллизии в лейкограните не наблюдалось урановой минерализации, но D-тип (белая, средне-крупнозернистая структура или структура пегматита, дымчато-серый кварц очень развит, богатые ураном минералы появляются в больших количествах и наиболее широко распространены) и E-тип (светло-красный, мелкозернистая до пегматитовой структуры, виден дымчато-серый кварц, отмеченный развитием ореола окисления, розовый снаружи круга и серовато-белый внутри круга) лейкограниты, образовавшиеся после периода коллизионного орогенеза, имеют прямые указания на урановую минерализацию [4].

Первичная урановая минерализация в Дамаринском орогенном поясе в основном сформировалась между 510 и 490 млн лет назад. Богатый U-образцами дамаринский фундамент является источником минералов для основного металлогенического периода урановых месторождений лейкогранитового типа. Рудообразующая материнская магма является результатом совместного действия ассимиляции и загрязнения, разделения и кристаллизации, и

соответствующим образом смешивается со среднеосновными компонентами для обогащения и осаждения минерализации в структурно слабых областях.

### **Выводы**

В заключение следует отметить, что в Намибии имеются два типа месторождений урана: первичное урановое оруденение и вторичное урановое оруденение. Первичная урановая минерализация встречается преимущественно в гранитных образованиях светлого цвета, особенно в рудниках Россинг и Хусаб, также известных как аляскит, представляющих большую часть урановых ресурсов Намибии. И наоборот, вторичная урановая минерализация происходит в отложениях известняка, в первую очередь наблюдаемая на руднике Лангер-Генрих.

### **Благодарности**

Данная статья была подготовлена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

### **Библиография**

1. Алмейда К.С., Лаура С.М., Ниса Ф.А., Соланж А., Лучиана К.О., Ситар Э.А., Апровадо А.Р.Э. Внутриконтинентальные складчатые пояса на примере Варисканского пояса Европы и Пояса Дамара в Намибии. Обзор бразильского лингвистического приложения. 2016, том 5. <https://revistas.ufrj.br/index.php/rce/article/download/1659/1508%0Ahttp://hipatiapress.com/hpjonals/index.php/qre/article/view/1348%5Cnhttp://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500799708666915%5Cnhttps://mckinseysociety.com/downloads/reports/Educa>.
2. Дебум М.Д. “Слияние в целях развития: китайские инвестиции, ресурсный национализм и политика распределения добычи урана в Намибии”. 2018, №. Август 2018. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18672.40963>.
3. Госкомб, Бен Д., Фостер А., Дэвид Г., Бен У. Эволюция орогенной системы Дамара: отчет о формировании Западной Гондваны и реакции земной коры. Геология Юго-Западной Гондваны. Международное издательство "Спрингер", 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68920-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68920-3_12).
4. Киннэйрд П., Джудит А., Некс А. М. “Обзор геологического контроля за минерализацией урана в листовых лейкогранитах в пределах Дамара, штат Орегон, Намибия”. Труды Институтов горного дела и металлургии, раздел В: Прикладные науки о Земле 116. 2007, № 2 (2007): 68–85. <https://doi.org/10.1179/174327507X167091>.

*Бентониты Устиновского месторождения (Приморский край): геологическая позиция и  
особенности минерального состава*

*Магана М.М.\* (ИГиНГТ КФУ, muntagakfu@gmail.com),*

*Сидорова Е.Ю. (ИГиНГТ КФУ, lena353@list.ru),*

*Ситдикова Л.М. (ИГиНГТ КФУ, sitdikova8432@mail.ru)*

**Аннотация**

Устиновское месторождение входит в небольшое число открытых месторождений бентонитового сырья Дальнего Востока, практическая значимость и широкое применение бентонитов в разных отраслях промышленности и хозяйства делает их детальное геологическое и минералогическое изучение особенно актуальным и практически значимым в настоящее время.

**Ключевые слова**

Бентониты, бентонитовые глины, минеральный состав, монтмориллонит, Устиновское месторождение.

**Теория**

Бентониты относятся к разновидностям глинистых пород, основным компонентом которых является монтмориллонит, кроме того, в них могут встречаться другие глинистые минералы, кварц, полевые шпаты, органическое вещество или другие компоненты. Особенности структуры и состава монтмориллонита определяют различные свойства бентонитов, наиболее значимыми из которых являются сорбционная и связующая способность, что дает возможность использовать их в различных отраслях как промышленное сырье (захоронение радиоактивных отходов, металлургия, буровые растворы, литейное производство, строительство, медицина, сельское хозяйство и т.д.). В пределах России месторождений бентонитов насчитывается более 20, основные из которых располагаются в Татарстане, Хакасии, Омской и Курганской областях [1]. Несмотря на минерально-сырьевой потенциал бентонитов в Дальневосточном регионе, включая Приморский край, преобладающая часть их запасов и ресурсов находится в нераспределенном фонде и не осваивается [4, 5].

Устиновское месторождение располагается недалеко от Устиновского сельского поселения Кавалеровского муниципального района центральной части Приморского края. Данная территория входит в состав Восточного Сихотэ-Алинского вулканического пояса и в связи с этим широкое развитие имеют магматические породы эффузивной и интрузивной групп, прорывающие вулканогенные и осадочные породы различного возраста и состава. В районе выявлены и подсчитаны запасы месторождений бурого угля, олова, строительных материалов, бентонитовых глин, перлитов и проявления цеолитов. В 70-х годах прошлого столетия поисково-разведочными работами в пределах Зеркальной вулканотектонической структуры был выявлен горизонт бентонитовых глин, имеющий протяженность более 6 км и относящийся к тадушинской свите палеогена. Горизонт в дальнейшем разделили на несколько площадей, изученность которых различна: Устиновское и Зеркальное месторождения (завершены поисково-оценочные работы), Заречный и Садовый участки (поисковые работы) [3]. На Устиновском месторождении подсчитаны запасы категории С1 в количестве 780 тыс. т., по техническим качествам бентониты данного месторождения могут использоваться для очистки нефтяных масел, отбеливания растительных масел, фильтрации серы от битумов и в формовочных смесях [2, 3].

Целью исследования является детальное изучение геологического строения и минерального состава бентонитов Устиновского месторождения. Объектом изучения послужили образцы кернового материала бентонитового горизонта нескольких скважин, которые были отобраны во время прохождения производственной геологической практики. Методика изучения

включает макроскопическое описание образцов, оптико-микроскопическое исследование прозрачных шлифов и рентгенодифракционный анализ порошковых проб.

Породы в пределах изучаемого месторождения представлены вулканогенно-осадочными образованиями палеоцена, продуктивный горизонт бентонитов представлен алевроитовыми туфами риодацитового состава и имеет различную мощность (от 5-10 до 40-60 м) [2, 3].

Согласно проведенным исследованиям образцы бентонитов имеют неравномернoзернистую, обломочную структуру – от средне-, крупнозернистой до мелкозернистой и пелитовой, текстура пород чаще массивная, среди основной глинистой массы располагаются обломочные зерна различного состава, размера и формы (рис. 1).

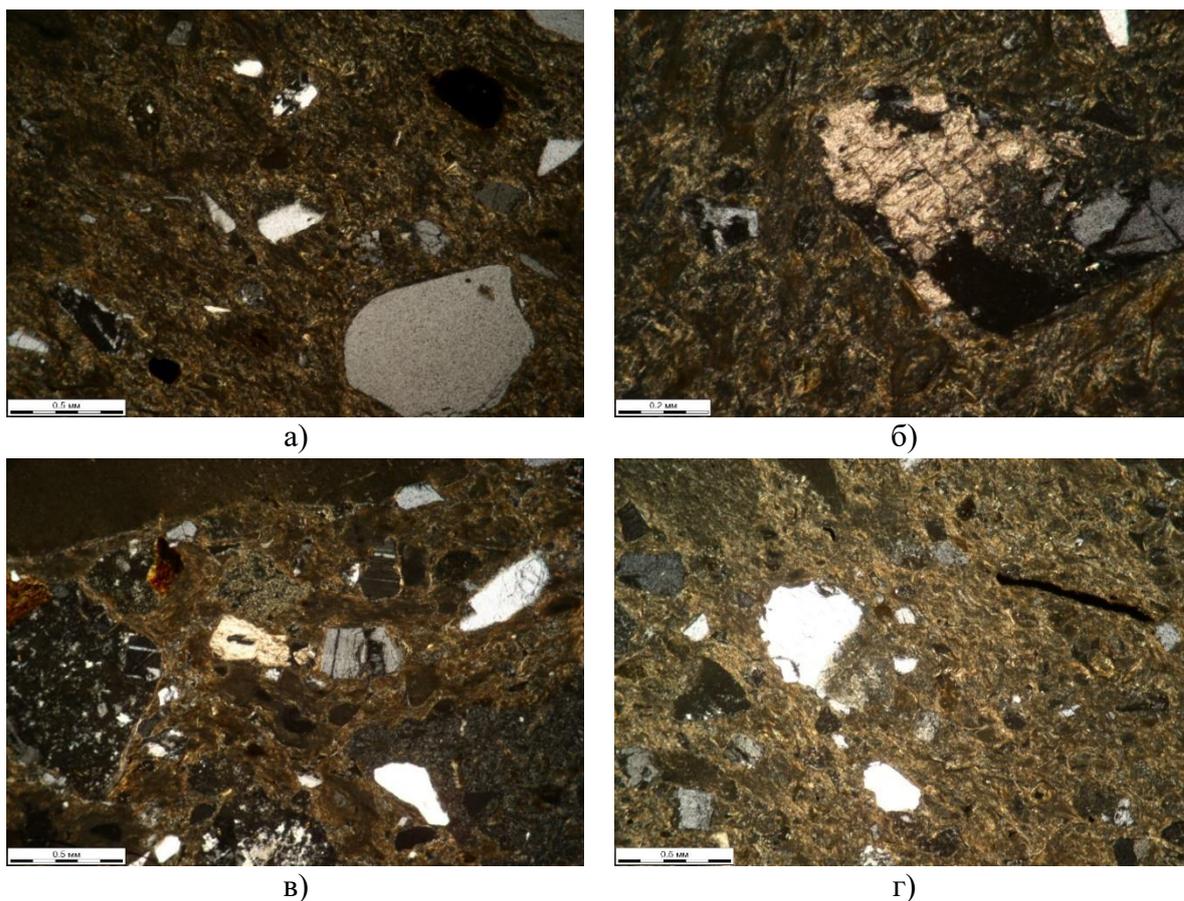


Рисунок 1. Фотографии прозрачных шлифов (николи скрещены) образцов бентонитов. а), б) образец №17-35; в), г) образец №90-32

По данным оптико-микроскопического изучения установлено, что породы представлены основной неоднородной тонкодисперсной глинистой массой с включениями обломочных зерен минералов и вулканитов, а также псевдоморфоз. Основная глинистая масса породы (до 50% и более) имеет волокнистую, спутанно-волокнистую, участками петельчатую и прожилковую, неоднородную текстуру с включениями глинистых псевдоморфоз (5-10%) по породообразующим минералам и обломкам вулканитов, форма и размер которых различны. Бентониты содержат значительное количество обломочных зерен, среди которых окатанные и угловатые зерна различного размера: кварц (до 20-40%) с размером зерен от 0,5 до 4 мм, полевые шпаты (кислый плагиоклаз, микроклин) до 10-30% (0,2-4 мм), биотит в виде удлиненных, таблитчатых, часто изогнутых и измененных чешуек размером 0,2-3 мм (5-10%), реже включения кальцита. Зерна рудных минералов (пирит, до 0,1-0,3 мм) встречаются в небольшом количестве

(около 1-3%), участками окислены, неравномерно рассеяны по породе и могут формировать скопления в отдельных участках.

Результаты рентгенодифракционного анализа порошковых проб изученных образцов говорят о том, что в составе глинистой компоненты бентонитов преобладает монтмориллонит (от 20% до 40-50% объема породы), реже встречается каолинит. В качестве дополнительных минеральных компонентов, часто в достаточно значительных концентрациях, содержатся кварц, полевые шпаты (микроклин, альбит), реже кальцит и слюды (биотит) (рис. 2).

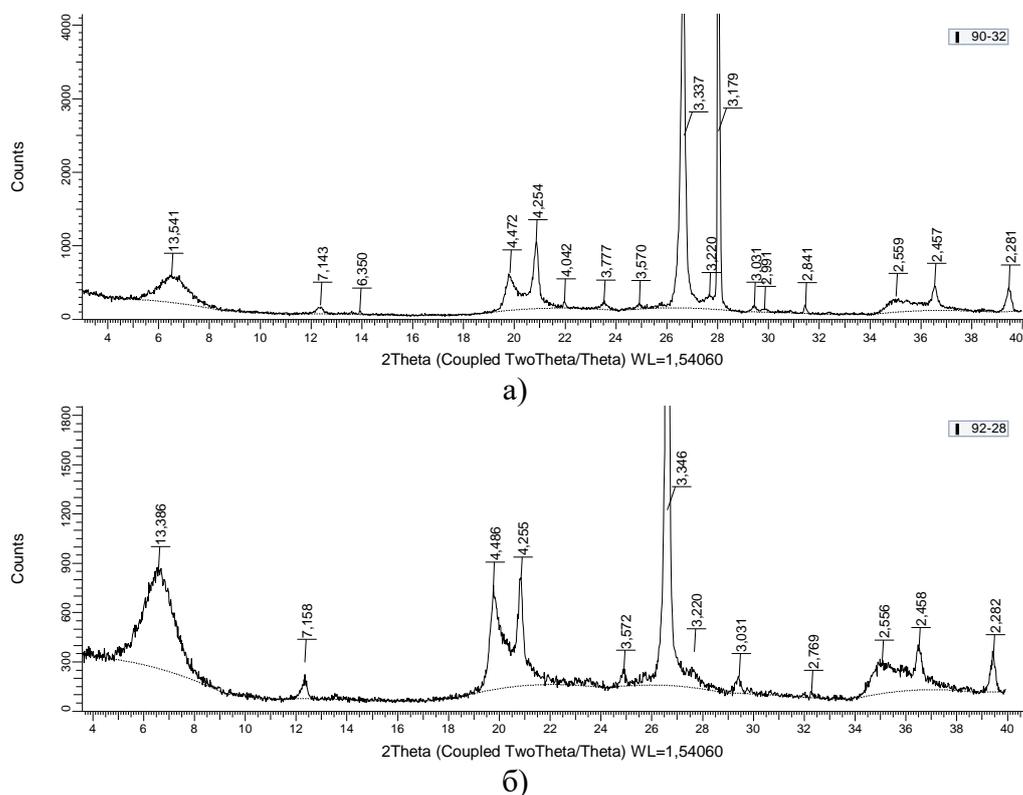


Рисунок 2. Рентгеновские диффрактограммы воздушно-сухих препаратов. а) образец №90-32, б) образец №92-28

Согласно полученным данным, изученные образцы отличаются по процентному содержанию основных минералов, что свидетельствует о неоднородном составе бентонитового горизонта по площади и разрезам скважин в пределах месторождения. Подробное изучение состава и структуры минералов глинистой компоненты (особенно монтмориллонита) и химических особенностей данных пород позволит дать детальную характеристику их качества как минерального сырья и условий формирования, что стоит в дальнейших планах работы авторов.

### **Выводы**

В России бентониты относятся к дефицитному виду минерального сырья, особенно высококачественные щелочные бентониты. Добыча их на Дальнем Востоке отсутствует, поэтому очевидно, что для данного региона и, Приморского края в частности, необходимо расширение минерально-сырьевой базы [2, 4], при этом бентонитовые глины требуют дальнейшего изучения и практического применения.

### **Библиография**

1. Белоусов П.Е., Крупская В.В. Bentonитовые глины России и стран ближнего зарубежья // Георесурсы, 2019. №21(3). С. 79-90.
2. Вафин Р.Ф., Сенаторов П.П., Кузнецов О.Б., Сабитов А.А. Минерально-сырьевая база неметаллических полезных ископаемых Дальнего Востока и ее значение для промышленно-экономического развития региона // Разведка и охрана недр, 2012. №5. С. 27-34.
3. Материалы по обоснованию проекта генерального плана «Проект внесения изменений в генеральный план Кавалеровского городского поселения Кавалеровского муниципального района Приморского края», 2019. 188 с.
4. Сабитов А.А., Руселик Е.С., Трофимова Ф.А., Тетерин А.Н. Bentonиты России: состояние освоения и перспективы развития сырьевой базы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2010. №5. С. 8-17.
5. Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д., Голозубов В.В., Гонохова Н.Г. Геология и полезные ископаемые Приморского края. - Владивосток, 1995. 68 с.

*Потенциальная золотоносность полосчатой железорудной формации Восточной  
пустыни Египта*

*Мансур А.Х. \* (МГРИ, университета Асьюта, Египет, geoahmedhassan2017@yahoo.com ),  
Верчеба А.А. (, МГРИ, verchebaaa@mgri.ru )*

**Аннотация**

Возможно, наиболее спорной по генезису категорией известных рудных месторождений являются докембрийские полосчатые железисто-кремнистые образования (Banded Iron Formation - BIF) (Harnmeijer, 2003). Месторождения железа часто бывают стратиформными и расслоенными. Они являются наиболее значимыми источниками железной руды в мире и широко распространены в архейских и протерозойских породах.

Управление промышленных минеральных ресурсов (IMRA), недавно обнаружило несколько BIF в регионе Увайнат на юго-западе пустыни Египта (рис. 1). Из-за высокого содержания SiO<sub>2</sub> руды этих BIF в Египте, составляющие 53 млн. тонн в настоящее время не разрабатываются.

**Ключевые слова**

Восточная пустыня Египта, полосчатые железисто-кремнистые формации (BIF), золотоносность, Ум-Нар, Габаль Эль-Хадида.

**Теория**

Наиболее известными местами появления BIF в докембрийских зеленокаменных породах восточной пустыне Египта являются Вади Карим, Ум-Нар, Абу-Марават, Эль-Дабба, Ум-Гамис, Габаль-эль-Хадида, Ум-Шадад и Абу-ди-Ван.

El Shimi исследовал распределение золота в районе Умм-Нар. Он обнаружили, что по сравнению с более богатыми магнетитом полосами золото более сконцентрировано в гематитовых прослоях. Исходным минералом, содержащим золото, был магнетит, и что выделение золота и его локальная концентрация в зоне гематита (мартита) были вызваны мартитизацией. Они наблюдали, что на стадии пластичной деформации минералы, содержащие Au, перемещались из мест с высокой деформацией в места с более низкой деформацией, увеличивая содержание золота в менее деформированных частях BIF.

Azzaz et.al. (1997) исследовали золотую минерализацию в некоторых районах Северо-Восточной пустыни. Сингенетическое дисперсное золото наблюдалось в районе Абу-Марават. Средняя концентрация золота составляет 1,5 г/т с диапазоном от 0,8 до 2,05 г/т. Были обнаружены значительные положительные корреляции между золотом и Cu, Ni, Co, Pb, Zn и V. Они предположили, что источником этих компонентов являются промежуточные и базальные источники.

Флюиды и рассолы выщелачивали золото и другие элементы в BIF из субаквальных вулканитов. Ahmed (2001) исследовал золотое оруденение в регионе Абу-Марават. Он пришел к выводу, что тектонические условия островной дуги привели к образованию известково-щелочных метавулканитов.

Минералогические исследования были проведены в юго-западной пустыне (Khalid et.al., 1998). Судя по U-Pb циркониевым датировкам, горные породы района в основном представляют собой ортогнейсы, пара- и амфиболитовые породы, возраст которых от архея до раннего протерозоя (Sultan et al., 1996). Они обнаружили, что полосы, богатые железом и кремнеземом, содержат крошечные частицы золота и скелетные зерна диаметром от 3 до 25 мкм. Они предположили, что железо и золото сингенетичны.

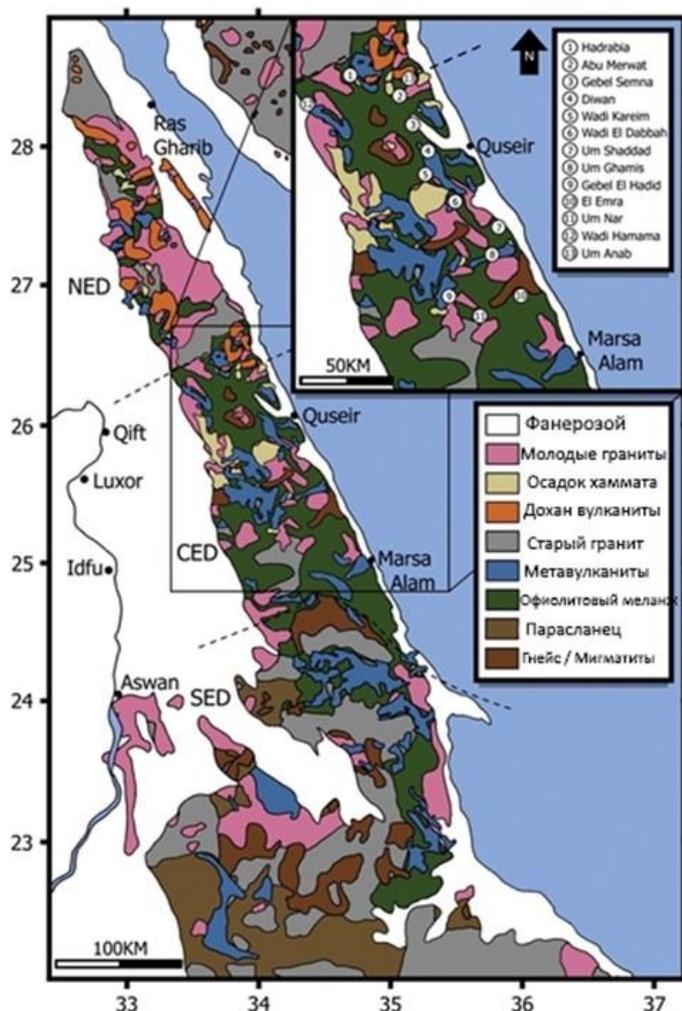


Рисунок 1. Литологическая схема отложений фундамента Восточной пустыни Египта (составлена из Breitkreuz et al. (2010), Egyptian Geological Survey (1981), и Stern and Hedge (1985)). Пунктирные линии представляют границы между северными, центральными и восточными пустынями. Вставка показывает расположение 13 месторождений полосчатых железных руд (в кружках)

Золото в железисто-кремнистых линзах в Габаль Камель, в юго-западной пустыне, было описано Khalid et.al. (2002). Они отметили наличие микрозернистого золота размером 3-25 мкм. Технологические испытания кучного выщелачивания и цианирование показали, что цианирование методом перемешивания приводит к наибольшему извлечению золота (80-92%) и, что размер зерен для данной технологии должен находиться в диапазоне 100-200 меш. В некоторых местах содержание железа достигает уровня железной руды среднего качества (32,4%), а в магнитном концентрате оно достигает 51,21%.

Согласно Azzaz et al. (1997), существует положительная корреляция между золотом и Cu, Ni, Co, Pb, Zn и V. Botros (2004) утверждает, что BIF в Восточной пустыне Египта отвечают следующим критериям сингенеза:

- стратиформные, ограниченные интеркалированными потоками лавы и слоистыми вулкано-кластическими породами;
- присутствие золотого оруденения не ограничивается конкретными разломными структурами, складками или зонами разломов;
- изменения вмещающих пород не задокументированы.

Согласно Votros (2002a), модель золотого оруденения Восточной пустыни включает в себя данные по ВIF, указывает на разрыв или прекращение вулканической деятельности при накоплении железисто-кремнистых пород. Согласно Sims and James (1984), наличие ВIF, которые считаются хемогенными отложениями, образованными во время перерывов вулканической активности, подтверждают существование таких перерывов. Он рассматривал золото, найденное в туфовых отложениях (в районе Абу-Марават), как своего рода фумарольные выбросы горячих источников.

El Shimi and Soliman (2002), Said et.al. (1998) рассматривали эпигенетическое происхождение золотой минерализации. Они продемонстрировали, что области высокой деформации пород в замке антиклиналей, где образуются трещины сдвига и растяжения, могли служить каналами и местами отложения флюидов, несущих золото, и имеют более высокую концентрацию золота.

В центральном и восточном регионах обнаружены две крупные кварцевые жилы. Каждая из них имеет мощность около трех метров. Преобладает кварц молочно-белого цвета. На местном уровне встречается кварц дымчатый и железистый (красноватого цвета). Жилы имеют склонение 60-80° к югу и простираются с юго-запада на северо-запад. Вплоть до начала 20-го века здесь проводилась добыча золота. До сих пор сохранились остатки бывших поселений (рис. 2).

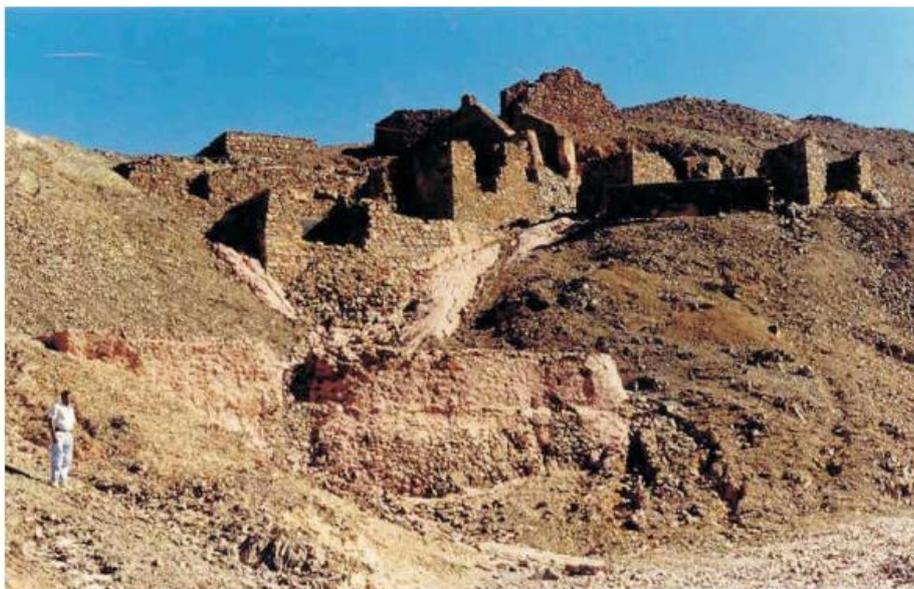


Рисунок 2. Руины золотого рудника Семна

### **Выводы**

На территории Восточной пустыни Египта выявлены два типа потенциальных золоторудных месторождений. В первом типе месторождений тонкодисперсное золото проявлено в породах полосчатой железисто-кремнистой формации. Скопления золота пространственно связаны с участками мартитизации вмещающих пород. Влияние структурного фактора на локализацию потенциальных месторождений не выявлено.

Второй тип потенциальных месторождений золота связан с золото-кварцевой формацией. Артефакты (рис.2) свидетельствуют, что именно эти жильные месторождения разрабатывались в I – III тысячелетии до нашей эры в Нубии и служили источником золота фараонов. Тогда были отработаны наиболее богатые золотом верхние части жил и высокопродуктивные зоны окисления. Золото-кварцевые месторождения по видимому были россыпеобразующими, что позволяло древним египтянам успешно заниматься золотодобычей

### **Библиография**

1. Ahmed, A.A., 2001: Geological and Mineralogical studies on Abu Marawat area, central Eastern Desert, Egypt. M.Sc., Fac. Sci., Sohag, South Valley Univ., 193p.
2. Azzaz, S.A., Sabet, A.H., Soliman, M.M. and Botros, N.S., 1997: Mode of occurrences and genesis of the gold mineralization in the northeastern Desert of Egypt. Egypt. Mineralogist, 9, 169 – 185.
3. Botros, N.S., 2004: A new classification of the gold deposits of Egypt. Ore Geology Reviews, 25, 1 – 37
4. El Shimi, K.A.M. and Soliman, A.A., 2002: Gold mineralization associated the Banded Iron Formations in the central Eastern Desert of Egypt: First record. Ann. Geol. Surv. Egypt, XXV, 281-299.
5. Harnmeijer, J.P., 2003: Banded Iron Formation: A Continuing Enigma of Geology. Project essay. Washington Univ., 25p.
6. Khalid, A.M, Shaaban, G.M, Khattab, M.M, Abu Salem, A.O., Attia, M.N. and Habib, A.H., 1998: Results on Geological and Geochemical Exploration at Gabal Kamel and Gabal Nazar, Western Desert, Egypt. Geol. Surv. Egypt, Internal Report No. 73/98, 230p.
7. Said, M.M., Khalid, A.M., El Kady, M.F., Abu Salem, A.O. and Ibrahim, M.M., 1998: On the structural evolution of the Banded Iron Formation of Gabal Kamel and its role in the gold mineralization. Ann. Geol. Surv. Egypt, XXI, 345 – 352.

*Quality characteristics and resource potential of kaolin feldspar in Tam Nong area, Phu Tho province, Vietnam*

*Nguyen Thi Thanh Thao (Doctor, Faculty of Geosciences and Geology Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam; Email: nguyenthithanhthao@humg.edu.vn)*

**Annotation**

The article evaluates the distribution, quality, and potential of kaolin-feldspar in the Di Nau area of Tam Nong, Phu Tho, Viet Nam. The research results reveal numerous pegmatite outcrops distributed extensively throughout the region. The kaolin-feldspar in the area is primarily formed from pegmatite formations belonging to the Late Paleozoic Tan Phuong granite complex. The feldspar ore bodies in the study area exhibit lens-like and complex vein structures, closely associated with the pegmatite formations; the kaolin bodies appear in lens-like forms. Kaolin and feldspar in the area meet the quality requirements of several industries. The total estimated kaolin-feldspar resources, calculated using geological block and vertical parallel cross-sectional methods for the 333+334a level, amount to 313,148 tons.

**Key words**

Feldspar, outcrops, kaolin, Tam Nong, electron microscopy.

**Theory**

Previous geological surveys have identified numerous pegmatite outcrops distributed extensively throughout the research area. Kaolin-feldspar in the Tam Nong area of Phu Tho is mainly formed from pegmatite formations belonging to the Tan Phuong complex. With the increasing demand for kaolin and feldspar in recent times, studying the distribution and quality characteristics of kaolin-feldspar will contribute to guiding exploration, exploitation, and rational use of this resource. Based on the analysis results and resource estimation methods, this paper elucidates the distribution characteristics, quality, and resources of kaolin and feldspar in the Di Nau area of Tam Nong, Phu Tho, Vietnam. This serves as important reference material for directing investments in the exploration, exploitation, and processing of kaolin and feldspar, thus enhancing economic efficiency.

The geological structure of the area is characterized by a diverse presence of sedimentary, metamorphic, and volcanic formations of Neoproterozoic, Paleozoic, Mesozoic, and Cenozoic ages. The formations of the Proterozoic Thach Khoan stratigraphic unit include mica schist, mica-schist with staurolite and distene, quartz-mica-garnet-bearing small lenses of migmatite, and white quartzite. In areas where the Tan Phuong magmatic complex is exposed, it occurs as blocks and bands of various sizes, mainly in the northwest and near the center. The complex is composed of biotite granite, plagiogranite, pegmatite, and aplites [1].

Exploration and evaluation activities have identified numerous occurrences of kaolin-feldspar mineralization, including the excavation of five ore bodies (TK.1, TK.2, TK.3, TK.4, and TK.5). These ore bodies have thicknesses ranging from 10 m to 30 m and lengths from 50 m to 200 m, oriented along the meridian with dips towards the east-northeast at angles of 30-50 degrees. The ore bodies consist of mica schist of the Thach Khoan stratigraphic unit in the footwall and hanging wall. The upper portion, from 0.5 m to 30.0 m, contains altered pegmatite transformed into white opaque kaolin with sporadic yellowish-gray patches [2].

*Methods:* The analysis methods employed include scanning electron microscopy (SEM) with energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), X-ray diffraction analysis (XRD), X-ray fluorescence analysis (XRF), and others. The reserve estimation methods utilized are geological block modeling and straight parallel cross-sectional methods [3].

*Characteristics of kaolin quality:* According to X-ray diffraction (XRD) analysis, raw kaolin samples consist of mineral components such as kaolinite, quartz, feldspar, illite, goethite, and talc. The

major chemical composition of kaolin comprises  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Chemical analysis of kaolin samples from the study area shows varying content of  $\text{SiO}_2$  ranging from 59.88 % to 67.08%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  from 19.98 % to 25.15 %;  $\text{TiO}_2$  0.04 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  from 0.54 % to 1.31 %;  $\text{FeO}$  from 0.10 % to 0.12 %;  $\text{CaO}$  from 0.56 % to 0.98 %;  $\text{MgO}$  from 0.20 % to 0.30 %;  $\text{K}_2\text{O}$  from 1.40 % to 4.20 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  from 2.33 % to 5.26 %;  $\text{SO}_3 < 0.01$ ; and loss on ignition from 3.18 % to 5.88 %. The results are consistent with findings from other published studies on kaolin [4,5].

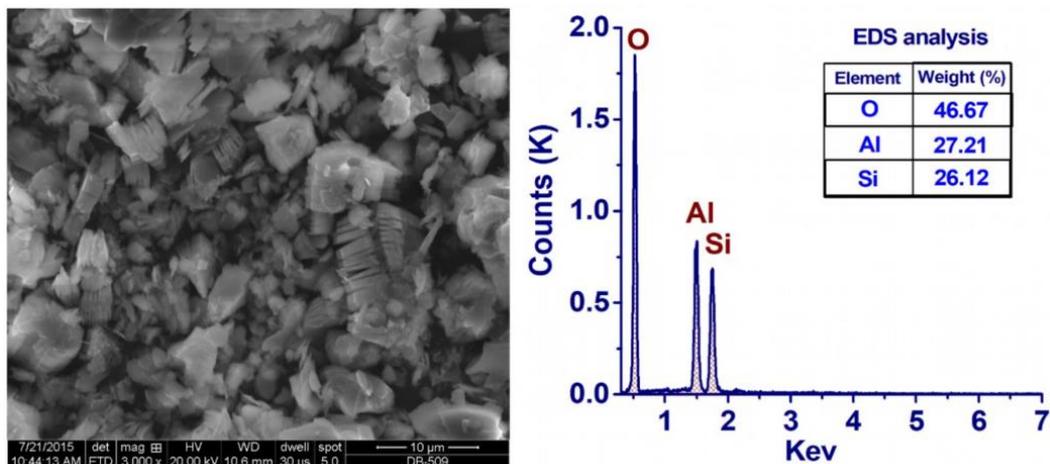


Figure 1. SEM image and EDS analytical results of the kaolin in the area

Analysis of the refractoriness of the samples indicates that kaolin with a particle size less than 0.21mm exhibits relatively high refractoriness, ranging from 1440 °C to 1480 °C. Regarding physical properties, kaolin in the study area is characterized by softness and friability. Analysis of natural moisture content ( $W_m$ ) shows variations from 11.84% to 14.31%, bulk density ( $\gamma$ ) ranges from 1.47 to 1.62  $\text{g/cm}^3$ , true density ( $\rho$ ) varies from 2.62 to 2.67  $\text{g/cm}^3$ , and porosity ( $n$ ) ranges from 45.8 % to 50.8 %.

The experimental results of kaolin samples in the studied area show that the color, moisture content, shrinkage, porosity, water absorption, and refractoriness of kaolin depend on the firing temperature. The technical characteristics of kaolin in the research samples are presented in Table 1-4.

Table 1

Whiteness of kaolin in the area when calcined at different temperatures

Whiteness of kaolin in the area when calcined at different temperatures (%)									
105 - 110 °	900 °	1000 °	1050 °	1100 °	1150 °	1200 °	1250 °	1300 °	1350 °
Gray white	Pink	> 65	71	71	71	79	85	85	85
Gray white	Pink	Pink	> 65	> 65	> 65	75	80	85	> 85
Yellow	Brick gold	Pink	Pink	> 65	>65	70	70	> 75	> 75
Pink	Pink	-	-	74	74	74	> 74	81	81

Table 2

Shrinkage of kaolin in the area when calcined and dried

Status	Shrinkage of kaolin in the area (%)		
	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Average</i>
After drying at 105 - 110 °C	5.3	6.9	6.10
From 105 - 110 °C to 1300 °C	5.8	8.5	7.0
Total shrinkage when heated at 1300 °C	11.3	14.6	12.6

Table 3

Porosity, water absorption, and volumetric weight of kaolin in the area

Temp.	Index	From	To
At 1250 °C	- Porosity (%)	34.0	40.6
	- Water absorption (%)	21.4	26.0
	- Volumetric weight (g/cm <sup>3</sup> )	1.57	1.76
At 1350 °C	- Porosity (%)	27.5	37.0
	- Water absorption (%)	18.7	22.0
	- Volumetric weight (g/cm <sup>3</sup> )	1.69	1.99

Table 4

The plasticity index of kaolin in the area when passing through a 0.21mm sieve

<i>Parameter</i>	<i>From (%)</i>	<i>To (%)</i>	<i>Average (%)</i>
Flow limit	39.40	51.50	44.10
Plastic limit	19.60	26.45	22.45
Plasticity index	18.58	25.05	21.62

*The quality characteristics of feldspar.* According to the thin section petrographic analysis results, the mineral composition of feldspar mainly consists of potassium feldspar, plagioclase, quartz, muscovite, garnet, apatite, and ore minerals (Figure 2).

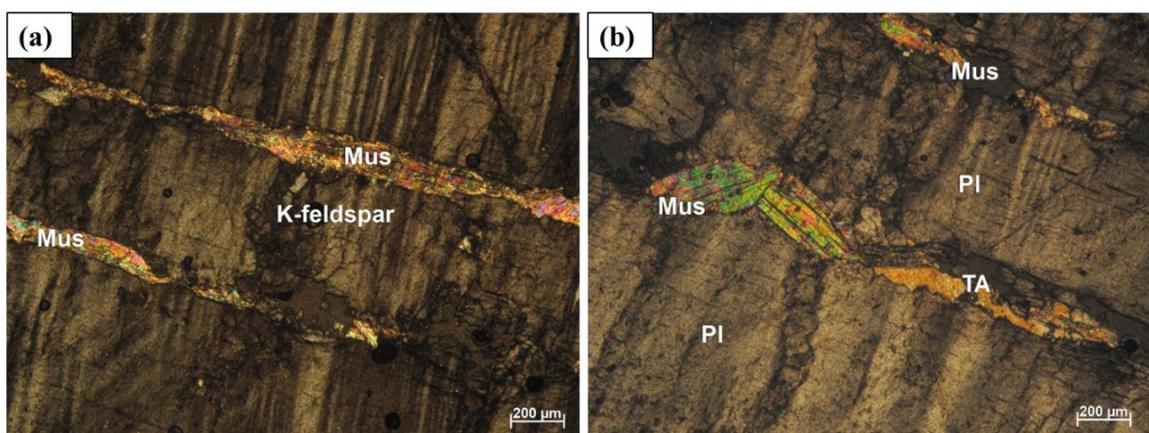


Figure 2. Petrographic analysis results: Pegmatite is composed of very large-sized minerals, mainly consisting of two types of potassium feldspar (K-feldspar) and plagioclase (Pl), quartz (TA); Accessory minerals include muscovite (Mus), chlorite and goethite (not shown here).

**Chemical composition:** The results of the basic chemical composition analysis of feldspar in the area show that the content of oxides in the ore includes: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ranging from 0.28 % to 1.45 %; K<sub>2</sub>O from 3.62 % to 9.19 %; Na<sub>2</sub>O from 1.26 % to 4.76 % and the total K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O reaching from 6.63 % to 10.9 %. The overall synthesis of grouped sample parameters indicates that the oxide content varies moderately: SiO<sub>2</sub> ranging from 73.78 % to 74.72 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from 14.67 % to 15.31 %; TiO<sub>2</sub> 0.02 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> from 0.23 % to 0.30 %; FeO from 0.25 % to 0.39 %; CaO from 0.56 % to 0.91 %; MgO from 0.30 % to 0.35 %; K<sub>2</sub>O from 2.60 % to 3.53 %; Na<sub>2</sub>O from 4.46 % to 5.19 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> from 0.05 % to 0.10 %; MnO <0.01 %; and loss on ignition from 0.32 % to 0.50 % and SO<sub>3</sub> from 0.01 % to 0.02 %.

**Physical properties:** Rock samples were taken from both weathered and unweathered pegmatite for analysis. The results of the study show that the natural moisture content (W<sub>m</sub>) varies from 0.25 % to 0.36 %, the natural volume density ranges from 2.58 to 2.59 g/cm<sup>3</sup>; the density ranges from 2.65 to 2.66 g/cm<sup>3</sup>, and the porosity is 2.6 %.

**Resource Potential Assessment:** Based on the analysis of the morphology, size, and orientation of the ore bodies along with the level of exploration, to reliably assess the resource potential of feldspar-kaolin ore, it is necessary to utilize both geological block modeling and cross-sectional methods. Geological block modeling is applied to estimate the kaolin ore resources. According to this method, the kaolin ore resources are calculated using the formula:

$$Q = V \times \bar{d}_k \times \bar{t}_k \quad (1)$$

In which: Q - Kaolin resources (tons),

V - Volume (m<sup>3</sup>),

$\bar{d}_k$  - Average cubic weight (t/m<sup>3</sup>),

$\bar{t}_k$  - Average mass recovery (%).

The straight parallel cross-sectional method is applied to evaluate the feldspar ore resources within pegmatite bodies of sufficient thickness that have undergone extraction through mining operations and drilling along parallel lines. This method allows for the estimation of resources within the volume between two parallel cross-sections by calculating the volume of that block.

Table 5

Results of calculating resources of kaolin-feldspar ore bodies in the study area

Ore body	Kaolin Resources (Tons)		Feldspar Resources (Tons)
	Level 333 [6]	Level 334a	Level 333
TK.1	37,344		8,392
TK.2	69,737		
TK.3	11,343		115,558
TK.4	55,704		
TK.5		15,070	
<b>SUM</b>	<b>174,128</b>	<b>15,070</b>	<b>123,950</b>

### Conclusion

The kaolin-feldspar formations in the studied area are quite prevalent, distributed among 5 ore bodies within formations of the Thach Khoan and Tan Phuong systems. The feldspar ore bodies in the study area exhibit lens-shaped and complex vein structures, while the kaolin bodies take on a lens-like form, depending on the topography. The kaolin-feldspar in the area meets the quality requirements of various industries [7]. The potential resources of kaolin-feldspar in the area, initially calculated using geological block and straight parallel cross-sectional methods, are estimated at 298,078 tons for kaolin-feldspar level 333 and 15,070 tons for level 334a. The total resources for kaolin-feldspar levels 333+334a

amount to 313,148 tons. In the future, to enhance the value of this mineral resource, further research on beneficiation and enrichment technologies is needed to recover high-quality ore concentrates that meet the quality standards for ceramic and porcelain sanitaryware production.

### **References**

1. Bui Hoang Bac, et al., (2018). Distribution and characterization of nanotubular halloysites in the Thach Khoan area, Phu Tho, Vietnam. *Minerals*, 8(7), 290.
2. Nguyen Minh et. al., (2017). Additional assessment of kaolin, feldspar and associated mineral potential in Tam Nong district and Thanh Thuy district, Phu Tho province. *Geological Archives, Hanoi (in Vietnamese)*.
3. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation (2014). Second Edition. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Australia, pp. 902.
4. Murray H.H., Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: A general overview, *Applied Clay Science*, 17 (2000) 207–221
5. Olaremu A G 2015 Physico-Chemical Characterization of Akoko Mined Kaolin Clay J. *Miner. Mater. Charact. Eng.* 03 353–61
6. Decision No 06/2006/QD-BTNMT promulgating Regulations on the classification of solid mineral resources and reserves. The Minister of Natural Resources and Environment of Vietnam.
7. M.S. Prasad, K.J. Reid, H.H. Murray (1991). Kaolin: processing, properties and applications. *Appl. Clay Sci.*, 6 (1991), pp. 87-119.

*Подсекция 6.2. Минералогия, петрография и геммология*

*Особенности изменения магнетита в кимберлитовых породах*

*Зинчук М.Н.\* (ЗЯНЦ АН РС (Я), [nzinchuk@rambler.ru](mailto:nzinchuk@rambler.ru)),*

*Зинчук Н.Н. (ЗЯНЦ АН РС (Я), [nzinchuk@rambler.ru](mailto:nzinchuk@rambler.ru))*

**Аннотация**

Проведенное комплексное исследование магнетита из кимберлитов ряда диатрем Сибирской платформы (СП), а также из перекрывающих их верхнепалеозойских осадочных толщ показало специфичность их фазового состава и структурных особенностей. Процесс изменения магнетитов сопровождается окислением ионов  $Fe^{2+}$  в октаэдрической позиции минерала и постепенным переходом его в маггемит. Отмеченная «нестехиометричность» магнетитов из кимберлитов и вмещающих их пород должна учитываться при количественном определении минерала при их количественных определениях.

**Ключевые слова**

Кимберлиты, Сибирская платформа, магнетит.

**Теория**

Под новообразованиями кимберлитов мы понимаем все минералы, образованные из термальных растворов, под которыми подразумеваются не только постмагматические ювенильные, но и растворы, образовавшиеся как в период формирования диатрем, так и на более поздних этапах их становления. Граница между первичными и вторичными минералами кимберлитов в ряде случаев до некоторой степени является условной. В результате комплексного изучения с применением комплекса современных физико-химических методов в кимберлитах диагностировано более 60 минералов, относящихся к классам силикатов, карбонатов, оксидов и гидроксидов, сульфатов, сульфидов, галогенидов, боратов и битумов.

Результаты исследований. Изучение кимберлитовых пород показали, что в их тяжелой фракции наиболее характерными минералами являются магнетит и обогащенная магнием разновидность ильменита – пикроильменит. Магнетит и некоторые (в основном менее обогащенные Mg) разновидности ильменита свойственны также породам трапповой формации – долеритам, туфам и туфогенным образованиям. Магнетит широко распространен в кимберлитовых породах многих диатрем [1-4], где зачастую распылен в основной массе пород (рис.1); отмечается в виде неправильных выделений, конкреций и жеод, а также в отдельных серпентиновых псевдоморфозах. Он образует также мелкие (1,0-2,5 мм) или ветвящиеся прожилки (до 5 мм) с нечеткими очертаниями. В жеодах и конкрециях октаэдрические кристаллы этого минерала, ассоциируют обычно с кальцитом, баритом и серпентином. Вокруг вкрапленников и по краям прожилков серпентина обычно также отлагается пелитоморфный магнетит. С сульфатами железа у магнетита в большинстве случаев наблюдаются взаимные переходы. В отдельных трубках преобладают [5-7] ветвящиеся прожилки магнетит-серпентинового состава мощностью до 3-5 мм. В пирраурит-кальцитовых и кальцитовых прожилках встречаются ряд морфологических простых форм магнетита и продуктов его изменения (гётита, а иногда и гематита). В кимберлитовых породах многих кимберлитовых полей Сибирской платформы (СП) выделяются [7-9] две важнейшие морфологические разновидности магнетита (рис.1): а) крупнозернистые агрегаты (нередко радиально-лучистого строения) или сростки кристаллов, реже отдельные кристаллы; б) скопления мелкозернистого магнетита, которые либо образуют в породе неправильные гнезда, полосы и линзы, либо равномерно в ней распределены. Магнетит диагностировался по интенсивным рефлексам в области 0.253, 0.1612-0.1615 и 0.1483-0.1484 нм. Полная очистка магнетита от сопутствующих

минералов достигалась не всегда. Особенностью рассматриваемого магнетита является разная степень развития по нему маггемита или  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (0,252, 0,2087 и 0,1606 нм). Минералы когерентно связаны друг с другом и имеют сходную структуру и состав. В качестве объектов изучения были выбраны выделения магнетита и ассоциирующего с ним серпентина в кимберлитах из трубок Удачная и Сытыканская, а также пелитовой составляющей обогащенных рудными минералами верхнепалеозойских осадочных толщ, перекрывающих трубку Комсомольская.

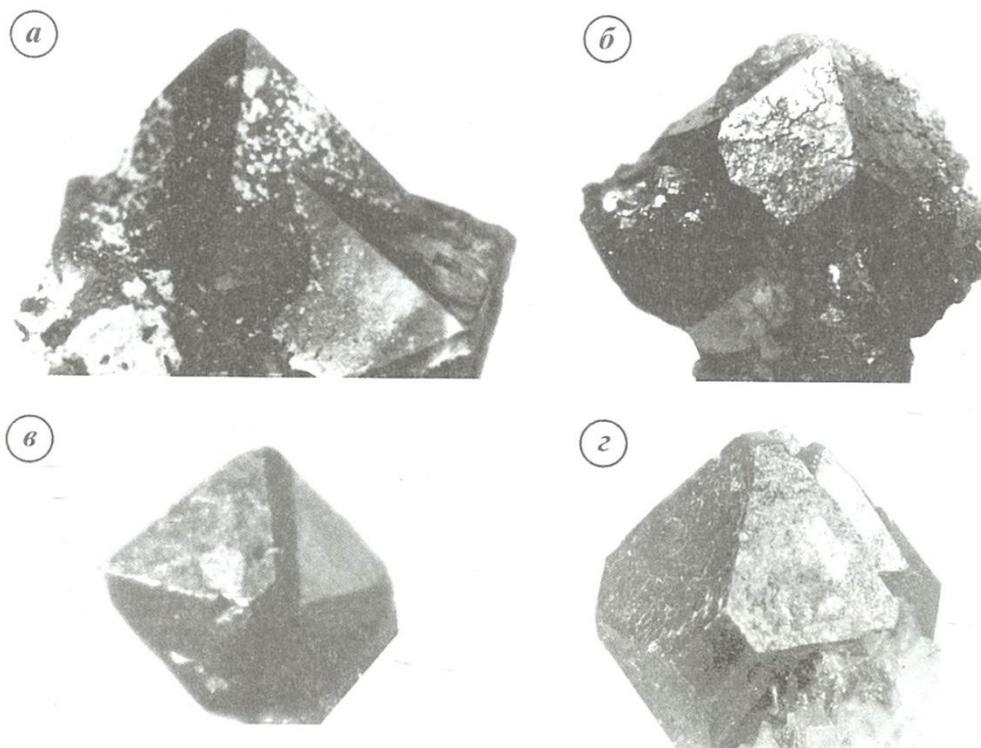


Рисунок.1. Морфология кристаллов магнетита из кимберлитов СП: а – сростки октаэдрических кристаллов из кимберлитов трубки Заполярная (обр.14/60, увеличение 12,5); б – комбинированный многогранник из кимберлитов трубки Заполярная (обр.14/60, увеличение 35); в – кристалл ромбододекаэдрического габитуса из кимберлитов трубки Ленинградская (обр.8/250, увеличение 20); г – кристалл октаэдрического габитуса с подчиненными гранями куба из кимберлитов трубки Юбилейная (обр.Ю-12/121, увеличение 10)

Комплексному исследованию подвергались также исходные породы и выделенные из них методом магнитной сепарации мономинеральные фракции магнетита. Кимберлитовая трубка Удачная состоит [6-8] из двух сопряженных тел (западного и восточного) и имеет на дневной поверхности форму искаженной восьмерки. Fe-содержащие минералы распределены в объеме диатремы неравномерно. ЯГР-спектры поглощения указанных выделений серпофита представляют суперпозицию ряда лоренцевых линий (многолинейный спектр), соответствующий магнетиту, пикроильмениту, серпентину и следам гематита. Главнейшими минералами черных включений в серпофитах выделенных на дифрактометрических кривых являются магнетит и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с незначительной примесью кальцита. Этим образованиям согласно валовому химическому анализу свойственна повышенная концентрация  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (60,84%) и FeO (25,28%). Наблюдаемое в ЯГР-спектре рассматриваемого магнетита отклонение от идеального

соотношения интенсивностей крайних левых резонансных линий спектров поглощения ( $I_A/I_B$ ) связано, вероятнее всего, с «нестехиометричностью» минерала, обусловленной частичным окислением, т.е. маггемитизацией его. В соответствии с данными химического анализа в указанных участках породы отмечается повышенная концентрация  $\text{SiO}_2$  (39,15%) и  $\text{MgO}$  (38,35%), что связано с доминирующей ролью в них серпентина (85,5%), ассоциирующего с небольшой 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 в основном сильными линиями пикроильменита и серпентина, а также слабыми – «нестехиометрического» магнетита. Довольно близкий фазовый состав (с иным количественным соотношением фаз) установлен в серовато-зеленых выделениях серпофита из этой же части западного тела рассматриваемой трубки. В *черных прожилках серпофита* установлены [3-5] магнетит и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  с незначительной примесью кальцита. Согласно данным химического анализа, этим участкам свойственна повышенная концентрация  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (60,27%) и  $\text{FeO}$  (24,34%) с незначительной примесью других оксидов, главными из которых являются  $\text{CaO}$  (4,42%),  $\text{MgO}$  (3,32%) и  $\text{SiO}_2$  (2,08). Для ЯГР-спектров указанных прожилков характерно преобладание линий «нестехиометрического» магнетита, по которым был произведен пересчет содержащейся в них фактической доли магнетита (до 90,5%). Согласно полученным данным, в рассматриваемом минерале содержится (в %):  $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  (98,89);  $\text{MnO}$  (0,87);  $\text{MgO}$  (0,47);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,06); сумма 99,29 ( $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$  не обнаружены). Кроме магнетита, ассоциирующего с серпентином в жильных выделениях, нами изучен этот минерал из кимберлитов трубки *Сытыканская*. При исследовании магнитной фракции, выделенной из пород трубки Сытыканская, в ЯГР-спектре идентифицируются линии «нестехиометрического» магнетита, что обычно соответствует так называемому *оксимagnetиту* [8]. Учитывая, что магнетит ассоциирует в кимберлитах с другими рудными минералами, нами проведено сравнительное исследование *монофракций пикроильменита* из трубки Сытыканская. Особенностью изученных нами пикроильменитов, по сравнению с магнетитами, является более высокая степень окисления в них железа. 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 можно использовать для повышения эффективности поисков кимберлитовых трубок и совершенствования технологического процесса отработки месторождений. Согласно рентген-дифрактометрическим данным, 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,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и пикроильменитом [9]. Изучение черных осадочных пород позднепалеозойского возраста, перекрывающих трубку Комсомольская, в которых доминируют магнетит и  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , ассоциирующие с кварцем, серпентином и реже с кальцитом.

### **Выводы**

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  $\text{Fe}^{2+}$  в октаэдрической позиции минерала и последовательным переходом его в маггемит. Для всех исследованных магнетитов отношение  $\text{Fe}^{3+}$  в А-позиции к  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  в В-позиции, составляющее в «идеальном» магнетите ~0,5 в кимберлитах увеличивается до 1,05, а в продуктах переотложения последних и вмещающих кимберлитовые тела долеритах соответственно до ~1,1 и 1,1 и ~1,5. Полученные данные об

отсутствии изоморфного замещения  $Fe^{2+}$  на  $Mg^{2+}$  и другие ионы в октаэдрической позиции структуры магнетита показывают, что возникновение оксимagnetитов в кимберлитах связано с образованием их в результате вторичных процессов восстановления  $\alpha-Fe_2O_3$  (при уменьшении в среде минералообразования парциального давления  $O_2$ ). Взаимодействие других магнийсодержащих минералов с  $Fe_2O_3$  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 должна учитываться при количественном определении содержания магнетита в них с помощью химического анализа. Значительно меньшие значения размеров кристаллов, идентифицируемых ЯГРС, по сравнению с необходимыми для рентгеновских исследований, позволяют изучать более мелкокрапленные 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  $1200^\circ C$ . Кристаллохимические особенности магнетитов с учетом стадийности их изменения рекомендовано 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. При выяснении типоморфных признаков Fe-содержащих минералов в кимберлитах следует иметь в виду, что верхние части диатрем на многих древних платформах Мира существенно изменены и представляют собой типичную кору выветривания и влияние гипергенных процессов на них может прослеживаться на значительные глубины от поверхности. Особый интерес представляет вопрос о минеральном составе пелитовой составляющей выветрелых кимберлитов. Изучение сформировавшегося на кимберлитовых диатремах элювия и типоморфных особенностей присутствующих в нём Fe-содержащих минералов может быть использовано как для повышения эффективности поисков таких трубок, так и совершенствования технологического процесса отработки месторождений.

### **Библиография**

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т.361. №-3. С.366-369.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логинова А.М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т.138. №-2. С.1-13.
3. Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. 2000. №-3. (9). С.37-55.
4. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б. Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ. 2004. 172 с.
5. Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д. Стратегия ведения и результаты алмазописковых работ // Горный вестник. 1997. №-3. С.53-57.

6. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. 1987. №-10. С.66-72.
7. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдястых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1996. №-1. С.53-61.
8. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1997. №-2. С.53-63.
9. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Зинчук Н.Н. Эпохи мощного корообразования в истории Земли. Воронеж: ВГУ. 1999. 102 с.

*Минералогия и условия формирования метакarbonатных пород хапчанской серии (юго-восточная часть Анабарского щита)*

*Акимова Е.Ю.\* (СПбГУ, e.akimova@spbu.ru),*

*Савельев А.Д. (СПбГУ, ФГУП ВСЕГЕИ, aleksandr.d.savelev@gmail.com),*

*Скублов С.Г. (ИГГД РАН, СПГУ, skublov@yandex.ru)*

**Аннотация**

Изучен минеральный состав метакarbonатных пород (carbonатно-силикатных пород и силикатных мраморов) хапчанской серии (юго-восточная часть Анабарского щита), установлены РТ-параметры их формирования. Силикатные мраморы сложены кальцитом, доломитом, форстеритом, клиногумитом, шпинелью, энстатитом, диопсидом, паргаситом, мейонитом, полевыми шпатами. Carbonатно-силикатные породы сложены кальцитом, кварцем, полевыми шпатами, диопсидом, гроссуляром, мариалитом, везувианом. Выявлено различие РТ-параметров, получаемых для силикатных мраморов (температуры 700-900°C и давление не более 8 кбар) и для carbonатно-силикатных пород (температуры 680-860°C, давления 8-18 кбар).

**Ключевые слова**

Метакarbonаты, Анабарский щит, хапчанская серия, метаморфизм, метасоматоз.

**Источники финансирования**

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00098, <https://rscf.ru/project/23-27-00098/>.

**Теория**

Исследование глубокометаморфизованных ассоциаций терригенных и carbonатных пород позволяет получить информацию об их происхождении, особенностях седиментации и в более широком плане о палеогеодинамических условиях образования раннедокембрийских комплексов, однако происхождение carbonатно-силикатных пород часто остается дискуссионным.

Carbonатно-силикатные породы установлены во многих докембрийских метаморфических комплексах. В условиях высокотемпературного метаморфизма carbonатных осадков с разной долей терригенной примеси формируются редкие минеральные ассоциации с форстеритом, шпинелью, минералами группа гумита и т.д. (Перцев, 1977). Схожие минеральные ассоциации характерны и для магнезиальных скарнов. Вероятно, широкое распространение в метаморфических комплексах имеют как первично-осадочные carbonатно-силикатные породы, так и метасоматические – магнезиальные скарны. В пределах Сибирского кратона метакarbonатные породы широко распространены в хапчанской серии Анабарского щита. Они представлены линзами и прослоями среди глубокометаморфизованных пород хапчанской серии (Гусев и др., 2016 и ссылки там). Ранее детальное изучение минерального состава и условий формирования этих пород не производилось. Восполнение данного пробела стало целью представленного исследования. Задачами данной работы стало детальное изучение химического и минерального состава carbonатно-силикатных пород Хапчанской серии и установление термобарометрических параметров их формирования.

*Геология*

Билээх-тамахская толща (PR<sub>1</sub>bt) слагает ядерную часть Хапчанского синклиория в виде выдержанной полосы шириной 8–10 км, ограниченной с обеих сторон выходами хаптасынахской толщи. Контакты толщ, как правило, тектонические. Граница билээх-тамахской толщи проводится по подошве мощной пачки гранатсодержащих гнейсов. Толща сложена гранатовыми, гиперстен-гранатовыми, гранат-биотит-гиперстеновыми гнейсами, реже плагиогнейсами с

прослоями и линзами двупироксеновых, гиперстеновых, клинопироксеновых, кордиерит-силлиманитовых гнейсов и плагиогнейсов, карбонатно-силикатных пород, клинопироксен-скаполитовых пород (Гусев и др., 2016). Для исследования было отобрано 6 проб из линзовидного тела силикатных мраморов и 4 пробы из линзовидного тела карбонатно-силикатных пород.

#### *Методы*

Содержание главных элементов в минералах определялось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром AzTec Energy 350 и комплектом стандартных образцов в РЦ СПбГУ «Геомодель» (аналитик – Н.С. Власенко). Расчет кристаллохимических формул минералов по микрозондовым анализам выполнялся при помощи программы Minal3 (автор – Д.В. Доливо-Добровольский). Физико-химический анализ парагенезисов осуществлялся при помощи программного комплекса Perple\_X (версия Perple\_X 6.9.0) (Connolly, 2005). Петрохимические данные, используемые для расчета, были предварительно пересчитаны на сухую навеску, из состава для упрощения расчёта вычтены MnO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и часть CaO, соответствующая апатиту; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при наличии в составе пересчитывалось на FeO. Во всех расчётах применялась термодинамическая база данных минералов и флюидов hp02ver.dat (Holland, Powell, 1998).

#### *Состав минералов*

Карбонаты – одни из наиболее распространенных минералов карбонатно-силикатных пород и силикатных мраморов из исследуемых тел. В силикатных мраморах карбонаты представлены кальцитом и доломитом. В карбонатно-силикатных породах карбонаты представлены исключительно кальцитом. Пироксены представлены энстатитом (встречен только в силикатных мраморах) и диопсидом. Диопсид в карбонатно-силикатных породах существенно более железистый (xMg от 0.51 до 0.77), нежели в силикатных мраморах (xMg от 0.79 до 0.99). Полевые шпаты представлены калиевым полевым шпатом (ортоклаз, микроклин) и плагиоклазом. В силикатных мраморах плагиоклаз встречается только в виде пертитов в калиевом полевоом шпате, где представлен почти чистым альбитом, в клинопироксен-плагиоклазовых симплектиках вокруг калиевого полевого шпата, где представлен альбитом-олигоклазом (№Pl от 10 до 22), и в оторочках кварцевых прожилков, где представлен андезином (№Pl от 30 до 36). В карбонатно-силикатных породах плагиоклаз представлен олигоклазом (№Pl от 13 до 19). Флогопит встречен только в силикатных мраморах, по составу он различается в разновидностях с клиногумитом и без него. В разновидностях с клиногумитом содержит постоянную примесь F (1.01–1.47 ф.к.), т.е. является фторфлогопитом. Кальциевый амфибол также встречен только в силикатных мраморах, образует ряд паргасит-фторпаргасит. Характерно постоянное присутствие F в позиции W: от 0.70 до 1.32 ф.к. Форстерит встречен только в силикатных мраморах, содержание Fe<sup>2+</sup> до 0.13 ф.к. Гранат встречен только в карбонатно-силикатных породах, где представлен гроссуляром. Скаполит в силикатных мраморах представлен мейонитом, а в карбонатно-силикатных породах – мариалитом. Везувиан встречен только в карбонатно-силикатных породах, расчётное содержание Fe<sup>3+</sup> до 1.73 ф.к., Ti до 1.14 ф.к.; постоянно содержит F (до 3.79 ф.к.) и Cl (до 0.59 ф.к.), редко – S (до 0.25 ф.к.). Клиногумит встречен только в силикатных мраморах, содержит Fe<sup>2+</sup> (до 0.35 ф.к.), Ti (до 0.10 ф.к.), иногда – Fe<sup>3+</sup> до 0.21 ф.к. Шпинель встречена только в силикатных мраморах, характеризуется достаточно чистым составом: xFe<sup>2+</sup> до 0.12 ф.к., xFe<sup>3+</sup> до 0.04 ф.к. Титанит обычно содержит F (до 0.28 ф.к.), Fe<sup>3+</sup> (до 0.04 ф.к.). Апатит во всех разновидностях изученных пород представлен фторапатитом.

#### *Термодинамическое моделирование*

Для изучаемых нами и каких-либо других метакарбонатных пород в пределах хапчанской серии реконструкции P-T-условий метаморфизма ранее не выполнялась ввиду сложности получения P-T-оценки для метакарбонатов классическими методами термобарометрии. Построение и анализ псевдосечений – наиболее пригодный метод для реконструкции P-T-условий

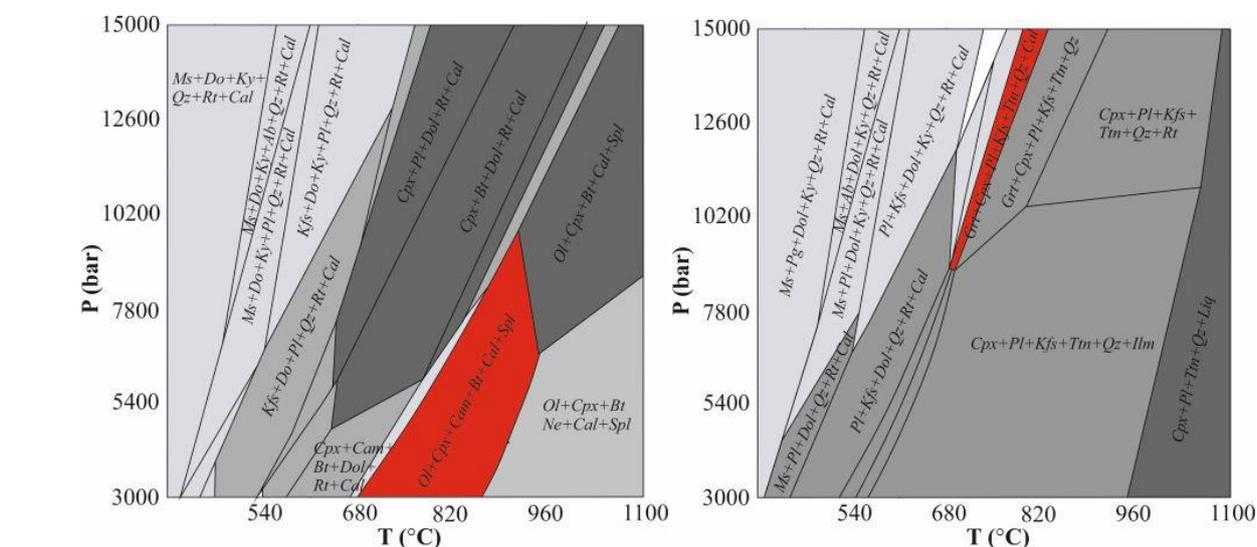
метаморфизма метакарбонатных пород. Диаграммы фазовых равновесий с полями устойчивости равновесных минеральных ассоциаций в P-T координатах (псевдосечения) построены для заданного химического состава представительных проб силикатных мраморов и карбонатно-силикатных пород. Для моделирования условий участия в минералообразовании существенно-углекислотного флюида с небольшой долей воды было задано  $X(\text{CO}_2) = 0.9$ .

Учитывая близкое пространственное расположение и схожую структурную позицию изучаемых карбонатно-силикатных пород и силикатных мраморов, мы предполагали получить сходные P-T-условия метаморфизма для этих двух разновидностей. Однако на полученных диаграммах видно, насколько существенно различаются P-T-условия стабильности изучаемых парагенезисов.

На псевдосечении для заданного состава силикатных мраморов (рис. 1а) наблюдаемый парагенезис  $\text{Ol}+\text{Cpx}+\text{Cam}+\text{Bt}+\text{Cal}+\text{Spl}$  занимает область умеренных давлений (примерно до 8 кбар) и высоких температур (примерно 700-900°C). Небольшое снижение температуры ведет к замещению шпинели доломитом, что наблюдается в шлифах. На псевдосечении для заданного состава карбонатно-силикатных пород (рис. 1б) поле устойчивости наблюдаемого парагенезиса  $\text{Grt}+\text{Cpx}+\text{Pl}+\text{Kfs}+\text{Ttn}+\text{Qz}+\text{Cal}$  располагается в области существенно более высоких давлений (8-18 кбар) и несколько более низких температур (680-860°C).

### Выводы

Метакарбонатные породы хапчанской серии (юго-восточная часть Анабарского щита) представлены двумя разновидностями – силикатными мраморами и карбонатно-силикатными породами. Силикатные мраморы сложены кальцитом, доломитом, форстеритом, клиногумитом, шпинелью, энстатитом, диопсидом, паргаситом, мейонитом, полевыми шпатами. Карбонатно-силикатные породы сложены кальцитом, кварцем, полевыми шпатами, диопсидом, гроссуляром, мариалитом, везувианом. Состав сквозных минералов в двух линзах также различается: в силикатных мраморах клинопироксен более магнезиальный, а калиевый полевой шпат содержит больше Ва, нежели в карбонатно-силикатных породах.



а б

Рисунок 1. P-T псевдосечения для заданных составов метакарбонатных пород: а – для силикатных мраморов (образец 8220131/2), б – для карбонатно-силикатных пород (образец 8221191/1). Красным цветом показано поле искомого парагенезиса

Отмечается различие P-T-параметров, получаемых для силикатных мраморов (температуры 700-900°C и давление не более 8 кбар) и для карбонатно-силикатных пород

(температуры 680-860°C, давления 8-18 кбар). Вероятно, P-T-параметры, полученные для силикатных мраморов, соответствуют параметрам регионального метаморфизма гранулитовой фации, которому подверглись породы хапчанской серии. P-T-параметры, полученные для карбонатно-силикатных пород, могут соответствовать условиям метасоматического процесса, по-видимому, несколько оторванного во времени от процесса регионального метаморфизма.

### **Библиография**

1. Гусев Н.И., Пушкин М.Г., Круглова А.А., Сергеева Л.Ю. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Лист R-49 – Оленек. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 448 с.
2. Перцев Н.Н. 1977. Высокотемпературный метаморфизм и метасоматизм карбонатных пород. М.: Наук. 255 с.
3. Connolly J.A.D. (2005) Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters*. V. 236. P. 524–541.
4. Holland T.J.B., Powell R. (1998) An internally-consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*. V. 16. P. 309–344.

***Микровключения в образцах гипсового керна из Камско-Устьинского месторождения:  
происхождение и геологическое значение***

***Волков А.И.\* (Казанский федеральный университет, Казань, Россия,  
artem.volkov.2012@inbox.ru),***

***Глухов М. С. (1. Институт геологии и геохимии им. Акад. А.Н. Заварицкого, Екатеринбург  
Россия, 2. Уральский федеральный университет, Екатеринбург Россия, 3. Казанский  
федеральный университет, Казань, Россия, gluhov.mikhail2015@yandex.ru)***

**Аннотация**

В работе рассмотрена геологическая изученность эвапоритов правобережья Волги и Камско-Устьинского месторождения гипса; изложена методика обработки образцов гипса для обнаружения в них минеральных микровключений; с применением современных физико-химических методов изучены состав и морфология рентгеноплотных микровключений; проведена интерпретация полученных данных.

Объектом исследования являются образцы керна из нижнего продуктивного пласта Камско-Устьинского месторождения гипса, расположенного на правобережье Волги в 8 км северо-западнее п. Камское Устье и в 60 км южнее г. Казань.

Цель работы — изучение морфологии, минерального состава и распределения рентгеноплотных микровключений в нижнем продуктивном пласте гипса КУГР.

В процессе работы проводились макроскопическое описание пород; рентгеновская компьютерная микротомография образцов; магнитная сепарация; сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионная спектроскопия; масс-спектрометрия (ICP MS).

**Ключевые слова**

Микровключения, микрочастицы, микросферулы, гипс, сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия.

**Теория**

В работе исследованы микровключения в керновых пробах гипса Камско-Устьинского месторождения. Рассмотрены две стороны изучения микровключений: их значение для фундаментальной науки и их применение в прикладном аспекте, с целью определения загрязненности продуктивных пластов гипса. Выполнены следующие задачи исследования: обзор литературы, отбор образцов, изучение пород, поиск и изучение микровключений с помощью рентгеновского томографа, анализ морфологии и состава магнитных микровключений, определение их природы, сравнение данных с результатами предыдущих исследований, улучшение методики определения чистоты гипсового камня и выделение маркирующих горизонтов для корреляции в осадочных толщах. Образцы керна были взяты из Камско-Устьинского месторождения гипса, расположенного на правобережье р. Волга вблизи п. Камское Устье и г. Казань. В предшествующих работах было показано (Сунгатуллин и др., 2015; Sungatullin et al., 2017), что космические магнитные микросферулы (диаметром менее 1 мм) могут стать дополнительным инструментом для расчленения и корреляции осадочных толщ. И начата корреляция разреза на основе магнитных микрочастиц (Глухов М.С. и др. 2020; А.А. Глухова 2022).

В ходе исследования было анализировано восемь образцов гипса размером примерно 6х2 см, взятых из Камско-Устьинского месторождения. Метод микро-КТ проводился для обнаружения микровключений с высоким коэффициентом поглощения рентгеновского излучения. При съемке на рентгеновском томографе поглощения отдельных минералов эвапоритов (гипс, доломит, пирит, магнетит) существенно различаются. Кроме того, на полученных 3D томографических снимках четко визуализируются микрочастицы диаметром от

десятков до сотен микрометров и их пространственное (объемное) распределение в породе. (см. рисунок 1 б, в).

Приведенные данные доказывают природное происхождение рентгеноплотных микрочастиц и опровергает техногенное за счет загрязнения при лабораторной пробоподготовке [Горюнова Екб]. Так же на данном этапе были выделены две взаимосвязанные зависимости: микрочастицы в породе расположены зонально и периодически; большие скопления частиц приурочены к доломитовым прослойкам породы.

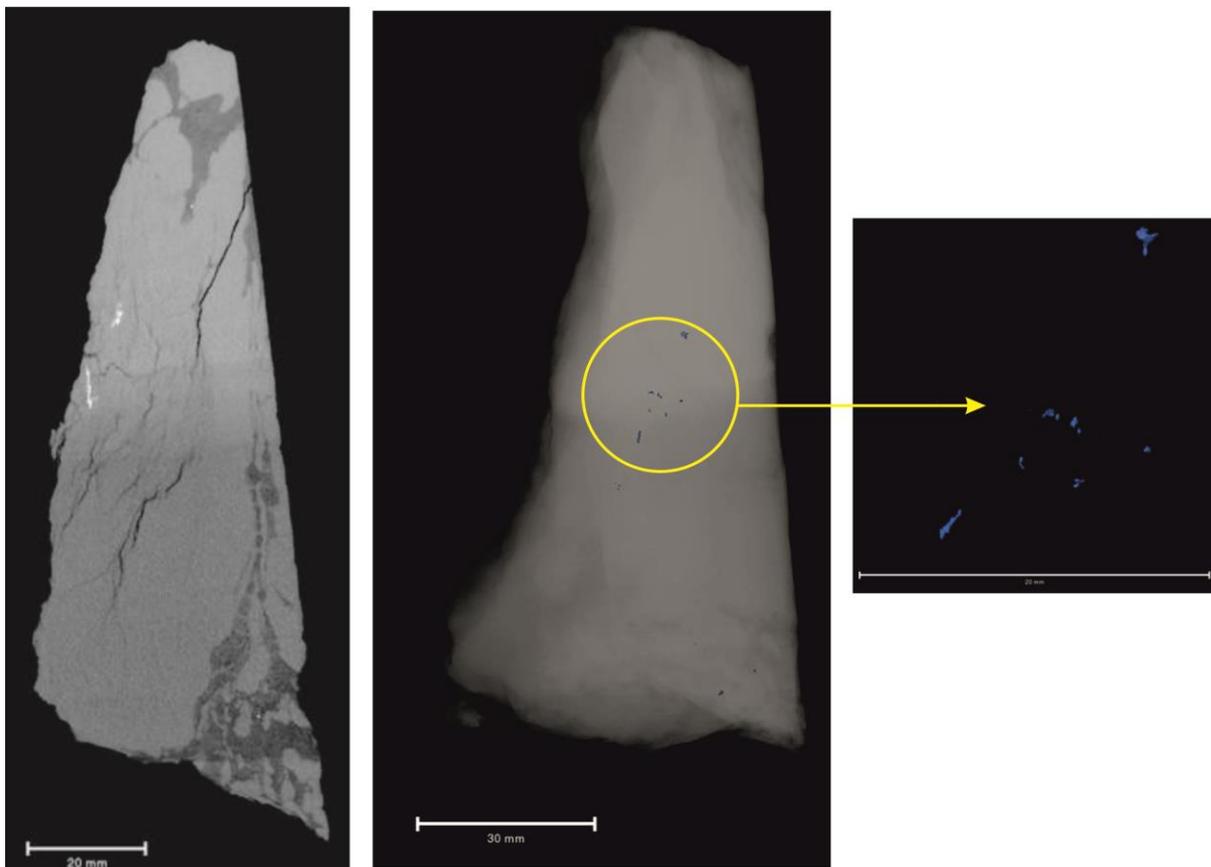


Рисунок 1. Томографические изображения пород с включениями минералов с высоким рентгеновским поглощением (А.А. Глухова 2022) а - 2D томографическое изображение б , в - 3D модель образца с выделением рентгеноплотных микровключений

Это исключило антропогенные источники из списка возможных источников происхождения микрочастиц в исследуемых эвапоритах. Так же на данном этапе были выделены две взаимосвязанные зависимости: микрочастицы в породе расположены зонально и периодически; большие скопления частиц приурочены к доломитовым прослойкам породы.

С помощью рентгеновской компьютерной микротомографии визуально в каждом образце гипса была определена часть с наибольшим скоплением рентгеноплотных микровключений.

Для выделения микрочастиц была использована магнитная сепарация. Сначала в агатовой ступке часть образца объемом 450 мм<sup>3</sup> измельчалась до состояния порошка. Затем магнитная фракция извлекалась с помощью неодимового магнита, который обладает в 10 раз большей магнитной силой по сравнению с постоянным магнитом. Этот магнит привлекает объекты с низкой и очень низкой магнитной проницаемостью, а также парамагнитные вещества, такие как самородные металлы.

Оставшийся после магнитной сепарации материал просматривался под бинокулярным микроскопом для отбора неметаллических частиц. Ранее в исследовании, проведенном авторами (Kadyrov et al., 2019), также изучался гипс из нижнего пласта Камско-Устинского месторождения, и было замечено, что обнаруженные микросферулы имели яркий металлический блеск и разнообразную текстурную поверхность.

В результате исследований восьми образцов гипса нижнего пласта Камско-Устинского месторождения обнаружено более 50 микрочастиц (Таблица 1).

Таблица 1

Номер образца	Глубина	Отобрано всего	Магнитных	Немагнитных
76	77,3	> 10	> 10	—
77-1	77,5	8	7	1
77-2	77,5	7	6	1
78	77,6	—	—	—
79-1	78,4	17	12	5
80-1	78,6	10	8	2
80-2	79	—	—	—

После извлечения микрочастиц из гипса, первичное морфологическое исследование проводилось с применением оптической микроскопии (рисунок 2).

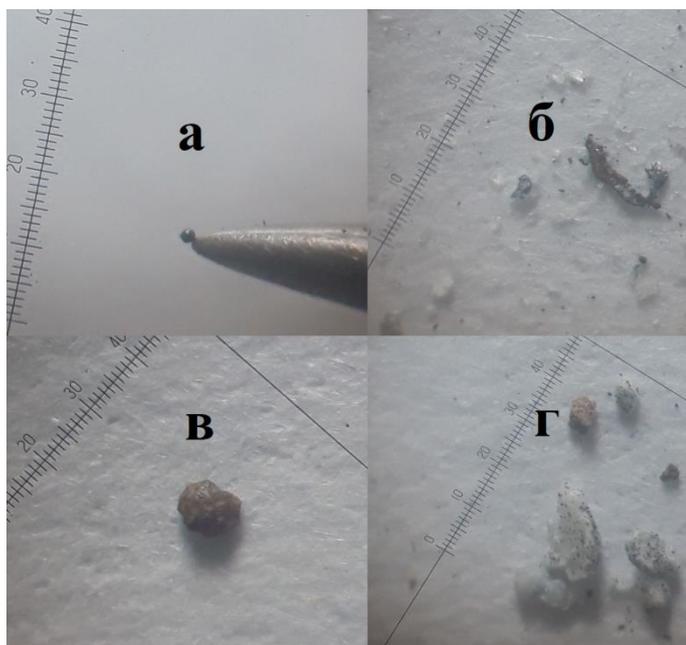


Рисунок 2. Микрочастицы под оптическим микроскопом. Увел. 80<sup>x</sup>  
а – микросферула на кончике иглы , б - пластинчатая магнитная микрочастица, в – немагнитная микрочастица г - пирит в гипсе

Сканирующая электронная микроскопии и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия наиболее подходящие методы для изучения морфологии и состава магнитных микрочастиц, учитывая их малые размеры (обычно менее 1 мм) Применение ЭДС позволяет

определять элементный состав в отдельных точках или распределение химических элементов по площади.



Рисунок 3.1. Изображение магнитных микросфер, полученных электронным микроскопом (Дисе., Глухов М.С. 2022)

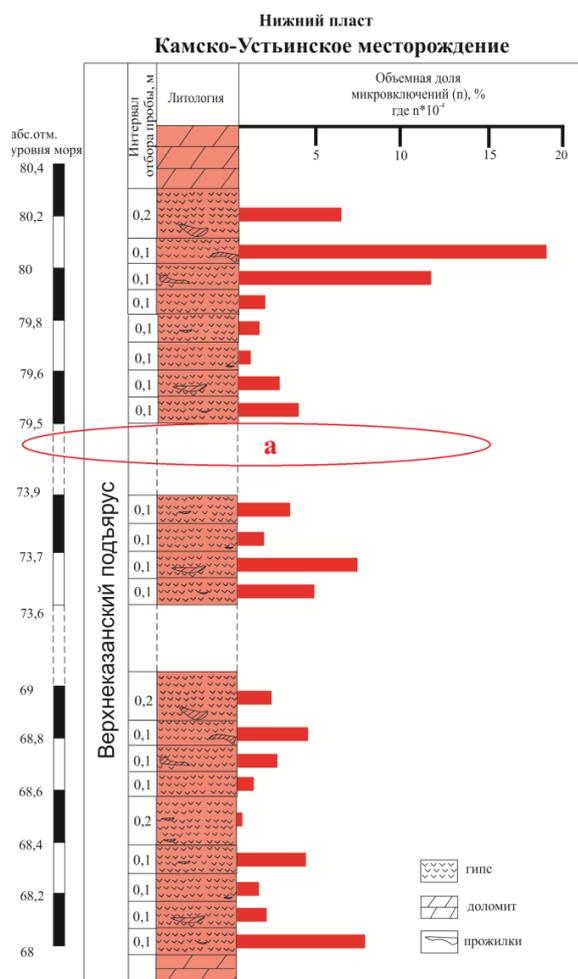


Рисунок 3.2. Разрез нижнего пласта гипса Камско-Устьинского месторождения с объемной долей рентгеноплотных микровключений, а – исследуемые пробы

### **Выводы**

Согласно полученным результатам, изученные микросферулы являются распространенными и узнаваемыми объектами хорошей сохранности. Количественное распределение магнитных микросфер может служить показателем интенсивности космических событий, произошедших одновременно с образованием эвапоритового бассейна. Представленная методика позволяет использовать результаты магнитных микросферулы как дополнительный инструмент для корреляции осадочных толщ и получения информации об интенсивности космических событий в геологическом прошлом.

### **Благодарности**

Данная статья была подготовлена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

### **Библиография**

1. Сунгатуллин Р. Х. и др., (2015). Возможность использования пространственной корреляции микросфер с нефтяными месторождениями Нефтяная промышленность 2, с. 16-19
2. Глухов М.С., Низамова А.В., Горюнова А.А. Магнитные микросферулы из эвапоритов Калининградско-Гданьского месторождения // Всероссийская научная конференция Уральская минералогическая школа - 2020 "Под знаком золота и платины" 21-27 сентября 2020. - Екатеринбург, 2020. С. 24-26.
3. Sungatullin, R. Kh et al., (2017). Cosmic microspheres in the Carboniferous deposits of the Usolka section Russian Geology and Geophysics 58, pp. 59-69.
4. Kadyrov R., Glukhov M., Statsenko E., Galiullin B. (2019). Enigma of Ferruginous Inclusions in Evaporites. // Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG), Tunisia (2018). Petrogenesis and Exploration of the Earth's Interior. Advances In Science, Technology Innovation, pp. 97-99.

*Минералого-геохимические критерии расчленения гранитоидных комплексов в юго-восточной части Анабарского щита (Республика Саха, Якутия)*

*Заболотников А.И. \* (Санкт-Петербургский горный университет императрицы  
Екатерины II, artem-zabolotnikov@mail.ru),*

*Савельев А.Д. (Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.  
Карпинского, Aleksandr\_Saveliev@vsegei.ru),*

*Петров Д.А. (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Petrov\_DA@pers.spmi.ru)*

**Аннотация**

В данной работе приводятся результаты петрографических, геохимических и геохронологических исследований гранитоидов юго-восточной части Анабарского щита (листы R-49-XXIII, XXIV, Куонамская площадь). Установлены критерии для отнесения гранитоидов к выделенным в серийной легенде комплексам.

**Ключевые слова**

Анабарский щит, гранитные комплексы, петрография, геохимия.

**Теория**

**Введение.** Одной сложнейших задач в пределах Анабарского щита является расчленение различных гранитоидных комплексов. Архей-протерозойские гранитоиды имеют метаморфическое происхождение и формировались из одинакового субстрата, поэтому во многих случаях их петрографические характеристики и геохимические параметры практически неотличимы друг от друга [2]. Тем не менее, определённые особенности есть у каждого комплекса. Цель данной работы - на основании результатов геохронологических исследований, структурных, петрологических и геохимических данных выделить критерии для расчленения гранитоидов на юго-востоке Анабарского щита (листы R-49-XXIII, XXIV, Куонамская площадь).

**Геологическое строение.** Анабарский щит представляет собой выступ кристаллического фундамента Сибирского кратона площадью около 62 тыс. км<sup>2</sup>. Он составляет ядро обширного сводового поднятия со сложным складчато-глыбовым строением. Центральная часть Анабарского щита сложена глубокометаморфизованными архейскими и нижнепротерозойскими породами, которые по периферии перекрыты рифей-палеозойским осадочным чехлом (рис. 1) [3].

В пределах исследуемой территории выделяются следующие гранитоидные комплексы: Анабарский, Билляхский и Маганский. Формирование наиболее древнего, Анабарского эндробит-чарнокит-мигматитового комплекса было сопряжено с продолжительным субдукционным процессом, сопровождающимся гранулитовым метаморфизмом с возрастом ок. 2,75 млрд лет. Образование билляхского и маганского комплексов связывают с амальгамацией раннедокембрийских супертеррейнов (Тунгусский, Анабарский, Оленекский, Алданский) в единую структуру кратона 2,0–1,8 млрд лет назад [2].

**Методика.** Описание шлифов (15 штук) проводилось на микроскопе Leica DM750. Изучение химического состава валовых проб образцов осуществлено в центральной аналитической лаборатории Института Карпинского (79 проб). Определение петрогенных окислов проводилось XRF-методом на приборе ARL-9800, редких и редкоземельных элементов - ICP-MS-методом на приборе ELAN-6100 DRC. Изотопное U-Pb-датирование по циркону (SHRIMP II) проводилось в изотопном центре Института Карпинского (7 проб).

**Результаты исследования.** Для установления критериев выделения комплексов мы применили несколько подходов, описанных ниже:

**Структурный.** Изучаемая территория находится на стыке между Далдынским и Биректинским террейнами, последний из которых скрыт под Хапчанским протерозойским

поясом. Таким образом, гранитоиды Анабарского комплекса могут быть локализованы только на юго-западе площади, в Далдынском террейне (рис. 1, участки 2, 4). Исходя из рисовки листа R-49-XXIII, XXIV, можно сделать вывод, что тела более молодых Маганского и Билляхского комплексов приурочены к шовным зонам между блоками. Они имеют вытянутую форму и простираются согласно остальным структурам (рис. 1, участок 3). В свою очередь, для гранитов, расположенных в межшовной зоне, характерны менее вытянуты тела, иногда кляксообразные. Это может быть свидетельством того, что данные породы не были существенно вовлечены в переработку материала на этапе 2000-1800 млн лет, а значит, являются более древними – Анабарскими.

*Петрографический.* Такой подход позволяет достаточно точно разделить породы древнего Анабарского и более молодых Билляхского и Маганского комплексов. Архейские гранитоиды представлены эндербитами, чарнокитами, аляскитовыми гранитогнейсами и монцодиоритами. Главными породообразующими минералами чарнокитов являются пертитовый К-На полевой шпат 35-45 %, кварц 20 – 25%, гиперстен 10-15%, биотит 15-20%. Железистый гиперстен имеет зеленоватый оттенок и в некоторых зернах косое погасание. Биотит имеет ярко-оранжевый окрас, который нехарактерен для молодых гранитоидов. Текстура пород гнейсовидная, реже массивная. Структура гранобластовая, неравномернозернистая. Ещё одной особенностью чарнокитов является повышенное содержание рудных минералов. Для пород характерны повышенные содержания рудных минералов. Отличительной особенностью аляскитовых гранитогнейсов Анабарского комплекса являются вторичные выделения иддингсита, который замещает пироксен. Это указывает на чарнокитовый протолит. Протерозойские гранитоиды представлены аляскитами, лейкогранитами, плагиогранитами и гранитными пегматитами. В минеральный состав этих пород входят К-На полевой шпат, плагиоклаз, кварц, роговая обманка, биотит, реже гранат. Структура гранобластовая, лепидогранобластовая, реже порфиробластовая. Текстура массивная, реже гнейсовидная. Содержание рудных минералов в породах колеблется от 2 до 5%. Тем не менее, в ходе работы были описаны шлифы, которые петрографически соответствуют чарнокитам, но не могут относиться к Анабарскому комплексу, поскольку локализованы в протерозойских породах (рис. 1, участок 1).

*Геохимический.* Для чарнокитов и эндербитов анабарского комплекса характерны высокие содержания  $Al_2O_3$  (от 16%) – впрочем, как и почти для всех других петрогенных элементов. Тела маганского комплекса имеют высокие содержания  $SiO_2$  (от 70%) и  $K_2O$  (выше 2.65%). Для пород среднего состава Билляхского комплекса отмечаются anomalously высокие содержания (мкг/г): Се 300–495; Sr 1011–1442; Ва 4216–4078; Zr 1365–1660, указывающие на участие щелочной магмы в формировании комплекса [1]. По геохимическим особенностям все изучаемые гранитоиды (рис.1.) относятся к Маганскому комплексу, за исключением пробы 721021. В данных породах повышенное содержание  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . От гранитоидов Билляхского комплекса изучаемые породы отличаются более низким содержанием (мкг/г): Се 10-320; Sr 100-400; Ва 500-3000; Zr 40-500. Можно сделать вывод, что с точки зрения петрохимии и геохимии большая часть гранитоидов Куонамской площади относятся к Маганскому комплексу. Содержания  $Al_2O_3$  в пробе на точке отбора 721021 составляют 19,6%, что позволяет отнести это тело к Анабарскому комплексу.



Рисунок 1. Расположение Куонамской площади на схеме Анабарского щита и расположение участков отбора проб гранитоидов (по данным из [2], с изменениями): 1 – старореченская свита, 2 – нерасчленённые неколээхская и чурбукская свиты, 3 – котуйканская свита, 4 – лабазтахская свита, 5 – билээх-тамахская толща, 6 – хаптасыннахская толща, 7 – амбардахская толща, 8 – мигматит-гнейсовые комплексы, 9 – рифейские дайковые комплексы ( $q\beta RF_1$ ), 10 – маганские граниты ( $\gamma mPR_{1mg}$ ), 11- анабарские граниты ( $e-m\check{c}AR_{2an}$ ), 12 – мигматизированные породы, 13 – гранитизированные породы, 14 – линейные зоны тектонитов, 15-17 – геологические границы: согласные (достоверная и предполагаемая), несогласная, 18 – главные разломы, 19 – втростепенные разломы, 20 – участки отбора проб гранитоидов

*Геохронологический.* Данный подход позволяет довольно точно разделить архейские и протерозойские гранитоиды, но в то же время изотопные исследования являются самыми дорогостоящими и не могут использоваться в больших объёмах. В ходе работ было получено 7 возрастов, которые позволили установить следующие временные промежутки формирования гранитоидов: ок. 2700 млн лет, ок. 2000-1980 млн лет и ок. 1940-1930 млн лет. Первый интервал соответствует времени формирования Анабарского комплекса [1] и был получен по цирконам из пробы 721021, что подтвердило предварительное определение её возраста. Два возрастных кластера: около 2000-1980 млн лет и около 1940-1930 млн лет., вероятно, соответствуют Маганскому комплексу. Наличие нескольких разнесённых по времени импульсов внутри Маганского комплекса можно объяснить продолжительным процессом орогенеза, который может длиться более сотни миллионов лет. Отдельные импульсы могут характеризовать как последовательное столкновение нескольких блоков, так и разные этапы формирования орогена, сопровождающиеся метаморфизмом. Таким образом, можно сделать вывод, что в пределах Маганского комплекса выделяются две фазы с возрастными интервалами 1980-2000 и 1940-1930 млн лет [4].

### **Выводы**

В результате исследования были определены критерии для расчленения гранитоидных комплексов в юго-восточной части Анабарского щита. Структурный критерий позволяет в целом разделить архейский и протерозойские граниты по площади, но плохо работает в смежных областях. Наиболее достоверным критерием является геохронологический, но возможности его применения ограничены из-за дороговизны. Также он не позволяет разделить Маганские и Билляхские граниты. Петрографический критерий не показал свою надёжность, в то время как геохимический достаточно точно разделяет все три комплекса, особенно Маганский и Билляхский.

На территории Куонамской площади преобладают граниты Маганского комплекса, отдельные тела Анабарских гранитов можно найти только на юго-западной оконечности листа. Тела Билляхского комплекса на исследуемой территории выявить не удалось. В пределах Маганского комплекса удалось выделить две фазы с возрастными интервалами формирования гранитоидов 2000-1980 и 1940-1930 млн лет.

### **Библиография**

1. Гусев Н.И. Анабарский щит Сибирского кратона. Вещественный состав, геохимия, геохронология. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. - 181 с.
2. Гусев Н.И., Пушкин М.Г., Круглова А.А., Сергеева Л.Ю. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист R-49 – Оленек. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 448 с.
3. Гусев Н. И., Сергеева Л. Ю., Скублов С. Г. Свидетельства субдукции палеопротерозойской океанической коры в Хапчанском поясе Анабарского щита Сибирского кратона // Петрология, 2021, Т. 29, № 2. С. 115-135.
4. Добрецов Г. Л., Марин Ю. Б., Бескин С. М., Лесков С. А. Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий и выделения петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий. - Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2007. – 79 с.

*Циркон из лейкогранитов Белокурихинского массива: состав по редким элементам и U-Pb  
возраст*

*Мамыкина М.Е.\* (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины  
II; Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, ematikina@mail.ru),  
Гусев Н.И. (Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П.  
Карпинского, nikolay\_gusev@vsegei.ru),  
Гусев А.И. (Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени  
В. М. Шукина, anzerg@mail.ru)*

**Аннотация**

В результате проведенного изотопно-геохимического исследования циркона из лейкогранитов Белокурихинского массива в Горном Алтае U-Pb методом определен возраст  $245 \pm 3$  млн лет, который можно принять за время внедрения гранитов третьей фазы массива. По своему редкоэлементному составу циркон из лейкогранитов присутствует как неизменный магматический, так и обогащенный в результате флюидного воздействия несовместимыми элементами (LREE, Th, U, Ti), соответствующий по своим геохимическим характеристикам циркону гидротермально-метасоматического типа.

**Ключевые слова**

Циркон, лейкограниты, Белокурихинский массив, Горный Алтай, редкоземельные элементы, U-Pb метод.

**Введение**

Белокурихинский массив, расположенный в северной части Горного Алтая, имеет гранодиорит-гранит-лейкогранитовый состав. Данный массив имеет редкометалльную специализацию на Be, Ta, Nb и другие редкие металлы, которая связана с жильными образованиями и лейкогранитами массива (Гусев и др., 2008). Первые данные о возрасте массива были получены при исследовании четырех проб гранитов Rb-Sr методом и навески зерен циркона U-Pb методом (TIMS). По этим данным возрастной диапазон формирования массива составил 245-232 млн лет (Владимиров и др., 1997). Определение возраста по слюдам из гранитов Ar-Ar методом дало возраст формирования массива около 250 млн лет (Gavryushkina et al., 2017-Возраст титанита из гранитов первой фазы, определенный U-Pb методом (ID-TIMS), составил около 255 млн лет (Скублов и др., 2021). Однако для лейкогранитов третьей фазы до сих пор отсутствовали достоверные определения возраста по циркону.

**Методы исследования**

Циркон был выделены в ИГГД РАН из пробы лейкогранитов (обр. 2424) с помощью электромагнитной сепарации и тяжелых жидкостей по стандартной методике. Содержание редких и редкоземельных элементов в цирконе было определено методом масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) на ионном микрозонде Cameca IMS-4f в ЯФ ФТИ РАН по стандартным методикам. При построении спектров распределения REE состав циркона нормировался на состав хондрита CI (McDonough, et al., 1995). Локальное U-Pb датирование циркона выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II (ЦИИ ВСЕГЕИ) по стандартной методике (Williams, 1998).

Циркон из лейкогранита в основном представлен зернами со сложным внутренним строением, слабо удлиненной формы, не превышающими 200 мкм по удлинению (рис. 1а). В центральной части зерна (точка 14) в режиме CL наблюдается обособленное ядро, размером около  $30 \times 50$  мкм, с тонкополосчатой ростовой осцилляционной зональностью в темно-серых тонах. Зерна циркона с точками 9-10-11 и 19-20 имеют сходное строение. В зернах с точками 12-13 и 17-18 ядро отсутствует, зато мощность темно-серой каймы весьма существенная и достигает 50 мкм. Зерна с точками 3-4, 5-6 и 7-8 отличаются по форме, от почти изометричного облика до

слабоудиненного идиоморфного. Зерно с точками 1 и 2 представляет собой обломок вытянутой формы. Основная часть зерна имеет среднеполосчатую ростовую осцилляционную зональность с переходами от светло-серых (точка 1) до практически черных тонов. По своему внутреннему строению обрастание напоминает основную массу зерен циркона с точками 3-4 и 5-6. Внешняя кайма черного цвета в этом зерне отсутствует.

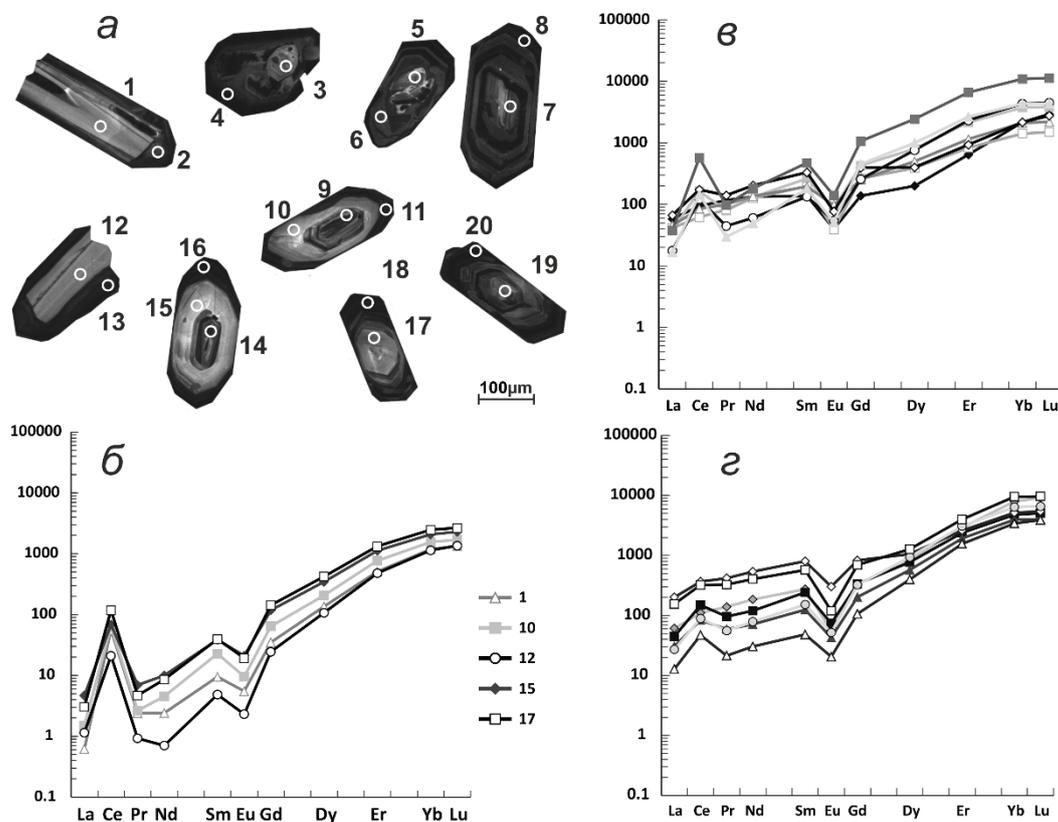


Рисунок 1. CL изображения циркона из лейкогранитов Белокурихинского массива с указанием аналитических кратеров (диаметр составляет примерно 20 мкм) (а) и спектры распределения REE в цирконе (б, в, г)

Проанализированные 20 точек циркона могут быть условно разделены на следующие группы. Наименее измененными по внешнему облику (светло-серая окраска в CL с ростовой осцилляционной зональностью), и, в тоже время, отвечающие популяции с магматическим происхождением, являются точки 1, 10, 12, 15 и 17. Другую группу образуют ядра в центральной части зерен, зачастую демонстрирующие следу изменений и неравномерной окраской в CL в темных тонах – точки 3, 5, 7, 9, 14 и 19. По окраске в CL к ним близки точки 2 и 6, отвечающие краевой зоне зерна. Отдельную группу составляют черные в CL-изображении внешние каймы, – точки 4, 8, 11, 13, 16, 18 и 20.

Суммарное содержание REE в первой группе варьирует от 338 до 890 ppm, составляя в среднем 573 ppm. Спектры распределения REE дифференцированы (рис. 1б) с заметным увеличением от легких к тяжелым REE ( $Lu_N/La_N$  отношение составляет в среднем 1164). Отчетливо проявлена положительная Ce-аномалия ( $Ce/Ce^*$  составляет в среднем 28.2) и отрицательная Eu-аномалия ( $Eu/Eu^*$  составляет в среднем 0.27). Содержание U составляет в среднем 374 ppm, содержание Th – 111 ppm, Th/U отношение, по данным SIMS, равняется в среднем 0.36. Содержание Hf составляет в среднем 11759 ppm. Среднее содержание Ti равняется

15.0 ppm, что отвечает усредненному значению температуры кристаллизации циркона около 770°C.

Суммарное содержание REE во второй группе заметно больше (в среднем 1578 ppm), чем для рассмотренной выше. Спектры REE гораздо более выположены ( $Lu_N/La_N$  отношение составляет в среднем 137; рис. 1в). Положительная Ce-аномалия в значительной степени редуцирована ( $Ce/Ce^*$  в среднем 3.56), отрицательная Eu-аномалия имеет примерно такую же амплитуду ( $Eu/Eu^*$  составляет в среднем 0.25). Также увеличивается содержание Y (в среднем 2063 ppm, по сравнению с 742 ppm для предыдущей группы). Содержание U и Th заметно выше и составляет для U в среднем 1595 ppm, Th – 811 ppm, Th/U отношение равняется в среднем 0.53. Среднее содержание Ti равняется 30.2 ppm, что отвечает усредненному значению температуры около 840°C.

Суммарное содержание REE в третьей группе максимальное (в среднем 2085 ppm), по сравнению с рассмотренными выше. Спектры REE выположены в области легких REE ( $Lu_N/La_N$  отношение составляет в среднем 147; рис. 1г). Положительная Ce-аномалия в значительной степени редуцирована ( $Ce/Ce^*$  в среднем 1.90), отрицательная Eu-аномалия такая же, как и в других группах для данной пробы ( $Eu/Eu^*$  составляет в среднем 0.26). Содержание U и Th высокое и составляет для U в среднем 5447 ppm, Th – 802 ppm, Th/U отношение, по сравнению с другими группами пониженное, и равняется в среднем 0.15. Повышенное содержание Th и U, а также других несовместимых для циркона элементов, предположительно связано с влиянием флюидонасыщенного остаточного расплава при кристаллизации лейкогранитов. Среднее содержание Ti равняется 32.5 ppm, что отвечает усредненному значению температуры около 830°C.

Все аналитические точки циркона конкордантны либо субконкордантны и занимают довольно широкую область в диапазоне от 225 до 280 млн лет. Наиболее древним  $^{206}Pb/^{238}U$ -возрастом (260 млн лет и более) обладают внешние черные в CL-изображении каймы (точки 4, 8, 11, 13, 18 и 20), а также измененное ядро (точка 7). Общим для них является повышенное содержание U. Учитывая известный эффект удревнения измеренных значений возраста для высокоурановых доменов циркона, рассмотренный выше в тексте, а также исходя из того, что внешние каймы циркона по определению не могут быть самыми «древними», все внешние высокоурановые каймы (третья группа циркона по распределению REE) и точка 7 исключаются из рассмотрения для расчета возраста кристаллизации циркона. Для остальных 11 точек, за исключением точки 14 с аномально высоким содержанием Th (2295 ppm) и повышенным процентом нерадиогенного  $^{206}Pb$  (4.49%), рассчитывается значение конкордантного возраста  $245 \pm 3$  млн лет ( $MSWD = 0.013$ ). Этот возраст можно принять за время кристаллизации циркона из лейкогранитов третьей фазы Белокурихинского массива. Th/U отношение для 10 точек данной популяции (за исключением точки 5), измеренное при датировании, варьирует от 0.27 до 0.52, составляя в среднем 0.52, что соответствует диапазону значений для типичного циркона магматического генезиса.

### **Выводы**

Таким образом, кажущееся «удревнение» возраста циркона из лейкогранитов и особенности его редкоэлементного состава отражают воздействие остаточного флюидонасыщенного расплава. На поздних этапах, во время которых происходит перекристаллизация циркона и образование внешних кайм, заметно увеличивается содержание U, а также несовместимых для него легких REE. Спектры распределения REE становятся более пологими, в основном за счет увеличения количества легких REE, в них существенно понижается амплитуда положительной Ce-аномалии. Содержание Ti также несколько увеличивается, что отражается в более высоких температурных оценках для внешних кайм, по сравнению с неизменными центральными частями зерен (770°C и 830°C, соответственно).

В результат проведенного исследования U-Pb методом был определен возраст лейкогранитов третьей фазы Белокурихинского массива  $245 \pm 3$  млн лет, который согласуется с данными по титаниту и слюдам.

### **Библиография**

1. Владимиров А.Г., Пономарева А.П., Шокальский С.П. и др. Позднепалеозойский-раннемезозойский гранитоидный магматизм Алтая // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 4. С. 715-729.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М. Петрология и рудоносность Белокурихинского комплекса Алтая. Бийск: БПГУ им. В. М. Шукшина, 2008. 193 с.
3. Скублов С.Г., Мамыкина М.Е., Ризванова Н.Г. U-Pb возраст и редкоэлементный состав титанита из гранитов Белокурихинского массива, Горный Алтай // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 168-177. DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-2-168-177
4. Gavryushkina O.A., Travin A.V., Kruk N.N. Duration of granitoid magmatism in peripher-parts of large igneous provinces (based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic studies of Altai Permian-Triassic granitoids) // Geodynamics & Tectonophysics. 2017. V. 8. № 4. P. 1035-1047. DOI: 10.5800/GT-8-4-0331
5. McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223-253. DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4
6. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe // Reviews in Economic Geology. 1998. V. 7. P. 1-35. DOI: 10.5382/Rev.07.01

**Об изоморфизме в ряду флюоборит–гидроксилборит и находке природного предельно  
фтористого флюоборита**

**Булах М.О.\* (Геологический факультет МГУ, aregon27@mail.ru)**

**Аннотация**

В эксгальциях действующей фумаролы Арсенатной на Втором шлаковом конусе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения описан флюоборит, максимально близкий к конечному фтористому члену ряда флюоборит  $Mg_3[VO_3]F_3$  – гидроксилборит  $Mg_3[VO_3](OH)_3$ . Этот фторборат образует тонкоигольчатые или волосовидные кристаллы длиной до 5 мм, радиально-лучистые и спутанно-волокнистые агрегаты, нарастающие на измененный базальт совместно с сульфатами группы афтиталита, сильвином, гематитом, санидином, фторфлогопитом и разнообразными арсенатами Cu. О крайне малом содержании гидроксильных групп в изученном минерале (не более 1–2 % минала  $Mg_3[VO_3](OH)_3$ ) свидетельствуют данные колебательной (инфракрасной и рамановской) спектроскопии, а также порошковой рентгенографии.

Предельный по фтористости флюоборит ранее был установлен только в техногенном объекте – в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна на Урале – и был известен как синтетическое соединение.

**Ключевые слова**

Флюоборит, гидроксилборит, ноцерит, бораты.

**Источники финансирования**

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 19-17-00050.

**Теория**

Члены ряда флюоборит  $Mg_3[VO_3]F_3$ –гидроксилборит  $Mg_3[VO_3](OH)_3$  – сравнительно распространенные в природе монобораты с треугольными  $VO_3$ -группами. Первая находка минерала этой серии была сделана в 1926 г. на скарновом месторождении Норберг в Швеции; обнаруженный борат получил название *флюоборит*, хотя содержал всего около 30 % минала  $Mg_3[VO_3]F_3$ . Фтор- и гидроксил-доминантные представители объединялись под одним названием до 2005 года, когда было предложено выделить члены ряда с  $OH > F$  в самостоятельный минеральный вид – гидроксилборит (Руднев и др., 2007).

Флюоборит и гидроксилборит известны на многих месторождениях и рудопроявлениях магнезиально-скарновой формации, приуроченных к экзоконтактам бороносных гранитных интрузивов (Александров, 1990). Флюоборит описан также в скарнированных карбонатных ксенолитах, заключенных в пирокластических породах (Lacalmita et al., 2017). Имеются сведения о находке флюоборита в осадочных толщах Непского месторождения калийных солей (Иркутская область) (Аполлонов и др., 1988).

Предполагается, что между гидроксильными группами и ионами F в боратах данной серии возможен полный изоморфизм, однако в природе неизвестны разновидности гидроксилборита с содержанием свыше 75 % минала  $Mg_3[VO_3](OH)_3$ . Находки высокофтористых (75–95 %  $Mg_3[VO_3]F_3$ ) разновидностей флюоборита приурочены преимущественно к апоскарновым грейzenам (Александров, 1990). Чисто фтористой разновидностью долгое время считался флюоборит из ксенолитов Ноцеры (т.н. *ноцерит*), но позднее было показано, что он все же содержит не менее 4 % гидроксилборитового компонента (Александров, 1990; Lacalmita et al., 2017). Предельный по фтористости флюоборит до нашей работы достоверно был установлен только в техногенном объекте – в горелых терриконах Челябинского угольного бассейна на

Урале (Чесноков, Бушмакин, 1995). Удавалось получить его и искусственным путем (Бровкин и др., 1967).

Нашим исследовательским коллективом под руководством И.В. Пекова почти безгидроксильный флюоборит обнаружен в эксгалациях активной фумаролы Арсенатной на Втором шлаковом конусе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-76 гг. (Булах и др., 2021). Общие сведения об этой фумароле приводятся в работах (Реков et al., 2018; Булах и др., 2023).

#### **Методы**

Химический состав минерала изучен с помощью волнового спектрометра INCA-Wave 500, уставленного на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV в Лаборатории локальных методов исследования вещества Геологического факультета МГУ (аналитик В.О. Япаскерт). Порошковые рентгенограммы получены на дифрактометре Rigaku R-AXIS Rapid II на кафедре кристаллографии СПбГУ (аналитик И.В. Пеков). Регистрация спектров КРС проводилась на спектрометре EnSpectr R532 (кафедра минералогии Геологического факультета МГУ) с зеленым лазером 532 нм при мощности луча 12 мВт (аналитик М.О. Булах). Спектры ИКС получены на спектрометре ALPHA FTIR в ФИЦ ПХЗ РАН (Черноголовка) (аналитик Н.В. Чуканов).

#### **Результаты**

В фумароле Арсенатной флюоборит находится в ассоциациях с гематитом, теноритом, санидином, фторфлогопитом, сильвином, сульфатами группы афтиталита и арсенатами группы аллюодита. Температура в этой зоне фумаролы сейчас не превышает 300°C, но формирование данной минеральной ассоциации, по нашим оценкам (Булах и др., 2023), происходило при температурах около 450–550°C. Флюоборит образует бесцветные игольчатые и волосовидные кристаллы длиной до 5 мм с гексагональным или полигональным сечением. Индивиды обычно собраны в радиально-лучистые и спутанно-волокнистые агрегаты (рис. 1).

Химический состав толбачинского флюоборита (мас. %): Mg 38.71, B 5.90, O 25.52, F 30.83; эмпирическая формула в расчете на сумму всех атомов, равную 10:  $Mg_{2.97}B_{1.02}O_{2.98}F_{3.03}$ . Параметры гексагональной элементарной ячейки, рассчитанные по данным порошковой рентгенограммы:  $a = 8.808(4)$ ,  $c = 3.098(2)$  Å,  $V = 208.1(3)$  Å<sup>3</sup>. Согласно результатам предшествующих исследований (Бровкин и др., 1967; Руднев и др., 2007), параметр элементарной ячейки  $a$  в боратах серии флюоборит-гидроксилборит принимает минимальное значение у чисто фтористой разновидности и линейно возрастает с увеличением содержания минала  $Mg_3[BO_3](OH)_3$ . Параметры элементарной ячейки, полученные для флюоборита с Толбачика, очень близки к тем, что приведены для синтетического  $Mg_3[BO_3]F_3$  со структурой флюоборита в работе (Бровкин и др., 1967) и для техногенного флюоборита из горельников Челябинского угольного бассейна (Чесноков, Бушмакин, 1995).

Крайне низкая интенсивность полосы валентных колебаний ОН-групп в ИК-спектрах фумарольного флюоборита ( $3662\text{ см}^{-1}$ ) подтверждает, что содержание гидроксилборитового компонента в образцах не превышает 1–2 % (Булах и др., 2021). В рамановских спектрах фумарольного флюоборита эта полоса оказалась и вовсе не проявлена (рис. 2).

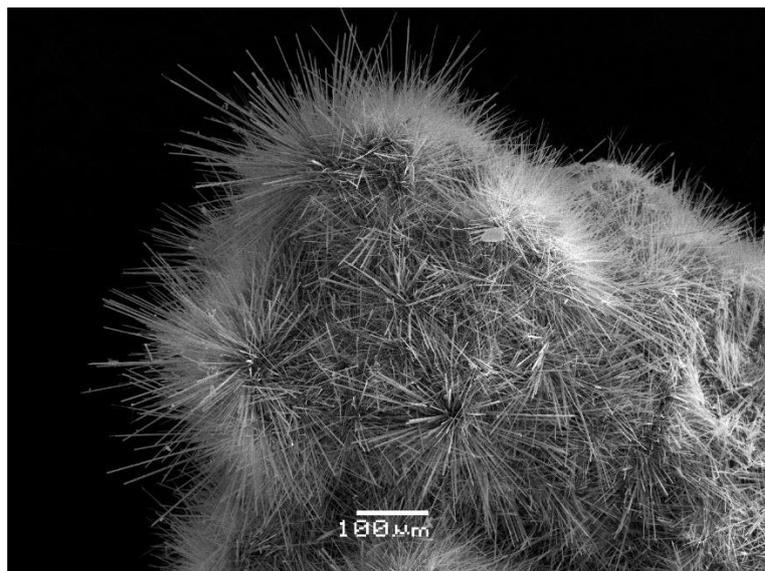


Рисунок 1. Радиально-лучистые агрегаты флюоборита (вулкан Толбачик, Камчатка)

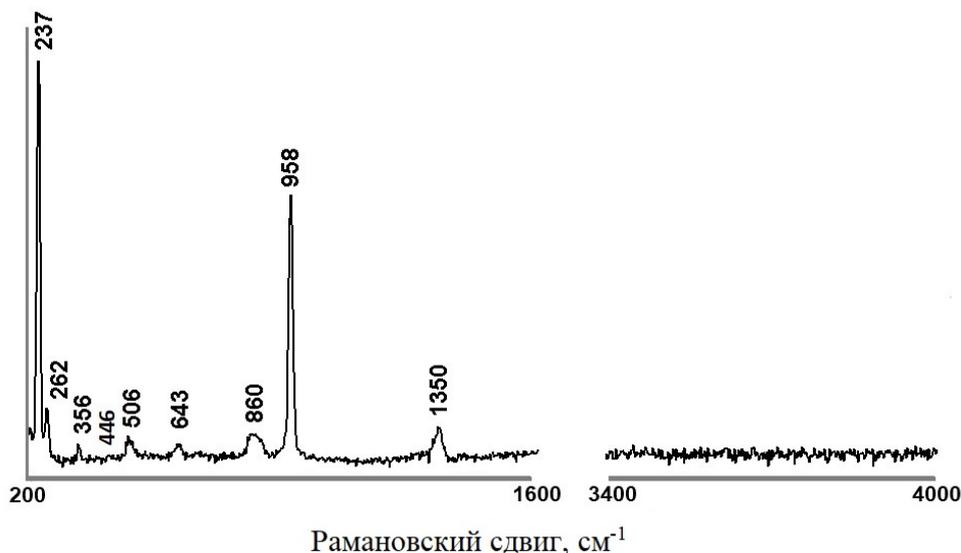


Рисунок 2. Рамановский спектр флюоборита, максимально близкого к крайне фтористой разновидности

### **Выводы**

Высокотемпературные фумаролы вулкана Толбачик на сегодняшний день являются единственным объектом, где установлен флюоборит, максимально близкий к конечному фтористому члену ряда флюоборит  $Mg_3[BO_3]F_3$ –гидроксилборит  $Mg_3[BO_3](OH)_3$ .

### **Благодарности**

Автор благодарна чл.-корр. РАН И.В. Пекову, под чьим руководством выполнено изучение фумарольных боратов, а также аналитикам – В.О. Япаскурту и Н.В. Чуканову. Рентгеновское изучение флюоборита осуществлено на оборудовании ресурсного центра «Рентгенодифракционные методы исследования» СПбГУ.

### **Библиография**

1. Александров С.М. Геохимия скарно- и рудообразования в доломитах. М., Наука, 1990. 344 с.
2. Аполлонов В.Н., Галкин Г.А., Кошуг Д.Г., Кровопапов О.А., Садовый В.Ф. О борной минерализации в калиеносной пачке Непского месторождения // Геология и геофизика. 1988. № 3. С. 24–30.
3. Бровкин А.А., Лазебник Ю.Д., Лебедева Л.И. Некоторые результаты изучения флюоборитов северо-востока СССР / Рентгенография минерального сырья. М.: Недра. 1967. Вып. 6. С. 77–86.
4. Булах М.О., Пеков И.В., Чуканов Н.В., Япаскерт В.О., Кошлякова Н.Н., Бритвин С.Н., Сидоров Е.Г. Максимально фтористый флюоборит из fumarольных эксгаляций вулкана Толбачик // Записки РМО. 2021. Т. 150. № 2. С. 42–56.
5. Булах М.О., Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Назарова М.А. Изменение базальта в fumarольных системах окислительного типа на вулкане Толбачик (Камчатка). Часть 2. Газовые метасоматиты // Записки РМО. 2023. Т. 152. № 5. С. 14–65.
6. Руднев В.В., Чуканов Н.В., Нечелюстов Г.Н., Ямнова Н.А. Гидроксилборит,  $Mg_3[BO_3](OH)_3$  – новый минерал и изоморфный ряд флюоборит-гидроксилборит // Записки РМО. 2007. Т. 136. №. 1. С. 69–82.
7. Чесноков Б. В., Бушмакин А. Ф. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение восьмое) // Уральский минералогический сборник. Миасс. 1995. № 5. С. 3–22.
8. Lacalamita M., Balassone G., Schingaro E., Mesto E., Mormone A., Piochi M., Ventruti G., Joachimski M. Fluorophlogopite-bearing and carbonate metamorphosed xenoliths from the Campanian Ignimbrite (Fiano, southern Italy): crystal chemical, geochemical and volcanological insights // Mineralogical Magazine. 2017. Vol. 81(5). P. 1165–1189.
9. Pekov I.V., Koshlyakova N.N., Zubkova N.V., Lykova I.S., Britvin S.N., Yapaskurt V.O., Agakhanov A.A., Shchipalkina N.V., Turchkova A.G., Sidorov E.G. Fumarolic arsenates - a special type of arsenic mineralization // European Journal of Mineralogy. 2018. Vol. 30. No. 2. P. 305–322.

***Термический анализ и генетические типы бокситов на примере месторождения Сангареди  
(Западная Африка Республика Гвинея)***

***Внучков Д.А. \* (ИГЕМ, dim89060471812@mail.ru),  
Боева Н.М. (ИГЕМ РАН, boeva@igem.ru),  
Макарова М.А. (ИГЕМ РАН, frolikovam@gmail.com),  
Шуилова Е.С. (ИГЕМ РАН, lena.geomsu@gmail.com),  
Мельников Ф.П. (ИГЕМ РАН, filimon.mel@bk.ru),  
Новицкий И. В. (МГУ, pause\_b@mail.ru)***

**Аннотация**

В процессе формирования классических латеритных бокситов в провинции Фута Джаллон-Мандинго, благодаря сложному двух-трёх стадийному генезису, сформировались отличные по внешним признакам, цвету, текстуре, структуре, литолого-генетические типы бокситов. Данные термического анализа позволили установить типоморфные особенности, связанные с дегидроксилизацией минералов. По характеру эндотермических эффектов порода может быть отнесена к определенному литолого-генетическому типу. Полученные данные способствуют оптимизации экономических показателей эксплуатации месторождений и технологии металлургического передела бокситов.

**Ключевые слова**

Бокситы, термический анализ, Африка, Фута Джаллон-Мандинго, Сангареди, генетические типы бокситов.

**Источники финансирования**

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИГЕМ РАН “Кристаллохимические особенности, химический состав минералов и их ассоциаций как генетические индикаторы эндогенных и экзогенных процессов” № 124022400142-2, аналитические исследования проведены в ЦКП “ИГЕМ АНАЛИТИКА”.

**Теория**

Территория Фута Джаллон-Мандинго, приуроченная к одноименной морфоструктуре и к единой геотектонической структуре – платформенному чехлу Сахарской плиты в пределах переменного влажного тропического климата Западной Африки, является крупнейшей в мире бокситоносной провинцией. Она находится на территории Республики Гвинея, восточная часть захватывает республику Мали, а северная – небольшой участок территории Гвинеи-Биссау.

На территории крупнейшей в мире бокситоносной провинции Фута Джаллон-Мандинго нами было выделено три типа бокситов (Мамедов и др., 2021). Классические бокситы *in situ*, сформированные по коренным породам, осадочно-латеритные, образование которых произошло по осадочным рыхлым породам серии Сангареди, а также инфильтрационно-метасоматические бокситы, образованные под отложениями серии Сангареди благодаря повышенному по интенсивности перераспределению вещества в профиле выветривания.

**Латеритные бокситы**

Как правило, классические латеритные бокситы формируются по существенно глинистым толщам терригенно-осадочных пород: алевро-аргиллитам и породам мезозойской траптовой формации, долеритам, конга-диабазам и габбро-долеритам.

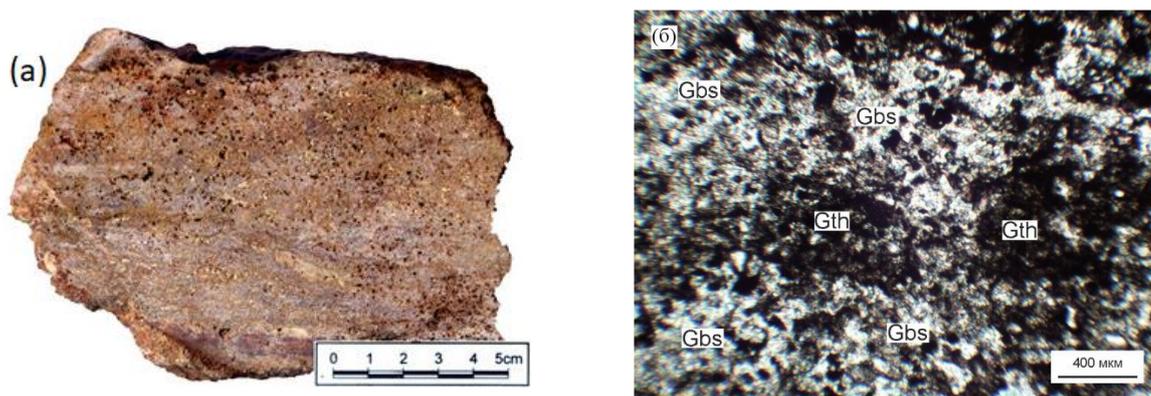


Рисунок 1. Классический латеритный боксит, образованный по алевро-аргиллиту. Фото образца (а). Прозрачный шлиф, с анализатором. Gbs-гиббсит, Gth-гётит, SiO<sub>2</sub>-кварц (б)

На кривых дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) гиббсита *in situ* присутствуют следующие эффекты: эндоэффект в интервале температур 200-450°C отвечает за выделение основной массы конституционной воды и частичное образование промежуточного продукта – бемита (дополнительный эндоэффект при температуре около 250°C). Именно при этой температуре по экспериментальным данным происходит образование бемита при нагревании (Egorova et al, 2018). Эндоэффект при 450-600° свидетельствует о дегидратации и разложении образовавшегося бемита (рис. 2а).

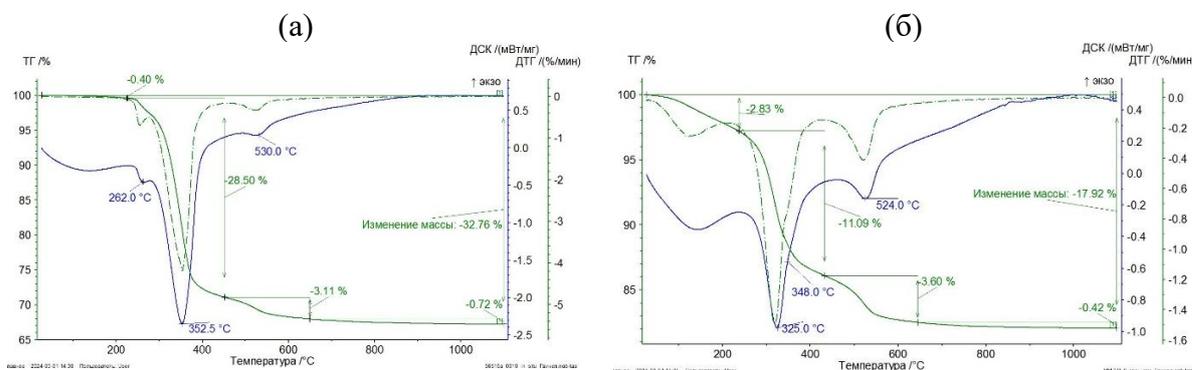


Рисунок 2. Термические кривые боксита *in situ* (а), инфильтрационно-метасоматического (б)

### Инфильтрационно-метасоматические латеритные бокситы

Данный тип бокситов образуется под отложениями серии Сангареди, имеет максимальную степень концентрации алюминия и может образовываться по любым субстратам, в том числе может как сохранять текстурно-структурные признаки исходной породы, так и иметь гелеморфную и оолитовую структуру.

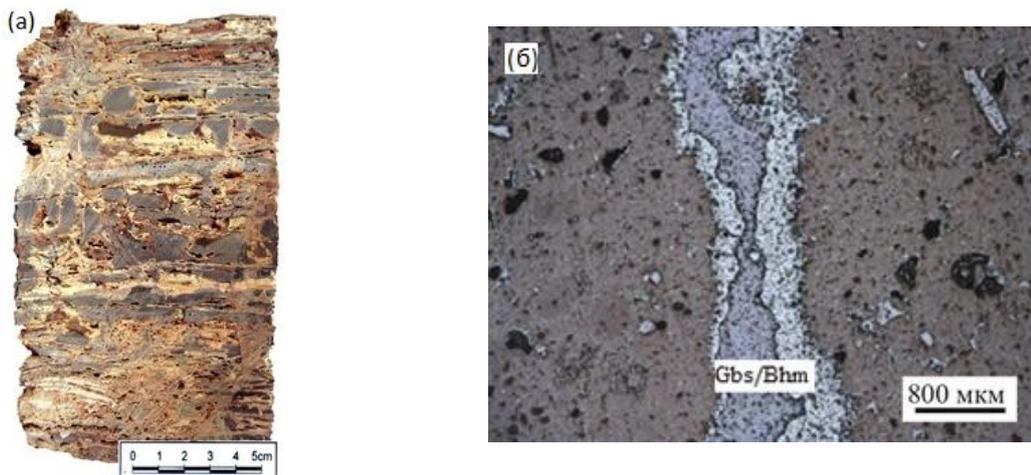


Рисунок 3. Инфильтрационно-метасоматические бокситы. Фото образца (а). Прозрачный шлиф, с анализатором Gbs-гиббсит, Bhm-бёмит (б)

Отличительной чертой данного литолого-генетического типа является присутствие большого количества бемита в боксите. Это связано с тем, что в процессе латеритизации, из вышележащей толщи латеритно-осадочных бокситов поступает большое количество свободного глинозема. На термических кривых бемит диагностируется по наличию пика на кривых ДСК в интервале температур 500-650 °С (рис. 2 б).

#### Осадочно-латеритные бокситы

Эти бокситы были образованы в постсреднемиоценовое время, претерпев неоднократное переотложение и реселификацию, представлены конгломерат-бокситовыми, гравелит-бокситовыми и песчаниковидными бокситовыми.

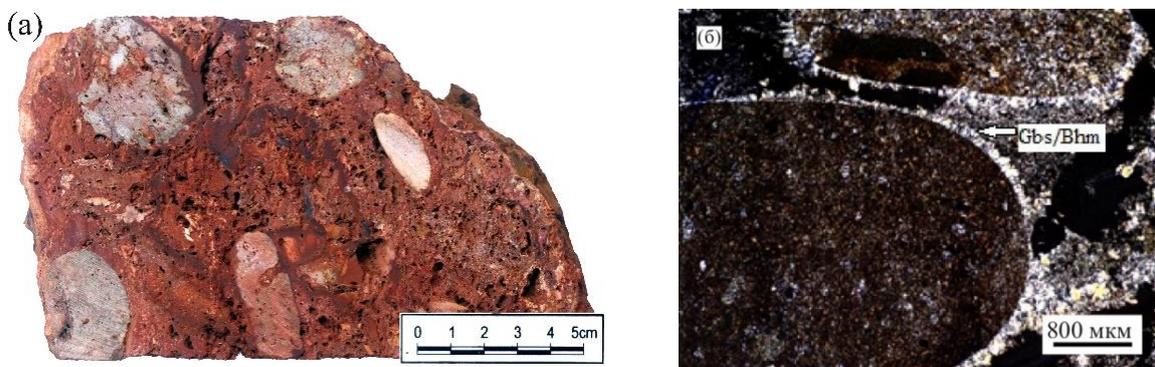


Рисунок 4. Осадочно-латеритные конгломератовые бокситы по отложениям серии Сангареди. Фото образца (а). Прозрачный шлиф, с анализатором Gbs-гиббсит, Bhm-бёмит (б)

Отличительной особенностью гиббсита из латеритно-осадочных бокситов является отсутствие дополнительных эндозффектов в интервале дегидроксилизации минерала (250-400°C) (Боева и др., 2022) (рис. 5). Известно, что размеры кристаллов в этой группе месторождений имеют очень маленькие размеры.

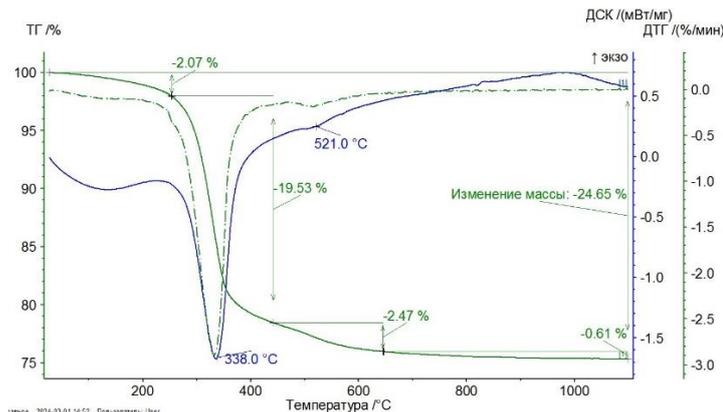


Рисунок 5. Термические кривые осадочно-латеритного боксита

### Выводы

При изучении бокситов месторождения Сангареди, методом термического анализа была установлена связь между литолого-генетическим типом и характером кривых ДСК.

На кривой ДСК латеритного боксита в интервале дегидроксилизации отмечаются дополнительные максимумы, связанные с поэтапным удалением воды из структуры минерала. При этом, через гидротермальную реакцию, из-за замедленного удаления воды из больших частиц гиббсита, при температуре 250°C, на кривых фиксируется максимум, связанный с образованием новой фазы бемита.

Дегидратация и разложение бемита, присутствие которого отчетливо прослеживается по интервалу дегидроксилизации на кривых ДСК в диапазоне температур 450-600°C, свидетельствует об инфильтрационно-метасоматическом генезисе бокситов, в которых фиксируется максимальное количество моногидрата алюминия.

Отличительной особенностью гиббсита из латеритно-осадочных бокситов является отсутствие дополнительных эндоэффектов в интервале дегидроксилизации минерала (250-400°C). Это связано с очень маленькими размерами кристаллов гиббсита, претерпевших разрушение в процессе денудации.

### Библиография

1. Боева Н.М., Макарова М.А., Шипилова Е.С., Слукин А.Д., Мельников Ф.П., Каримова О.В., Бортников Н.С. Два генетических типа бокситов Центрального месторождения и их редкометальная минерализация (Сибирская платформа) // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 23-34.
2. Egorova S.R., Mukhamed'yarova A.N., Nesterova O.V., Zhang Y., Skibina J.D., Lamberov A.A. Formation of Phases and Porous System in the Product of Hydrothermal Treatment of  $\chi$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Coatings. 2018. V. 8. P. 1-30. <https://doi.org/10.3390/coatings8010030>.
3. Мамедов В.И., Макарова М.А., Боева Н.М., Внучков Д.А., Бортников Н.С. Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута Джалон-Мандинго (Западная Африка). Часть 2: Влияние состава материнских пород на распространенность и качество бокситов // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 6. С. 576–602. DOI: 10.31857/S001677702105004X

**Состав метадолеритовых и метапикритовых метасоматитов в структуре Башкирского мегантиклинория на Южном Урале и их раннерифейский  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст по флогопиту**  
*Левкова Б.Д. \*(ГИН РАН, belalevkova@mail.ru),  
Рязанцев А.В. (ГИН РАН),  
Травин А.В. (ИГМ СО РАН)*

**Аннотация**

Дана оценка минерального, петрографического и петро-геохимического состава метасоматитов, образованных по низкотитанистым пикритам и габброидам, слагающим силлы в структуре Башкирского мегантиклинория на Южном Урале. По флогопиту из метапикритовых метасоматитов получена  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  оценка возраста ( $1356 \pm 16$  млн. л.) метасоматоза и магматизма, связанных с мезопротерозойской внутриконтинентальной плюмовой активностью.

**Ключевые слова**

Южный Урал, метасоматоз, мезопротерозой, силлы, пикриты, долериты,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст, плюмы.

**Источники финансирования**

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00308, в рамках госзадания ГИН РАН.

**Теория**

В структуре Башкирского мегантиклинория (БМА) проявления внутриплитного магматизма приурочены к разным уровням рифея [Пучков, 2010]. Основной объем магматических комплексов, представляют дайки и силлы различного состава [Ковалев и др., 2018]. Наиболее полно изучены комплексы, к которым относятся вулканиты кислого и основного состава, базитовые дайки, гранитоидные массивы. Проявления этого магматизма в ранне-среднем рифее связываются с внутриконтинентальной плюмовой активностью (машакское событие) [Пучков, 2010; Ernst et al., 2006; Носова и др., 2012].

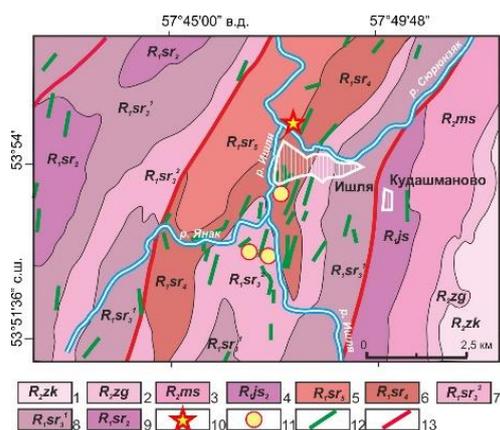


Рисунок 1. Рои силлов и даек базитов в структуре Башкирского мегантиклинория. Составлено с использованием данных [Ларионов и др., 2015]. 1–3 – свиты среднего рифея, терригенные, карбонатные и вулканогенно-осадочные породы: 1 – зигазино-комаровская, 2 – зигальгинская, 3 – машакская, 4 – юшинская; 4–9 – подсвиты и толщи суранской свиты нижнего рифея, углеродистые, карбонатные породы; 10 – точка опробования метапикритовых метасоматитов на  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -анализ ( $1356 \pm 16$  млн. л.); 11 – местонахождения пикритов; 12 – силлы и дайки долеритов; 13 – тела пикритов; 12 – разломы

Базиты, которые слагают силы и дайки, представлены двумя петро-геохимическими типами – высокотитанистыми (H-Ti) и низкотитанистыми (L-Ti), формирование которых связывается с различными мантийными источниками [Носова и др., 2012]. Многочисленные изотопные датировки получены для H-Ti базитовых даек [Ernst et al., 2006; Khotylev et al., 2020; Пучков, 2010]. Единственная Sm-Nd датировка со значением возраста  $1291 \pm 67$  млн. л. получена для L-Ti «ишлинских» пикритов

На востоке БМ, в районе села Ишля, на площади распространения нижнерифейской суранской свиты устанавливается рой силлов и даек L-Ti пикритов, пикродолеритов и габбро-долеритов. Некоторые тела метасоматически изменены. Задачей проведенных исследований является установление состава метасоматических пород и их протолита и установление возраста метасоматоза. Суранская свита сложена углеродисто-карбонатными, карбонатно-углеродистыми и карбонатными породами. Свита обнажена в скалах на правом берегу р. Сюрюнзяк, слагая крыло синклинали (азимут падения СЗ 295, угол 30). Прорывающие базиты разными авторами относятся к юшинскому, лапыштинскому, или ишлинскому комплексам [Носова и др., 2012; Ковалев и др., 2018; Ларионов и др., 2015]. Они слагают силлы, или тела неясного структурного положения на залесенных участках. Силл метасоматических пород мощностью 0.8-0.9 м протягивается в обнажении на 400 м. В 20 м выше силла метасоматитов залегает силл габбро-долеритов мощностью 2,5 м, в которых метасоматоз проявлен локально. Свежие неизмененные пикриты к югу от с. Ишля слагают ксенолиты шаровидной и караваеобразной формы размером до 1,5 м, которые залегают в коре выветривания по габбро-долеритам.

Дополняя описание [Носова и др., 2012], можно отметить, что пикриты имеют порфириовидные структуры, неравномернозернистые, с идиоморфными и субидиоморфными кристаллами оливина (20–40 об. %) и пироксенов (40–60 об. %). Среди пироксенов преобладают клиноэнстатит, авгит, пижонит. Содержание плагиоклаза (лабрадора) – до 10–15 об. %. В качестве второстепенных минералов присутствуют флогопит, Mg-биотит и роговая обманка. Акцессорные минералы – апатит, ильменит, титано-магнетит, магнетит, хромшпинелиды, пирит, халькопирит, никелин. Долериты и габбро-долериты имеют офитовую, пойкилитовую и габбро-офитовую структуры. Главные минералы – авгит и плагиоклаз, среди второстепенных минералов – биотит, амфибол, оливин. Кварц и калиевый полевой шпат представлены в гранофировом агрегате. Среди акцессорных минералов всегда отмечаются титанит, апатит, магнетит, титано-магнетит, ильменит [Носова и др., 2012]. В габброидах неравномерно проявлен метасоматоз. В разностях, в которых сохранился первичный авгит ( $Enst_{53-57}Fs_{12-16}Wo_{27}$ ), большой объем занимает хлорит, в меньшей степени – альбит, эпидот, кварц. Полностью преобразованные породы имеют лепидо-нематобластовую структуру. В них представлен аннит ( $Phl_{29-49}, Ann_{17-21}, Sid_{34-20}, Eas_{20-9}$ ), Fe-, Fe-Mg-роговая обманка, гастингсит, альбит ( $Alb_{95-97}, An_{5-3}$ ), эпидот, алланит (с десятками долями вес. % Pr, Nd, Yb), актинолит, редко – кварц. Акцессорные – титанит, магнетит, титано-магнетит.

Нижний силл на р. Сюрюнзяк, представленный только метасоматитами, имеет непостоянный состав по мощности и по простиранию. В кровле и в подошве около 0.2 м сложены породами с фенокристаллами флогопита. В средней части количество флогопита в породе значительно меньше, но присутствует заметное количество талька. По простиранию в породе в отдельных линзах преобладают фенокристаллы доломита, или кальцита. Основная масса представлена лепидогранобластовым агрегатом хлорита и кварца. Акцессорные представлены титанитом, апатитом, хром-шпинелью, арсенопиритом, пиритом, халькопиритом, никелином. В отдельных образцах метасоматитов установлен алланит с каймами монацита.

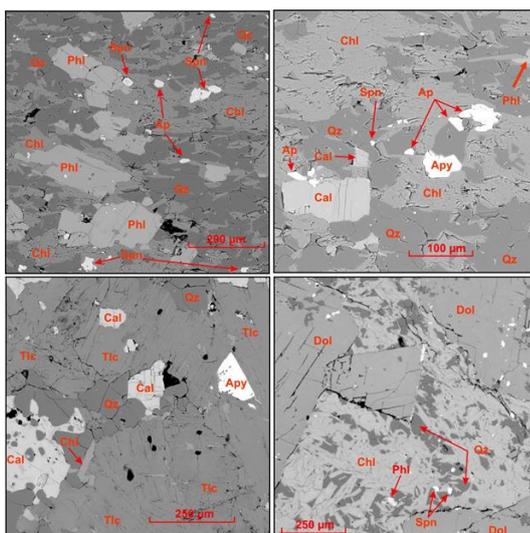


Рисунок 2. СЭМ микрофотографии метапикритовых метасоматитов

Пикриты, пикро-долериты и метасоматиты относятся к толеитовой серии, на диаграмме TAS пикриты и пикродолериты располагаются в поле базальтов, а метасоматиты – в полях базальтов и пикритов. Все породы – L-Ti ( $TiO_2$  менее 0,7%). В пикритах и в метасоматитах содержание MgO превышает 16% и они формально соответствуют коматиитам.

На спайдер-диаграммах распределение элементов метасоматитов нижнего силла и пикритов сходно. Сравнивая составы, можно предположить, что метасоматиты образованы по пикритам. Единственная проба метасоматитов отличается обогащением РЗЭ, что связано с присутствием алланита и монацита. Свидетельствующие о степени фракционирования низкие значения  $(Gd/Yb)_n = 1,1-1,7$ ,  $Ti/Y = 166-337$ ,  $(Dy/Yb)_n = 0,99-1,29$  во всех породах соответствуют L-Ti разностям других объектов в БМА [Носова и др., 2012]. Распределение Th/Yb и Nb/Yb отношений, указывают на явный привнос корового вещества.

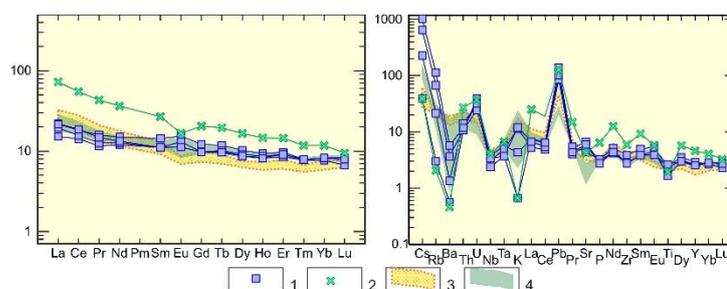


Рисунок 3. Спайдер-диаграммы с содержаниями элементов, приведенных к хондриту (слева) и к примитивной мантии (справа) по Sun & McDonough, 1989. 1-2 – метапикритовые метасоматиты: 1 – нормальные, 2 – обогащенные алланитом и монацитом; 3 – поле пикритов; 4 – поле долеритов

Вмещающие породы на экзоконтакте несут признаки метасоматических преобразований на мощности первые сантиметры. В алевролитах с карбонатным цементом появляются крупные – до 0,5 см фенокристаллы хлорита. По-видимому, базиты силлов испытали автометасоматоз. В результате  $^{40}Ar-^{39}Ar$  исследований флогопита из метапикритовых метасоматитов нижнего силла получено плато с возрастом  $1356 \pm 16$  млн. л.,  $СКВО = 0,67$  (81,7% выделенного  $^{39}Ar$ ). Имея в виду автометасоматический характер преобразования породы, можно предполагать, что полученное

значение близко к возрасту интрузии. Полученное значение дополняет сведения о возрасте L-Ti серии базитов. В то же время оно близко к интервалу формирования H-Ti типа базитов, гранитоидов и сиенитов в северной части БМА, которые связываются с мезопротерозойской плюмовой активностью в структуре Балтики [Пучков, 2010; Ernst et al., 2006; Khotylev et al и ссылки в этих работах].

### **Выводы**

Метасоматиты, образованные по низкотитанистым пикритам, связанным с мезопротерозойской внутриконтинентальной плюмовой активностью, слагающим силлы в структуре БМ на Южном Урале по флогопиту имеют  $40\text{Ar}-39\text{Ar}$  возраст  $1356 \pm 16$  млн. л

### **Библиография**

1. Ковалев С. Г., Высоцкий С. И., Ковалев С. С. К вопросу о петрогенезисе пикритовых комплексов Башкирского мегантиклинория // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 98–108.
2. Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII – Тукан. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 247 с.
3. Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение. Петрология, (2012), т. 20, № 4, с. 392–428.
4. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
5. Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О. и др. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. 2011. № 3. С. 64–83.
6. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. et al. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern Margin of the East European craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник / Ред. В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов, И.Б. Серавкин. Уфа: ДизайнПолиграфСервис 2006. № 5. С. 1–45.
7. Khotylev A.O., Tevelev A.V., Bychkova Ya.V., et al. Mezoproterozoic basite magmatism of the Bashkirian meganticlinorium: age constraints, petrological and geochemical features. Geodynamics & Tectonophysics. 2020.11 (2), 219–243.

*Процесс фракционной кристаллизации, контролирующей эволюцию магмы для  
гранитоидных пород с использованием геохимических данных*

*Ибрахим М.А.А.\* (РУДН, mohammedelsharif7@gmail.com),*

*Наанда Ф.Ф.Э. (РУДН, felixnaanda@gmail.com),*

*Макаранга Д.Э. (РУДН, jusminemakaranga@gmail.com),*

*Омар Д.А. (РУДН, jabomar1996@gmail.com)*

**Аннотация**

Основная цель этого исследования - определить процесс фракционной кристаллизации, контролирующей формирование гранита. В лаборатории "IMGRE" (Россия) содержание микроэлементов и элементов редкоземельных металлов измеряли с использованием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на образцах горных пород. Геохимические характеристики, такие как крайняя обедненность в Ti, P и Eu, указывают на фракционную кристаллизацию во время формирования гранитов в массиве Сыростан. Эти результаты предоставляют важную информацию о том, как эволюционирует магма и как формируются минералы в процессе дифференциации магмы. Аналогично, они имеют тектоническое значение, предоставляя представление о процессах, происходивших во время формирования гранита.

**Ключевые слова**

Фракционная кристаллизация, истощение, гранит, эволюция магмы, ICP-MS.

**Теория**

Микроэлементы имеют важное значение для идентификации типов горных пород и петрогенетических процессов. Недавняя геохимия магматических пород демонстрирует, что соотношение микроэлементов и редких элементов в магме указывает на магматический процесс [1,2]. Такие микроэлементы, как Rb, Sr, Y и Zr, предоставляют информацию о происхождении гранита и условиях его формирования. Этот метод основан на том факте, что различные типы гранита имеют различные химические отпечатки пальцев, которые могут быть использованы для идентификации происхождения гранита и процессов, приведших к его образованию [3].

Геохимические индикаторы, используемые для идентификации фракционной кристаллизации, такие как соотношение La/Sm, устойчивы к атмосферным воздействиям и метаморфизму. Они также полезны, поскольку предпочитают оставаться твердыми [4].

В геологии и петрологии использование микроэлементов и геохимических данных для дифференциации типов гранитов и процесса эволюции магмы является хорошо зарекомендовавшим себя методом. Этот подход основан на том факте, что различные типы гранита имеют различные химические отпечатки пальцев, которые могут быть использованы для идентификации происхождения гранита и процессов, приведших к его образованию.

В лаборатории "ИМИДЖ" содержание микроэлементов и редкоземельных элементов (РЗЭ) измеряли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в образцах горных пород (Россия).

**Выводы**

Геохимические характеристики, такие как крайнее истощение запасов Ti, P и Eu, предполагают фракционную кристаллизацию во время формирования гранитов в массиве Сыростан (рис. 1). Одним из геохимических индикаторов, используемых для идентификации фракционной кристаллизации, является соотношение La/Sm. La и Sm являются редкоземельными элементами (РЗЭ), которые обычно используются в качестве геохимических индикаторов из-за их устойчивости к атмосферным воздействиям и метаморфизму. Они также выгодны тем, что

являются совместимыми элементами, а это означает, что они имеют тенденцию оставаться в твердом растворе вместе по мере остывания и кристаллизации магмы или лавы.

Кроме того, диаграммы Zr/Nb в сравнении с Zr и La в сравнении с La/Sm (рис. 2а и б) показывают, что на химический состав Сыростанского гранита, скорее всего, влияли различные степени фракционной кристаллизации и частичного плавления [4].

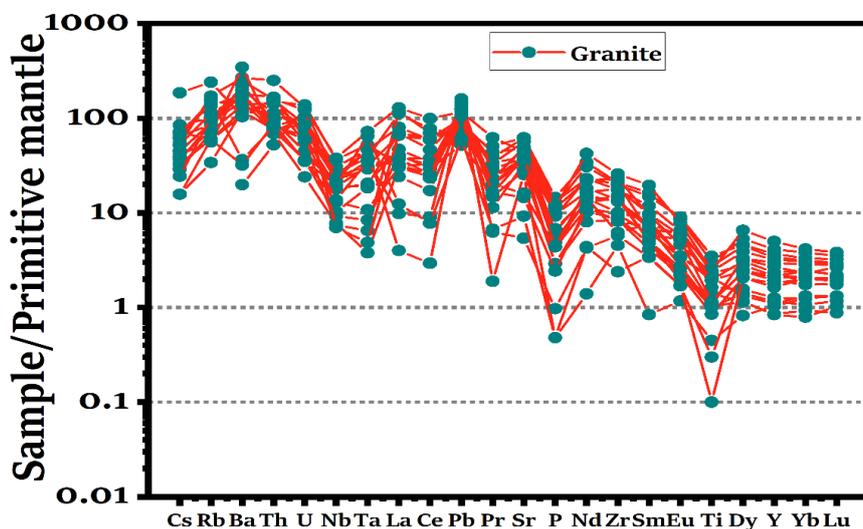
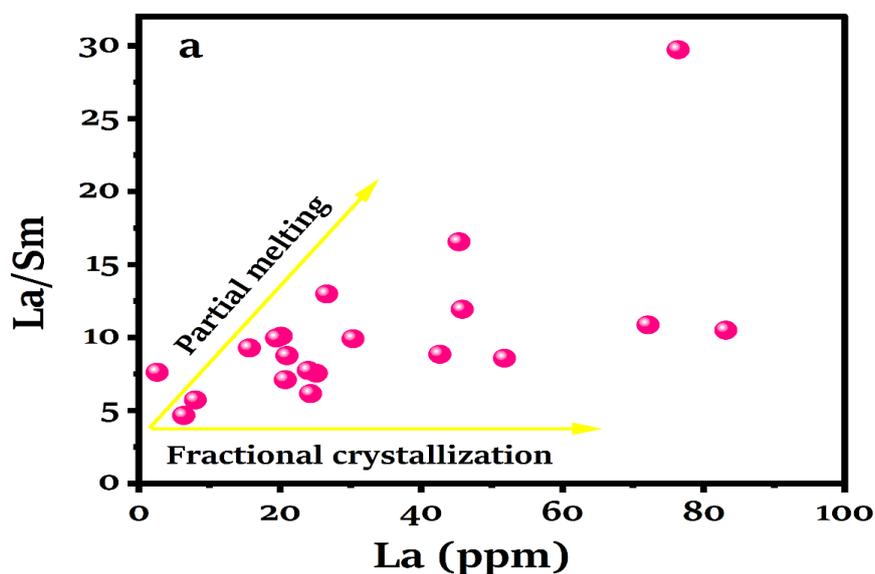


Рисунок 1. Диаграмма примитивной мантии для гранита после [5]



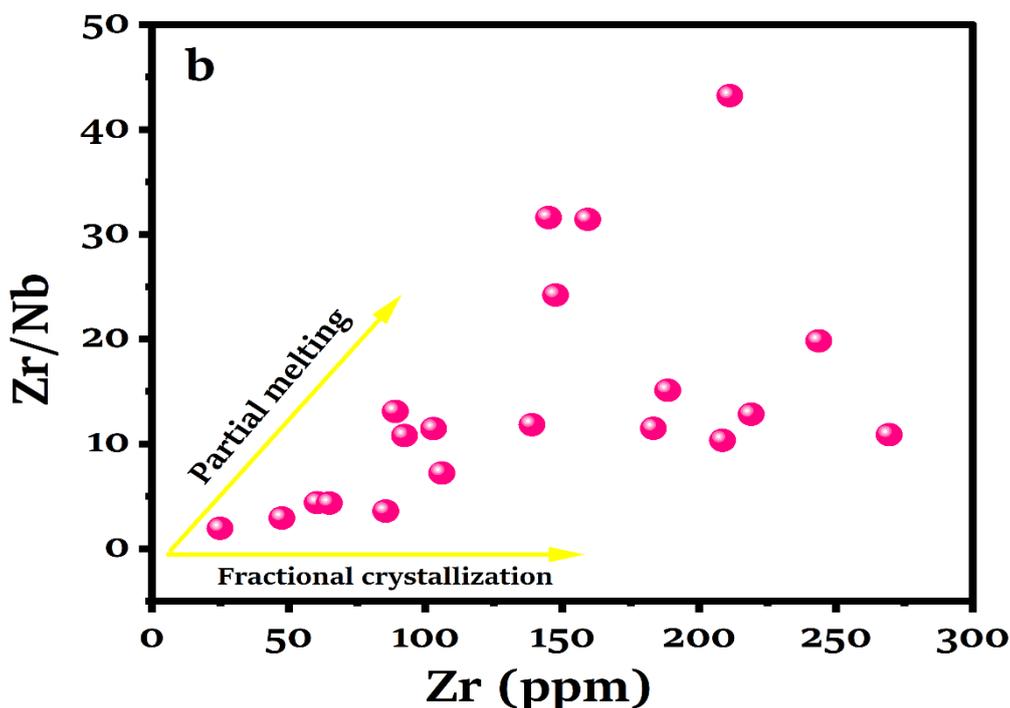


Рисунок 2. (а) графики La в сравнении с La/Sm и (б) Zr в сравнении с Zr/Nb, показывающие гранит, контролируемый различными степенями фракционной кристаллизации и частичного плавления

Высокое соотношение La/Sm указывает на то, что порода образовалась при более высоких температурах и кристаллизовалась в начале процесса фракционирования, тогда как низкое соотношение указывает на то, что порода образовалась при более низких температурах и кристаллизовалась позже. Это позволяет геохимикам реконструировать историю магмы или лавы и получить информацию об условиях, при которых она образовалась [6].

Кроме того, уменьшение содержания Р и Тi (рис. 1) указывает на фракционирование апатита и минералов, содержащих Тi (таких как рутил и ильменит), в процессе эволюции гранитной магмы.

### **Благодарности**

Данная статья была подготовлена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

### **Библиография**

1. Аллегр, К. Дж. и Дж. Ф. Минстер. 1978. “Количественные модели поведения микроэлементов в магматических процессах”. Достижения в петрологии 5 (С): 1-25. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41658-2.50006-7>.
2. Хэнсон, Гилберт Н. 1978. “Применение микроэлементов к петрогенезу магматических пород гранитного состава”. Письма по науке о Земле и планетах 38 (1): 26-43. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(78\)90124-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(78)90124-3).
3. Костицын, Ю. А., В. Н. Волков и Д. З. Журавлев. 2007. “Микроэлементы и эволюция гранитного расплава на примере Раумидского плутона, Южный Памир”.

Международная геохимическая конференция 45 (10): 971–82.  
<https://doi.org/10.1134/S0016702907100023>

4. Ли, Чен, Маньлань Ниу, Сяюй Юань, Чжэнь Янь, Ци Ву, Сючай Ли и И Сун. 2022. “Геохимические сигналы сосуществующих процессов перемешивания магмы и фракционной кристаллизации в условиях дуги: тематическое исследование Вуланской интрузивной свиты на Северо-Тибетском нагорье”. *Lithos* 432–433 (сентябрь). <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2022.106914>

5. Макдоноу, У. Ф. и С. С. Сан. 1995. “Состав Земли”. *Химическая геология* 120 (3–4): 223–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).

6. Ру, П. Ле, А. Ле Роэкс и Дж. Г. Шиллинг. 2002. “Процессы кристаллизации под Южным Срединно-Атлантическим хребтом (40-55°Южной широты), свидетельствующие о начале кристаллизации под высоким давлением”. *Вклад в минералогию и петрологию* 142 (5): 582–602. <https://doi.org/10.1007/s00410-001-0312-y>.

*Современное минералообразование на Фан-Ягнобском месторождении каменного угля  
Южный Тянь-Шань (Таджикистан)*

*Махмадшариф С.\* (федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ),  
geolog.said@mail.ru),*

*Литвиненко А.К. (федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), aki1954@yandex.ru)*

**Аннотация**

Месторождение каменного угля приурочено к одноимённой Фан-Ягнобской синклинали, вытянутой на 15 км в северо-западном направлении. В её строении принимают участие осадочные породы триаса, угленосные толщи юры, мела, палеогена и неогена [2]. На центральном, Кухи-Маликовском участке из газовых продуктов горения угля ежедневно на протяжении нескольких сотен лет образуется большая группа минералов: сера, селен, теллур, нашатырь, реальгар, халькантит, киноварь и др. Относительно средних содержаний микроэлементов в углях Центральной Азии угленосные породы Фан-Ягнобского месторождения характеризуются коэффициентами концентрации V, Sn, Ag, W, Cu более 5, а Mo, Pb, Zn, Cr, Be, Gd более 3 [2]. Вероятно, угленосные отложения явились одним из источников вещества для образования современных минералов на данном объекте.

**Ключевые слова**

Фан-Ягноб, каменный уголь, Кухи-Малик, подземный пожар, современное минералообразование.

**Теория**

Кухи-Маликовский участок, который представляет объект данного исследования, находится в центральной части Фан-Ягнобского месторождения каменного угля. Оно считается одним из крупнейших в Центральной Азии месторождений коксующихся углей. Месторождение расположено в 100 км к северу от г. Душанбе вблизи автодороги Душанбе-Худжанд, в Айнинском районе Согдийской области Республики Таджикистан.

Месторождение локализовано в мезозойской Фан-Ягнобской синеклизе заложенной на палеозойском фундаменте. Её разрез составлен 4 системами, сверху вниз: неогеновой, палеогеновой, меловой, юрской и триасовой. Мощность мезо-кайнозойских отложений, составляющих синеклизу около 2600 метров. Мезо-кайнозойские толщи смяты в складки и расколоты разломами альпийского орогенеза (рисунок 1). Структуру антеклизы в полной мере может демонстрировать разрез по линии А-Б, проведённый поперёк данной структуры. На юге она по разлому граничит с палеозоём, на севере с ним же по угловому и стратиграфическому несогласию, сопровождаемому базальными конгломератами (рисунок 2).

На протяжении более 100 лет многих исследователей привлекали сюда минеральные образования сформировавшиеся из газовых струй, выделяющихся из зоны горения углей. Оно связано с подземным пожаром, который горит более 1000 лет.

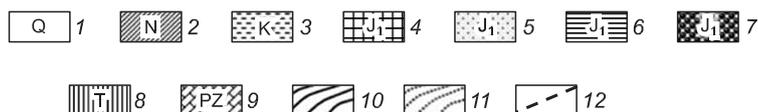
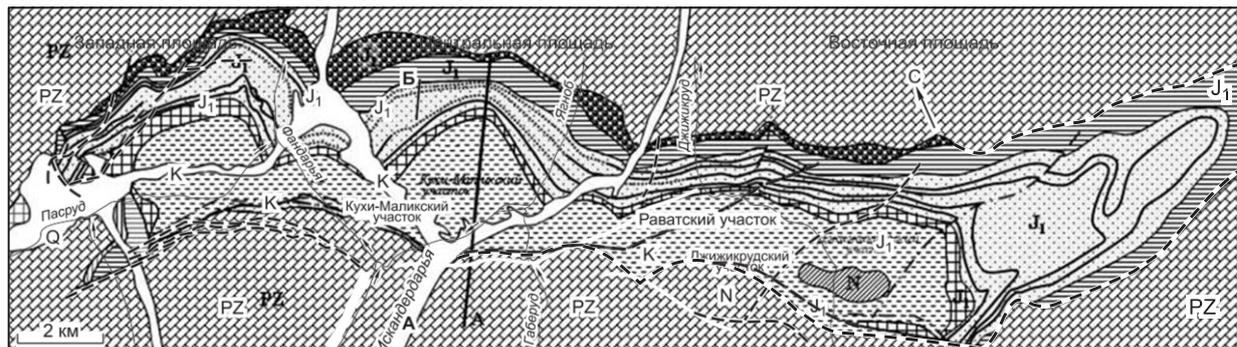


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Фан-Ягнобской синеклизы [2]. 1-3 – нерасчленённые системы: 1 – четвертичная, 2 – неогеновая, 3 – меловая; 4-8 – расчленённая на толщи юрская система: 4 – верхняя непродуктивная, 5 – угленосная, 6 – нижняя непродуктивная, 7 – базальная; 8 – триасовая; 9 – палеозойская эратема; 10 – пласты угля; 11 – пласты выгоревшего угля; 12 – разломы

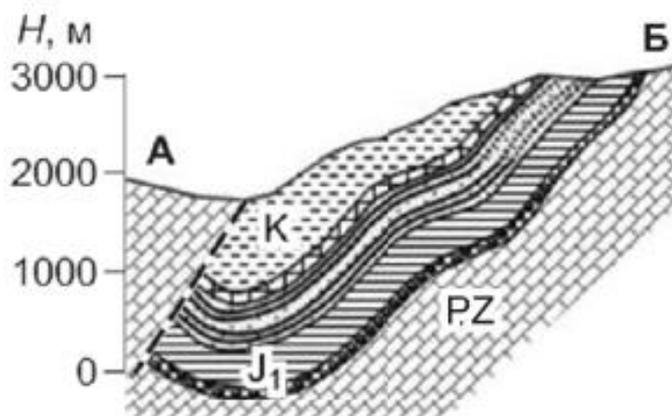


Рисунок 2. Геологический разрез через Фан-Ягнобскую синеклизу [1]. Условные обозначения на рисунке 1

В участках выделения газовых струй было установлено более 40 минералов, в открытии которых принимал участие один из авторов. Обращает на себя внимание широкий набор химических элементов, составляющих данные минералы. Здесь присутствуют и элементы рудных минералов: Te, Cu, Fe, Mo, V, Sb, As, Pb, Hg, Bi, Sn и нерудных: N, H, O, S, Se, Cl, Br, Al. Этими элементами сформированы минералы класса самородные элементы, сульфаты, сульфиды, галоидные соединения, оксиды и теллуриды. Здесь были установлены или очень редкие или новые минералы [1,3,4,6]. Всё это свидетельствует об уникальности района выхода газовых струй на земную поверхность и о больших перспективах глубоких уровней залегания мезокайнозойских пород, с которыми связана широкая ассоциация упомянутых химических элементов. Мы остановимся более подробно на минералообразовании самородной серы,

нашатыря и реальгара. Сера вблизи выходов газовых струй образует залежи площадью до нескольких десятков м<sup>2</sup> и мощностью до 0,5 м (рисунок 3). Сера – ромбическая.



Рисунок 3. Формирование залежей серы, реальгара с вкраплениями бонацциита и алакранита вблизи выхода мощного потока газа

Залежи серы осложняются мелкими включениями, доли мм, бонацциита ( $As_4S_4$ ) и алакранита ( $As_8S_9$ ). Сера образует ярко-жёлтые сталактитоподобные выделения до 1 см высотой (рисунок 4). Вблизи отдельных выходов горячих газов образуются залежи нашатыря ( $NH_4Cl$ ) с размером кристаллов до 4 см (рисунок 4). Встречаются смешанные залежи нашатыря и серы. Нужно отметить, что тонкие включения бонацциита и алакранита неравномерно распространены в агрегате серы и нашатыря, заметно уступая им в размерах.

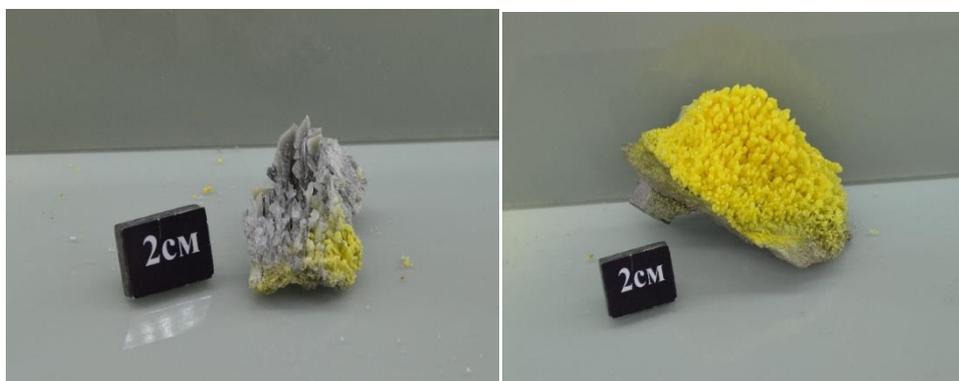


Рисунок 4. Слева агрегат серы в форме мелких сталактитов, справа – друзовидный агрегат нашатыря с присыпками серы

На площади выходы горячих струй встречаются породы, претерпевшие наиболее сильное термальное изменение. Они содержат большое количество пустот и пор, напоминая металлургический шлак или вулканическую пемзу (рисунок 5А). Некоторые поры имеют диаметр до 5 см. Шлаки очень плотные и крепкие, несмотря на большое количество пустот. Вероятно, это самые высокотемпературные образования пород, связанных с Фан-Ягнобским горением угля. Химический и минеральный состав шлаков изучен [4]. В некоторых участках шлаков кристаллизуется ярко-красный реальгар. Он кристаллизуется внутри полостей (рисунок 5В). Реальгар ( $As_4S_4$ ) формирует кристаллы до 3-4 мм, образующих друзовидные агрегаты на площади до квадратного метра и мощностью до 2 см (рис. 5В).

Шлаки на площади Фан-Ягнобского месторождения представляют благоприятную среду для кристаллизации минералов возгонов.

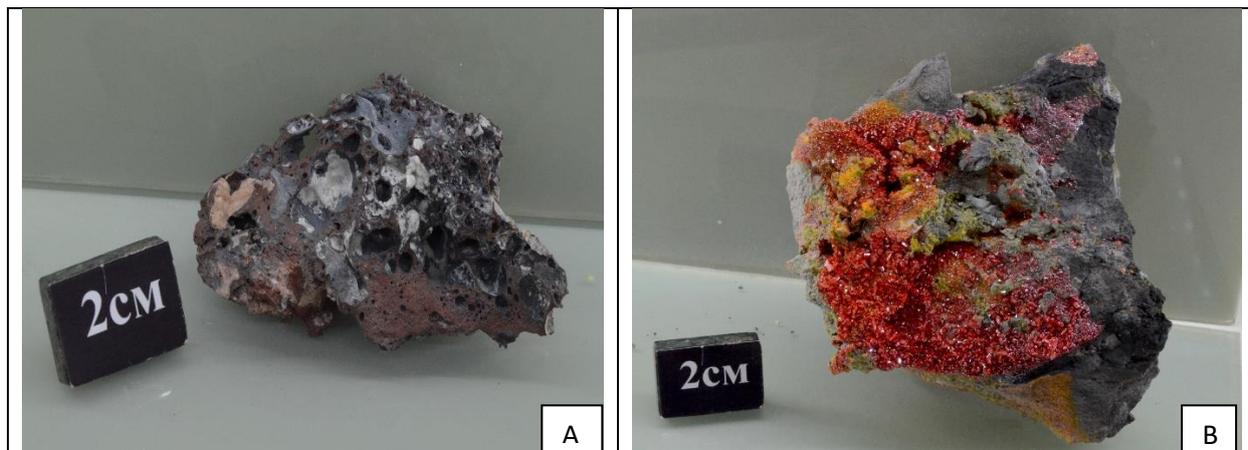


Рисунок 5. Природные шлаки. А – без минерального выполнения; В – заполненные реальгаром и другими минералами

### **Выводы**

Площадь выходов горячих возгонов вблизи горения углей Фан-Ягнобского месторождения представляет уникальную территорию, в границах которой возник широкий спектр рудных и нерудных минералов. Многие минералы имеют относительно крупные размеры и чётко сформированные кристаллы. Выявление источника вещества для кристаллизации минералов из газов представляет практический интерес для поисковой геологии.

### **Библиография**

1. Мираков М.А., Паутов Л.А., Махмадшариф С., Карпенко В.Ю., Шодибеков А.А. Первая находка ртутных минералов – тиманнита и киновари в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском угольном месторождении (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2020. Т. 54. Вып. 4. С. 96-106.
2. Охунов Р.В., Ёров З.Ё., Негматов И.И. Атлас-справочник угольного месторождения Фан-Ягноб. Душанбе. 2017. 170 с.
3. Паутов Л.А., Мираков М.А., Махмадшариф С., Карпенко В.Ю., Файзиев А.Р. Находка самородного теллура в возгонах природного подземного пожара в урочище Кухи-Малик на Фан-Ягнобском месторождении угольного месторождения (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2019. Т. 53. Вып. 4. С. 95-99.
4. Паутов Л.А., Мираков М.А., Карпенко В.Ю., Махмадшариф С. Ge-содержащий касситерит из возгонов природного пожара в урочище Кухи-Малик на Раватском участке Фан-Ягнобского месторождения каменного угля (Таджикистан) // Новые данные о минералах. 2022. Т. 56(1). С. 12-23.
5. Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Белаковский Д.И. Фаялит-секанинаитовые паралавы Раватского угольного пожара (Центральный Таджикистан) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50(8). С. 910–932.
6. Pautov L.A., Mirakov M.A., Siidra O.I., Faiziev A.R., Makmadsharif S. Falgarite,  $K_4(VO)_3(SO_4)_5$ , a new mineral from sublimates of a natural underground coal fire at the tract of Kukhi-Malik, Fan-Yagnob coal deposit, Tajikistan // Mineralogical Magazine. 2020. 84(3). P. 455-462.

*Разрывные деформации в пластичных минералах (клинохлоре и флогопите) на  
месторождении благородной шпинели Кухлал, Юго-Западный Памир  
Рогова А.Р.\* (федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ),  
annasuperroller@mail.ru ),*

*Литвиненко А.К. (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ), ak11954@yandex.ru )*

#### **Аннотация**

На месторождении ювелирной шпинели Кухилал, имеющего докембрийский возраст, в пластичных минералах (клинохлоре и флогопите), обнаружены разрывные деформации поперёк спайности. Эти деформации фиксируют одну из относительно поздних стадий в полициклическом развитии месторождения. Ранее считалось (Литвиненко, Романова, 2021), что поздние пластичные минералы (флогопит, клинохлор, гидроталькит, серпентин, брусит и др.), внутри которых располагается шпинель, препятствуют её дроблению. Микроразломы в клинохлоре и флогопите подвергают сомнению существующее мнение о главной роли этих минералов в сохранении ювелирной шпинели от деформаций.

#### **Ключевые слова**

Разрывные деформации, клинохлор, флогопит, Кухилал.

#### **Источники финансирования**

Исследование проведено без финансирования.

#### **Теория**

Исследование месторождения благородной шпинели отражены в более ранних публикациях, приведенных в библиографии. Для раскрытия темы приведенного исследования необходимо отметить несколько деталей геологии и минералогии месторождения Кухилал.

1) Месторождение сложено горными породами, получившим современный облик в позднем архее. История формирования укладывается в рамки трёх тектоно-метаморфических цикла. Два проявились в докембрии, в условиях гранулитовой, затем амфиболитовой фаций метаморфизма и третий протекал в кайнозой в эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фациях.

2) Развитие минеральных ассоциаций месторождения относительно региональных тектоно-метаморфических событий, охвативших метаморфические толщи Юго-Западного Памира, рассмотрены ранее (Литвиненко, Романова, 2020). В результате образовались маложелезистые минералы магнезиальных скарнов: шпинель, форстерит, энстатит, флогопит и др. Эта ранняя ассоциация минералов магнезиальных скарнов (Litvinenko et. Al., 2023) и турмалином (Литвиненко и др., 2023). Магнезиально-скарновая формация, а также тальковые, гранитные и жедрит-кварц-кианит-графитовые породы с кордиеритом может быть дополнена недавно установленным на месторождении периклазом и сапфирином образуют вещественную основу месторождения. Они расположены внутри магнезитовых мраморов мощностью 0.5 и протяжённостью 1.2 км, контактирующих с силлиманитовыми гнейсами.

3) Третий цикл метаморфизма, сопровождавшийся альпийским орогенезом, привёл к сильным тектоническим деформациям, которые создали в ранних минералах (шпинели, форстерите, энстатите и др.) сложную систему трещин. В участках обогащённых пластичными, упругими минералами (флогопит, клинохлор, гидроталькит, тальк, серпентин и др.) сохранились

от поврежденных реликты не растворившихся кристаллов шпинели. Именно эти минералы как бы защитили от растрескивания шпинель, клиногумит и форстерит, что сохранило их прозрачность.

В прозрачных петрографических шлифах с большим количеством клинохлора наблюдались участки, где этот минерал разбит трещинами и микроскладками. Клинохлор на месторождении образует белые до бесцветных чешуйчатые кристаллы размером до 2 см в поперечнике. Его сильноизменчивый химический состав описывается следующими компонентами, в мас. %: SiO<sub>2</sub> 26.8–34.5, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.3–21.5, MgO 32.8–36.7. Кристаллохимическая формула клинохлора выглядит следующим образом: Mg<sub>2.5</sub>AlSi<sub>1.5</sub>O<sub>5</sub>OH<sub>4</sub>. Кроме перпендикулярных сланцеватости трещин (рисунок 1а), наблюдаются диагональные, начинающиеся в зёрне шпинели через клинохлор и до гидроталькита, в котором также наблюдаются микроразломы (рисунок 1б).

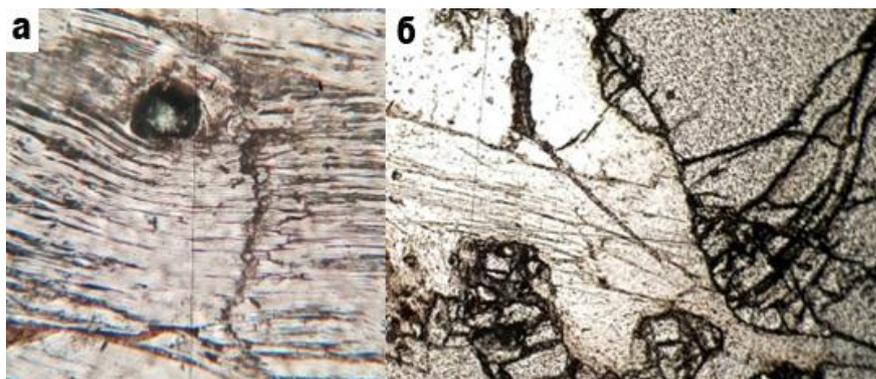


Рисунок 1. а – перпендикулярный спайности клинохлора разрыв с незначительным раскрытием и изгибом, б – диагональные разрывы в клинохлоре, окружённом зёрнами шпинели, продолжающиеся в гидротальките (выше клинохлора). Снято при одном никеле, объектив +4

От основной, пересекающей всю чешую клинохлора под углом около 45° линии трещины, отходят мелкие короткие параллельные трещинки (рисунок 2а). Левее неё наблюдается зияющая, как бы разорванная трещина, края которой имеют зубчатую форму, обусловленную, вероятно, расщеплением клинохлора по спайности (рисунок 2а). Часто наблюдаются изогнутия, напоминающие микроскладки, по замкам которых проявляются разломы, а также сильное расщепление чешуй клинохлора (рисунок 2б). Подобные расколы в пластичных минералах вызывают много вопросов к этим типоморфным признакам.

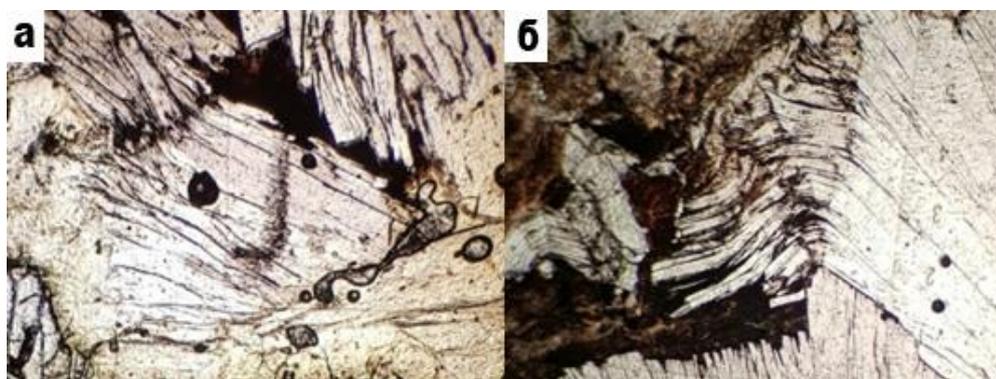


Рисунок 2. Различные виды деформаций в клинохлоре: А – трещина слева со смещением (разрыв сплошности) и слабым расщеплением по спайности, трещина справа – «лестничная»; Б – изогнутые, расколотые и расщеплённые чешуи. Снято при одном никеле. Объектив +4

Флогодит является более древним по отношению к клинохлору минералом. Он синхронизируется по времени образования с главными минералами магнезиальных скарнов, входя в их список. Он образует парагенезисы со шпинелью, форстеритом, энстатитом. Так же как и шпинель замещается клинохлором и др. минералами. Для него характерны светлые чешуи размером до 3 см в поперечнике и более. Его химический состав характеризуют следующие химические элементы в оксидной форме, в мас. %: 42 SiO<sub>2</sub>, 0.4 TiO<sub>2</sub>, 16 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 28 MgO, 1.1 Na<sub>2</sub>O, 9 K<sub>2</sub>O, 1.4 F. Его кристаллохимическая формула выглядит следующим образом: (K<sub>0.8</sub>Na<sub>0.2</sub>)<sub>1</sub>(Mg<sub>2.8</sub>Al<sub>0.2</sub>)<sub>3</sub>[(Si<sub>2.8</sub>Ti<sub>0.05</sub>Al<sub>1.15</sub>)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH<sub>1.5</sub>F<sub>0.5</sub>)<sub>2</sub>.

Трещины во флогодите имеют разнообразное очертание: прямолинейные и изогнутые, зияющие и притёртые (рисунок 3а), а также прямолинейные со сдвигами (рисунок 3б). Вторичные минералы, заполняющие трещины в шпинели (гидроталькит и клинохлор) не продолжают во флогодите.

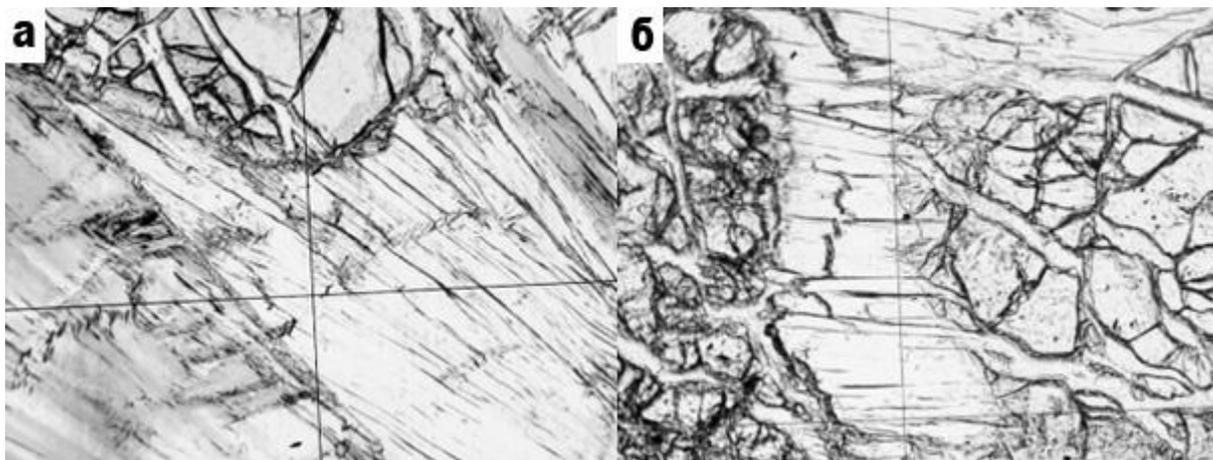


Рисунок 3. Разрывные деформации во флогодите на контакте с форстеритом, трещины в котором заполнены серпентином: А – объектив +4, Б – объектив +10

Рассматриваемые разломы в пластичных минералах наблюдаются на месторождении Кухилал только в местах развития этих парагенезисов. В участках их отсутствия минералы ранней начальной стадии разбиты большим количеством трещин. Практически во всех исследуемых шлифах, с более поздними чем главные скарновые минералы, отмечена стадия тектоногенеза, проявленная в виде складок и разломов (рисунки 1, 2, 3).

### **Выводы**

Разломы и складки пластичных минералов позволяют отметить проявление очень сильных тектонических деформаций горных пород на месторождении Кухилал. Рассмотренные выше минеральные ассоциации разных генераций и сопровождающие их разрывные и пластические деформации отчётливо демонстрируют проявление несколько стадий деформаций – минимум две. Можно констатировать, что их изучение позволяет более аргументировано выделять несколько стадий развития данного месторождения и формирующих его минеральных ассоциаций.

### **Библиография**

1. Литвиненко А.К., Романова Е.И. Роль пустот в образовании кристаллов на месторождении благородной шпинели Кухи-Лал // Отечественная геология. 2021. № 1. С.79-96.
2. Литвиненко А.К., Романова Е.И. Закономерности образования ювелирной шпинели с месторождения Кухилал, Юго-Западный Памир // Отечественная геология. 2021. № 5. С.17-25.

3. Литвиненко А.К., Романова Е.И., Якушина О.А. Генетические особенности турмалина из магнезиальных скарнов месторождения Кухилал // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2023. Т. 65. № 2. С. 99-109.

4. Litvinenko A.K., Litvinenko D.A., Fedorov A.F. Periclase from Kuhilal Deposit, Southwestern Pamirs as a result of magnesian solfats and chlorites metamorphism // GMRMS 2021 XIII: General Meeting of the Russian Mineralogical Society and Fedorov Session. 2023. Pp.194-201.

*Минералогия метаморфических образований хомолхинской свиты (Бодайбинский район)*

*Тараненко М.Г.\* (Воронежский государственный университет,  
misha.taranenko2015@yandex.ru),*

*Абрамов В.В. (Воронежский государственный университет, avova82@mail.ru)*

**Аннотация**

Породы хомолхинской свиты развиты в пределах Бодайбинского района Иркутской области. Актуальность изучения связана с наличием в изучаемых отложениях золотого оруденения. Материал для исследований отобран из скважины № 0685-10 с территории Светловского рудного поля, находящегося в 130 км к северо-востоку от г. Бодайбо.

В Воронежском государственном университете из керна скважины № 0685-10 изготовлено 6 прозрачно-полированных шлифов главных типов пород, включающих сланцы и метапесчаники. Шлифы были проанализированы с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6380LV JEOL с системой микроанализа INCA 250. По результатам анализа рассчитаны формулы минералов.

**Ключевые слова**

Метапесчаники, сланцы, микрозондовый анализ.

**Теория**

Хомолхинская свита на территории Бодайбинского района характеризуется флишоидным типом разреза [4] и состоит из переслаивающихся пачек метапесчаников, кварц-сланцев и филлитовидных сланцев. С целью более полной диагностики минеральных видов, а также построения кристаллохимических формул, на микрозондовом анализаторе были проанализированы минералы метапесчаников, филлитовидных и кварц-сланцев по 62 точкам.

Таблица 1

Распределение точек микрозондового анализа по скважине № 0685-10

Минерал	Глубина отбора образца, м					
	4,35*	16,7*	93,65*	76'	49,1''	81,75''
Хлорит		2	2	1	1	1
Мусковит	2	1	2	1	1	1
Доломит	2	2	3		1	
Кальцит						3
Пирит		1				
Пирротин		2	2		2	1
Халькопирит		1	1			
Циркон	1	1	1	1		
Ильменит			2	2		2
Рутил		1			1	1
Апатит	1	1	1			
Самородное золото			2			
Алланит - редкоземельный эпидот		1	1	2	2	1
Бастнезит			1			

*Примечание: \* - метапесчаник, ' – кварц-сланцевый сланец, '' - филлитовидный сланец.  
«1, 2, 3...» - количество точек анализа.*

Особое внимание стоит обратить на метапесчаник с глубины 93,65 м, в котором было обнаружено 2 золотинок (рис. 1), с массовым содержанием золота 83,3 и 87,4% соответственно. Они имеют слабоудлиненную приближенную к изометричной форму и размеры в несколько десятков микрометров.

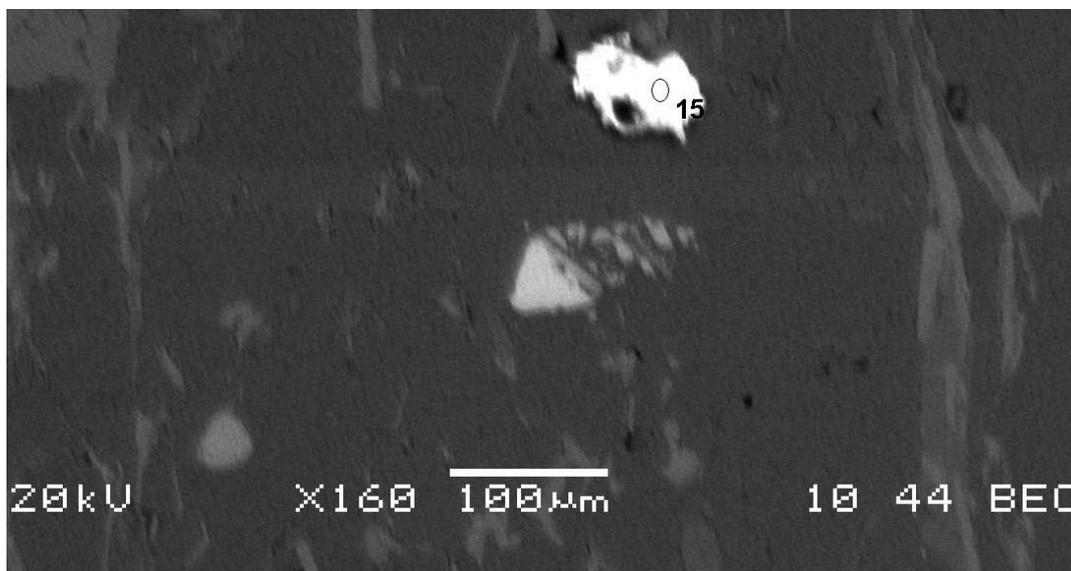


Рисунок 1. Зерно золота (15) в метапесчанике, скважина № 0685-10, глубина 93,65 м

Для дальнейшей интерпретации полученных данных был выполнен пересчет на формульные коэффициенты и построение кристаллохимических формул минералов с помощью методик А.Г. Булаха [2].

Минералы, содержащиеся в исследуемых сланцах и метапесчаниках, в целом, имеют примерно одинаковые размеры и форму, однако их химический состав различен.

В шлифах метапесчаников главные минералы представлены вытянутыми, реже изометричными кристаллами хлорита и «цветовой морфологической разновидностью мусковита» [1] - серицита. Размеры кристаллов не превышают 0,1 мм по короткой и 0,4 мм по длинной оси. Особенностью химического состава мусковита является изоморфное замещение калия натрием, а также алюминия магнием и железом в пределах 0,3 формульных единиц.

К второстепенным минералам метапесчаников относится доломит, который имеет изометричную форму и размеры 0,3-0,4 мм в шлифах. В химическом составе минерала отмечены повышенные содержания Са – до 2,9, Mg – до 1,8 и Fe – до 1,2 формульных единиц.

Аксессуарными минералами метапесчаников хомолхинской свиты являются циркон, ильменит, рутил и апатит. Зёрна всех этих минералов имеют размеры в несколько десятков микрометров и в шлифах не видны, однако микронзондовый анализ позволил установить их наличие и форму, приближенную к изометричной. В цирконах отмечается примесь гафния 0,013-0,017 формульных единиц. В ильмените постоянно присутствует 0,1 формульная единица Mn. В рутиле Si изоморфно замещает Ti в количестве 0,1 формульной единицы. Апатит не имеет в своём составе ионы хлора, что компенсируется двукратным содержанием фтора.

Сульфидная составляющая метапесчаников включает пирит, пирротин и халькопирит. В шлифах все они имеют слабоудлиненную форму, но разные размеры. Кристаллы пирротина и пирита достигают первых мм по длинной оси, в то время как халькопирит имеет размеры не более 0,05 мм и встречается в виде мелких включений в пирротине. Особенностей в химическом составе сульфидов не отмечается.

К редкоземельным минералам метапесчаников относится алланит и бастнезит. Их размеры не превышают 0,1 мм, что значительно осложняет их диагностику в шлифах. Особенностью бастнезита является отсутствие в его составе катионов и анионов Al, Fe и Cl. В химическом составе алланита наблюдается нехватка редкоземельных элементов в количествах 0,1-0,4 формульных единиц. Существенный недостаток Ca отмечается как в бастнезите, так и алланите.

Химический состав минералов, составляющих сланцы хомолхинской свиты имеет ряд особенностей.

Так часть пирротинов филлитовидных сланцев имеет в своём составе титан, в то время как для метапесчаников подобные замещения не характерны. Изоморфизм между Ti и Si в рутилах сланцев хомолхинской свиты, в отличие от метапесчаников, не отмечается. Химический состав алланита большей части сланцев схож с аналогичным составом минерала метапесчаников. В алланитах также наблюдается нехватка редкоземельных элементов и кальция, однако для некоторых из них, напротив, характерно превышение теоретического содержания количества редкоземельных элементов на 0,3-1,8 формульных единиц.

В некоторых сланцах хомолхинской свиты присутствует кальцит, который имеет размеры 0,1-0,3 мм в шлифах и отличается повышенными - до 2,6 формульных единиц - содержаниями Ca в химическом составе.

Химический состав таких минералов, как мусковит, хлорит, доломит и циркон не обнаруживает существенных отличий в сланцах и метапесчаниках хомолхинской свиты.

Другие минералы были встречены только в одном из типов пород, что не позволяет говорить о сходстве или различии их химических составов в сланцах и метапесчаниках.

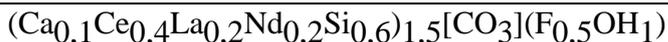
Таким образом, в ходе изучения были описаны минералы пород хомолхинской свиты. Их кристаллохимические формулы представлены в таблице.

Таблица 2

Кристаллохимические формулы минералов

Минерал	Кристаллохимические формулы минералов	
Золото самородно е	I	Пробность 874‰
	I	Пробность 833‰
	I	
Хлорит	$\{Mg_1Al^{VI}_{1,3}Fe^{3+}_{0,6}\}_{2,9}(Al^{IV}_{1,3}Si_{2,7})_4O_{10}(OH)_2 \cdot \{Fe^{2+}_{1,8}Mg_1\}_{2,8}(OH)_6$	
Мусковит	$\{Na_{0,1}K_{0,8}\}_{0,9}[Mg_{0,2}Al^{VI}_{1,7}Fe^{3+}_{0,1}]_2(Si_{3,3}Al^{IV}_{0,7})_4O_{10}(OH)_2$	
Доломит	$Ca_{2,8}Mg_{1,7}Mn_{0,2}Fe^{2+}_{1,1}Si_{0,1}[CO_3]_2$	
Кальцит	$Ca_{2,6}Mg_{0,1}Mn_{0,1}Fe^{2+}_{0,1}Si_{0,1}[CO_3]$	
Пирит	$Fe_{0,88}S_2$	
Пирротин	$Fe_{0,87}S_1$	
Халькопирит	$Cu_{0,93}Fe_1S_2$	
Циркон	$Zr_1Hf_{0,017}[Si_{0,9}O_4]$	
Ильменит	$\{Mn_{0,1}Fe^{2+}_{0,8}Fe^{3+}_{0,1}\}_1\{Ti_{0,9}Si_{0,1}\}_1O_3$	
Рутил	$\{Ti_{0,9}Si_{0,1}\}_1O_2$	
Апатит	$Ca_{4,1}[P_{0,9}O_4]_3(F_2OH_1)$	
Алланит	$(Ca_{0,2}Ce_{0,3}La_{0,2}Pr_{0,1}Nd_{0,3})_{1,1}(Al_{1,4}Fe^{2+}_{1,1}Fe^{3+}_{0,5})_3[Si_2O_7][Si_1O_4][O,OH]$	

Бастнезит



### **Выводы**

Минералы метапесчаников и сланцев хомолхинской свиты практически не отличаются химически. Небольшие отклонения в составе наблюдаются среди отдельных рудных, аксессуарных и редкоземельных минералов, однако главные и второстепенные минералы, составляющие подавляющую массу породы, неотличимы в сланцах и метапесчаниках.

Заметны некоторые отличия полученных минеральных формул от теоретических. Значительное влияние на степень отличия оказывает изо- и гетеровалентный изоморфизм, неопределяемые в ходе анализа элементы [3], а также математические погрешности и округления при пересчёте весовых процентов в формулы минералов.

Особое значение имеет выявление 2 знаков золота в метапесчанике с глубины 93,65 м скважины № 0685-10, что может служить подтверждением наличия золотого оруденения в породах хомолхинской свиты.

### **Библиография**

1. Булах А.Г. Минералогия : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А. Г. Булах. - М. : Издательский центр «Академия», 2011. - 288 с.
2. Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Недра, 1967. - 144 с.
3. Власов, Евгений Алексеевич. Методы исследования минералов: растровая и просвечивающая электронная микроскопия и электронно-зондовый микроанализ: учебное пособие / Власов Е. А., Кошуг Д. Г., Посухова Т. В.; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Геологический фак. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва: ГЕОХИ РАН, 2013. - 95 с.
4. Публичное акционерное общество «Высочайший» (ПАО «Высочайший») / Проект на геологическое изучение, включающее поиски и оценку рудного золота на участке недр «Светловское рудное поле» // Книга 1. Иркутск 2019 г. 156 с.

*Новые данные по минералогии агпайтовых сиенитов интрузии Нива (Кольский полуостров)  
Филина М.И.\* (ГЕОХИ РАН, makimm@mail.ru),  
Кононкова Н.Н. (ГЕОХИ РАН, nnzond@geokhi.ru)*

**Аннотация**

Исследован химический состав породообразующих минералов агпайтовых сиенитов интрузии Нива, главные минералы породы представлены ортоклазом, натролитом, энигматитом, титанистым эгирин-авгитом, минералами группы лампрофиллита (МГЛ), калио-арфведсонитом и астрофиллитом. По сравнению с другими агпайтовыми сиенитами Кольской щелочно-карбонатитовой провинции агпайтовые сиениты интрузии Нива содержат значительные (породообразующие) количества МГЛ и энигматита. Показано, что составы титанистого эгирин-авгита эволюционировали в сторону обогащения натрия, железа и титана, зональность калио-арфведсонита выражается в увеличении содержания калия и железа и уменьшении количества магния, кальция, титана и фтора от центра к краям кристаллов. Высокое содержание фтора в МГЛ и калио-арфведсоните связано с высоким содержанием и активностью фтора в исходном щелочном расплаве.

**Ключевые слова**

Кольская щелочно-карбонатитовая провинция, агпайтовые сиениты, интрузия Нива, минералы щелочных пород.

**Источники финансирования**

Работа выполнена за счет средств бюджетного финансирования Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

**Теория**

Интрузия Нива расположена на южном берегу озера Бабинская Имандра (Кольский полуостров), она была обнаружена в ходе геолого-съёмочных работ и описана в 1999 г. (Arzamastsev et al., 2000). Интрузия образует линзовидное тело диаметром 1.5–2 км и выходит на дневную поверхность на площади 200 x 300 м на южном берегу озера. Большую часть интрузии составляют агпайтовые сиениты, также описана протяженная зона тонкозернистых ортоклазитов. Вмещающими породами являются Архейские докембрийские амфибол-биотитовые гнейсы Беломорской серии. Возраст интрузии  $379 \pm 21$  млн лет (Rb–Sr система) и  $383 \pm 58$  млн лет (Sm–Nd система) (Arzamastsev et al., 2000) перекрывается с возрастом палеозойского щелочного магматизма на территории Кольской щелочно-карбонатитовой провинции (КЩКП). В интрузии Нива был впервые описан новый минерал - фторбаритолампрофиллит  $(\text{Ba,Sr})_2[(\text{Na,Fe}^{2+})_3(\text{Ti,Mg})\text{F}_2][\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{O}_2]$  (Filina, et al., 2019).

Агпайтовый сиенит представляет собой мелко- и среднезернистую породу, темно-зеленого цвета с массивной текстурой. Порода сложена ортоклазом (35–45 об. %), натролитом (15–20 об. %), титанистым эгирин-авгитом (10–15 об. %), энигматитом + астрофиллитом (10–15 об. %), МГЛ – (10–15 об. %) и калио-арфведсонитом (10–15 об. %). Акцессорные минералы представлены нунканбахитом, баритом, сфалеритом и пиритом. Ортоклаз в породе образует лейсты длиной 2–4 мм, которые пойкилистически заключают зерна других минералов. Натролит образует мелкозернистые зерна неправильной формы, которые заполняют интерстиции между темноцветными минералами и ортоклазом. Энигматит образует крупные пластинчатые кристаллы с совершенной спайностью, в минерале присутствуют многочисленные включения титанистого эгирин-авгита. Титанистый эгирин-авгит образуют зональные игольчатые или удлиненно-призматические кристаллы со светло-зелеными ядрами, и травянисто-зелеными каймами, более поздняя генерация эгирин-авгита развивается по краям других темноцветных

минералов. МГЛ образуют светло-желтые удлиненно-призматические кристаллы или радиально-лучистыми сростки. Калио-арфведсонит образует идиоморфные кристаллы с коричневыми ядрами, и темно-зелеными каймами. Агрегаты игольчатого астрофиллита по краям замещают энigmatит, вплоть до образования псевдорифоз (рис. 1).

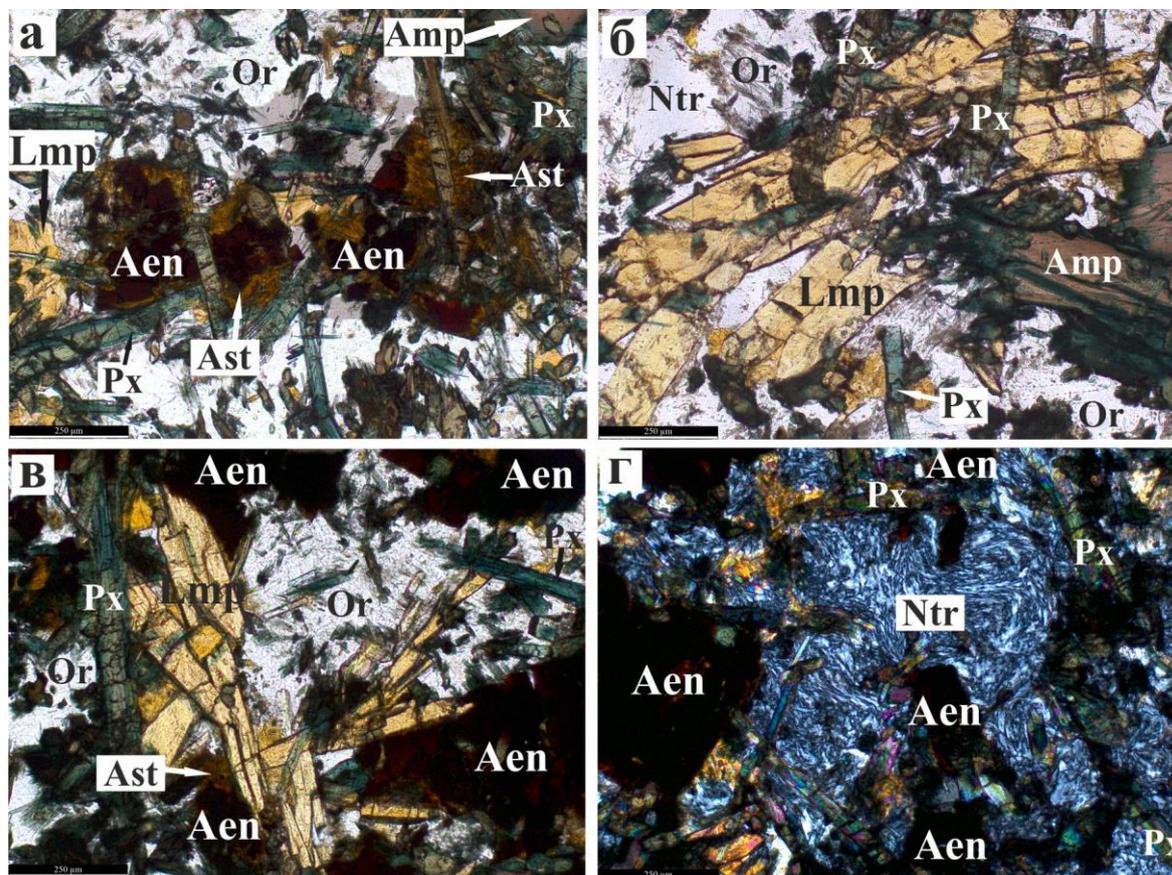


Рисунок 1. Взаимоотношение минералов в агапитовом сиените интрузии Нива. Срастание призматических кристаллов МГЛ (Lmp), окруженных игольчатыми кристаллами титанистого эгирина-авгита (Px) и зональными кристаллами калио-арфведсонита (Amp) (б, в). Энigmatит (Aen) (а, в, г), по краям замещенный астрофиллитом (Ast) (а, в). Ортоклаз (Or) с включениями темноцветных минералов (а, б, в), интерстиции сложены мелкозернистым ксеноморфным натролитом (Ntr) (г). А-в- николи параллельны, г – николи скрещены

Химический состав породообразующих минералов был исследован методом электронно-зондового микроанализа на приборе Cameca SX 100 в ГЕОХИ РАН, Москва (табл. 1). Титанистый эгирина-авгит характеризуется зональностью, которая выражается в увеличении содержаний натрия, железа и титана от ядра к периферии, а также уменьшению содержаний магния и кальция, таким образом, главное направление эволюции состава пироксенов заключается в увеличении эгириновой (Na, Fe<sup>3+</sup>) составляющей и уменьшении диопсидового (Ca, Mg) и геденгебергитового (Ca, Fe<sup>2+</sup>) компонентов. Эгирина-авгит характеризуется высоким содержанием титана до 5.57 мас. % TiO<sub>2</sub>, содержание циркония достигает 0.56 мас. % ZrO<sub>2</sub>. Центральные части кристаллов амфибола относятся к калио-магнезио-фтор-арфведсониту, а краевые зоны - к калио-арфведсониту. Содержание повышенного количества калия (до 5.29 мас. % K<sub>2</sub>O), позволяет ему преобладать над Na в А позиции, также амфибол характеризуется высоким содержанием титана (до 4.54 мас. % TiO<sub>2</sub>) и фтора (до 2.66 мас. % F). Зональность амфибола выражается в увеличении

содержания калия и железа и уменьшении количества магния, кальция, титана и фтора от центра к краям кристаллов. МГЛ в породе представлены тремя разновидностями: лампрофиллитом, фторлампрофиллитом, и фторбаритолампрофиллитом. Ранняя генерация МГЛ (I) отличается высоким содержанием стронция (от 7.86 до 10.22 мас. % SrO) и фтора (до 3.09 мас. % F), более поздние (II и III) – увеличением содержания бария (от 13.32 до 18.70 мас. % BaO) и калия, уменьшением содержания стронция (от 8.08 до 4.35 мас. %, SrO), фтора (от 2.73 мас. % до 1.30 F), натрия и примесных элементов. В составе ортоклаза практически полностью отсутствует натрий (0.06 мас. % Na<sub>2</sub>O). Состав натролита при пересчете на формульные коэффициенты, показывает дефицит суммы натрия, связанный с наличием воды в структуре. Энигматит характеризуется постоянным составом, зональность внутри кристаллов не выявлена. Для астрофиллита отмечается низкое содержание фтора - 0.11 мас. % F, что связано с кристаллизацией минерала на поздней стадии, когда фтора в системе практически не оставалось.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) порообразующих минералов интрузии Нива

Компо- нент	Ort	Ntr	Aen	Ast	Px		Amp		Lmp					
									I		I		III	
									9	10	11	12	13	14
—	—	—	—	C	R	C	R	C	R	C	C			
SiO <sub>2</sub>	64.98	52.02	41.43	38.92	50.76	51.12	51.01	48.38	31.47	31.72	29.05	29.09	29.54	29.22
TiO <sub>2</sub>	0.08	нпо	9.99	10.43	1.64	5.57	4.54	2.76	28.59	29.2	27.45	27.53	27.42	26.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.45	30.15	0.45	0.43	0.6	0.78	1.47	0.05	нпо	0.07	0.07	0.11	0.08	0.12
FeO	0.06	0.1	38.84	31.82	14.15	18.72	16.48	31.53	5.1	4.89	4.98	4.08	4.54	4.3
MnO	0.01	0.02	1.44	1.5	0.64	0.36	0.6	0.81	0.94	0.89	0.3	0.77	0.22	0.32
MgO	нпо	нпо	1.86	1.86	8.68	4.06	10.08	2.02	0.59	0.73	0.24	0.66	0.34	0.29
CaO	нпо	0.02	0.09	0.48	17.23	7.81	2.42	0.11	1.02	1.05	0.5	0.8	0.58	0.52
Na <sub>2</sub> O	0.06	15.7	7.63	3.66	3.69	9.02	6.9	6.22	10.8	11.21	9.04	10.84	10.31	10.2
K <sub>2</sub> O	16.94	0.07	0.01	6.84	0.01	0.06	3.27	5.29	2.43	2.05	3.2	2.38	2.32	2.53
ZrO <sub>2</sub>	но	но	нпо	нпо	0.56	0.34	0.08	нпо	нпо	нпо	0.08	0.36	0	0.02
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	но	но	0.12	0.08	но	но	но	но	0.09	нпо	1.61	0.6	0.3	1.1
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	но	но	но	но	0.26	0.6	но	но	но	но	но	но	но	но
SrO	но	но	но	но	но	но	0.49	нпо	7.86	10.22	4.35	8.08	6.51	5.17
BaO	но	но	но	но	но	но	но	но	10.48	7.72	17.78	13.32	16.16	18.7
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	но	но	но	но	но	но	но	но	0.46	но	0.36	0.06	0.46	0.07
F	но	но	0.11	0.25	но	но	2.66	нпо	3.09	2.42	2.1	2.73	1.61	1.3
Сумма	100.58	98.08	101.97	96.27	98.21	98.44	100	96.17	102.92	102.17	101.11	101.41	100.39	100.7
O=F	—	—	0.05	0.11	—	—	1.12	—	1.3	1.02	0.88	1.15	0.68	0.55
Сумма*	—	—	101.92	96.16	—	—	98.88	96.17	101.62	101.15	100.23	100.26	99.71	100.15

*Примечание. Ort - ортоклаз, Ntr - натролит, Aen - энигматит, Lmp - минералы группы лампрофиллита, Px - титанистый эгирин-авгита, Amp - калио-арфведсонит. Зоны кристаллов: C – центральная. R- краевая. Римскими цифрами (I, II, III) обозначены генерации МГЛ. Нпо – ниже предела обнаружения, но – не определялось. \*- в пересчете на концентрацию фтора*

### **Выводы**

По сравнению с другими агпайтовыми сиенитами КЩКП, агпайтовые сиениты интрузии Нива содержат значительные (породообразующие) количества МГЛ и энigmatита - минералов, которые встречаются только в подчиненном количестве (до 5 об. %) в породах Хибинского и Ловозерского массивов (Бусейн и Сахаров, 1972; Боруцкий, 1988). Единственным известным аналогом агпайтовых сиенитов интрузии Нива с близким химическим и минеральным составом, является дайка агпайтовых сиенитов Мохнатые Рога (Filina et al., 2022), расположенная 35 км к юго-западу от интрузии. Составы титанистого эгирина-авгита эволюционируют в сторону обогащения натрия, железа и титана. Зональность амфибола выражается в увеличении содержания калия и железа и уменьшении количества магния, кальция, титана и фтора от центра к краям кристаллов. Все генерации МГЛ характеризуются высоким содержанием бария и фтора, в калио-арфведсоните, также отмечаются повышенные содержания фтора, что связано с высоким содержанием и активностью фтора в исходном щелочном расплаве. Первичное происхождение ортоклаза - конечного члена изоморфного ряда альбит – ортоклаз, в агпайтовых сиенитах является маловероятным и предполагается, что ортоклаз был образован по более раннему К-Na полевому шпату. Замещение первичного К-Na полевого шпата ортоклазом на позднемагматической стадии, описано на примере увит-уртитов и ричорритов Хибинского массива (Боруцкий, 1988). Образование в породе натролита происходило по более раннему нефелину, кристаллизация натролита происходит при температуре ниже 300°, а выше этой температуры стабильны нефелин и другие фельдшпатовиды (Пеков и др., 2004). Таким образом, предполагается три стадии кристаллизации минералов агпайтового сиенита: на первой стадии происходила кристаллизация К-Na полевого шпата, нефелина, энigmatита, МГЛ I, эгирина-авгита I. На второй стадии К-Na полевой шпат замещался ортоклазом, кристаллизовались калио-арфведсонит, эгирина II, МГЛ II. На третьей стадии нефелин заместился натролитом, по энigmatиту развивался астрофиллит, образовывался МГЛ III.

### **Библиография**

1. Боруцкий Б.Е. Породообразующие минералы высокощелочных комплексов. Москва. Наука, 1988. 216 с.
2. Буссен И.В., Сахаров А.С. Петрология Ловозерского щелочного массива. Ленинград. Наука. 1972. 296 с.
3. Пеков И. В., Турчкова А. Г., Ловская Е. В., Чуканов Н. В. Цеолиты щелочных массивов. Москва. Эког. 2004. 168 с.
4. Arzamastsev A.A., Belyatskiy B.V., Arzamastseva L.V. Agpaitic magmatism in the northeastern Baltic Shield: a study of the Niva intrusion, Kola Peninsula, Russia. *Lithos*. 2000. 51. P. 27–46.
5. Filina M.I., Aksenov S.M., Sorokhtina N.V., Chukanov N.V., Kononkova N.N., Belakovskiy D.I., Britvin S.N., Kogarko L.N., Chervonnyi A.D., Rastsvetaeva R.K. The new mineral fluorbarytolamprophyllite  $(Ba,Sr,K)_2[(Na,Fe^{2+})_3TiF_2][Ti_2(Si_2O_7)_2O_2]$  and chemical evolution of lamprophyllite-group minerals in agpaitic syenites of the Kola Peninsula. *Mineralogy and Petrology*. 2019. 113. P. 533–553.
6. Filina M.I., Kogarko L.N., Nielsen T.F. D. Mineralogical, geochemical, and isotopic data of a new special agpaitic dyke, enriched in high field strength elements (Eastern Part of Baltic Shield, Russia). *Lithos*. 2022. V. 428–429.

*Содержание висмута и свинца в цветных турмалинах Малханского месторождения.  
Шелементьева А.Ю.\* (МГРИ, [Shelementyeva.anna@gmail.com](mailto:Shelementyeva.anna@gmail.com)),  
Должанская Т.Ю. (МГРИ, [dolzhanskaiati@mgri.ru](mailto:dolzhanskaiati@mgri.ru))*

**Аннотация**

В данной работе приведены данные автора, полученные в ходе минералого-петрографического изучения жил «Иркутянка» и «Геологическая» (2022 г.) Малханского пегматитового поля, а также результаты лабораторных исследований образцов ювелирного турмалина, собранного на этих жилах (на аналитической базе МГУ и МГРИ в 2023-2024 гг.).

**Ключевые слова**

Малханское месторождение, турмалин, миарола, жила.

**Теория**

Знаменитое Малханское пегматитовое поле расположено юго-западной части Малхано-Яблоновой структуры каледонской складчатости в Юго-Восточном Забайкалье, в междуречье р. Мозгон и Скакунья, и занимает площадь около 60 кв. км. На этой территории выявлено более 300 пегматитовых жил, многие из которых содержат «цветной» турмалин. Малхан не зря называют «минералогическим Эльдorado», здесь, кроме турмалина различной цветовой гаммы, развит гранат-спессартин, розовый воробьевит, дымчатый кварц, берилл, данбурит и даже весьма экзотический гамбергит [1].

Мощность жил на Малханском месторождении от 4 - 5 до 20 м, пегматиты большей частью средне- и крупнокристаллические. Минералогический состав: кварц, полевой шпат, шерл, мусковит, гранат и биотит. Кварц составляет от 20 до 50%, присутствует в виде скопления серого цвета, в отдельных телах представлен морионом. Турмалин представлен игольчатыми кристаллами шерла размером 2- 5 мм, а иногда 2- 3 см по длинной оси и 1- 2 см в поперечнике. Малханское месторождение относится к типу миароловых микроклин-плагиоклазовых (биполевошпатовых) пегматитов, с интенсивно развитым кварц-клевеландитовым комплексом.

В классической для Малхана ассоциации цветные турмалины расположены в миаролах, окружённых агрегатами дымчатого кварца, белоснежного альбита (клевеландита) и сиреневого лепидолита. Полости возникают как в центральной части жил, так и вблизи их контактов. Форма полостей варьирует от шаровидной до трубчатой и щелевидной, с защемлениями, «карманами» и разветвлениями. Объем полостей достигает от нескольких кубических метров до десятков кубических метров [1, 2]. Одними из самых перспективных жил, разрабатываемых на данный момент являются жилы: «Геологическая» и «Иркутянка» Верхнемогзонского участка месторождения.

**Жила «Геологическая»** вскрыта в 2018-2020 гг. и является одним из наиболее перспективных продуктивных пегматитовых тел Верхнемогзонского участка месторождения. Жила имеет резкие четкие секущие контакты с вмещающими породами Малханского комплекса; общая длина тела по простиранию составляет около 340 м, максимальная мощность равна 21,5 м.

Миаролы с камнесамоцветной минерализацией были вскрыты скважинами на глубине 20-50 м, из керна которых были отобраны образцы «цветных» турмалинов, относящихся к группе эльбаитов. Цвет турмалина разнообразный: темно-розовый, розовый, бирюзово-розовый, черно-желтый, малиновый, темно-малиновый, желто-розовый (рис.1). Основная масса турмалина - трещиноватые кристаллы, однако, достаточно большое количество камней хорошего и редкого ограночного качества.



Рисунок 1. Турмалины жилы «Геологическая» ограночного качества (сборы автора 2022г)

**Жила «Иркутянка»** известна с 2018 г. Представляет собой клинообразное тело до 390 м по простиранию и от 5 до 12 м в поперечнике. Продуктивная часть с миаролами ювелирного турмалина представлена альбитовым и кварц-альбитовым пегматитом. Размеры миарол с турмалином колеблются в широких пределах обладают разнообразной формой. Распределение миарол и турмалина в продуктивной зоне крайне неравномерное. Кристаллы турмалина варьируют от нескольких мм до 5 см по призме. Кроме традиционных для Малхана «цветных» разновидностей эльбаита в ней нами обнаружены однотонные полупрозрачные кристаллы нежно-зелёной («мятной») окраски (рис.2).



Рисунок 2. «Мятные» турмалины жилы «Иркутянка» (сборы автора 2022г)

Согласно немногочисленным опубликованным данным содержания  $\text{Vi}$  в турмалинах гранитов, аплитов, пегматитов не превышают 0,004—0,007% [3]. Висмут и минералы висмута является типичными для редкометальных и миароловых пегматитов Борщовочного кряжа, Восточного Памира, Северной Карелии (проявление Плотное Ламбино) [4]. В Малханском поле богатые  $\text{Vi}$  и  $\text{Pb}$  турмалины отмечены исключительно в одном из них — жила Западная-1.  $\text{Vi}$  обнаружен в розовой и бледно-зеленой зоне, а  $\text{Pb}$  — в красной зоне полихромных кристаллов, имеющих монообласти ювелирного качества.  $\text{Vi}$  и  $\text{Pb}$  фиксируются по всей площади изученных зерен турмалинов. Вариации концентраций  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  в пределах зерен одного образца невелики, тогда как различия между турмалинами разной окраски значимы. Максимальное содержание  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  составляет 0,55 мас.% [4].

В целом, халькофильные элементы для кислых ассоциаций, в том числе, для турмалинов гранитных пегматитов, не характерны. Однако, отдельные случаи, безусловно, имеются. Тем интереснее полученные нами новые данные о высоковисмутовых и свинцовосодержащих турмалинах жил «Иркутянка» и «Геологическая» Малханского месторождения.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа (РФА, 2024 г.) содержания висмута в желтых, розовых, малиновых и вишневых участках зональных и полихромных турмалинов, а также в монохромных небольших кристаллах, достигают в среднем 4000-4600 ppm, а в бледно-зелёных («мятных») – до 9500 ppm (рис.3). Интересно, что «мятные» турмалины менее кремнистые, содержат меньше Al и Ca, в них значительно больше серы (до 1500 ppm) по сравнению с «цветными» аналогами. Данные РФА подтверждаются и электронно-зондовыми анализами тех же образцов (МГУ, 2024 г.).

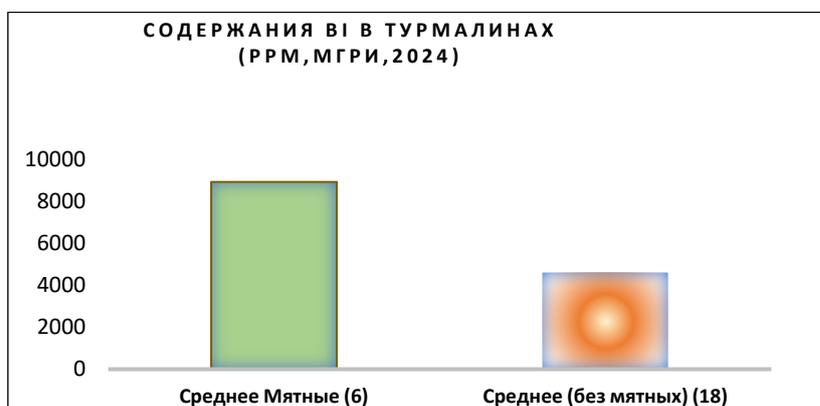


Рисунок 3. Содержания Вi в турмалинах жил «Иркутянка» и «Геологическая» (Малханское месторождение) (ppm, МГРИ, 2024)

Содержания свинца в высоковисмутовых «мятных» турмалинах жилы «Иркутянка» в среднем ниже, чем в желтых, розовых и малиновых разностях эльбаитов, и, конечно, меньше, чем в шерл-дравитах. Наблюдается корреляция содержаний висмута и свинца как в «цветных», так и в «мятных» турмалинах (рис.4). Этот процесс наблюдается и в связан с замещением свинца висмутом, что неоднократно акцессорных висмутсодержащих минералах редкометальных пегматитов [3].

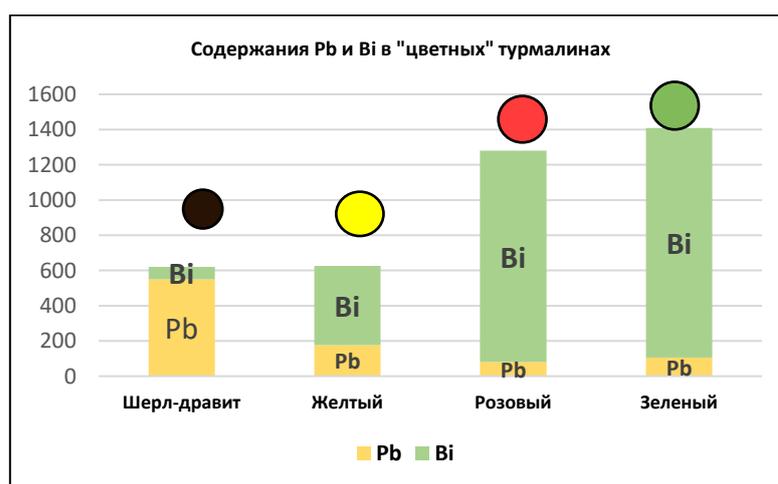


Рисунок 4. Соотношение количества Pb и Вi в турмалинах жил «Иркутянка» и «Геологическая» (Малханское месторождение) (ppm, МГРИ, 2024)

### Выводы

Данные наших исследований показали повышенное содержание в турмалинах свинца и висмута. Можно предположить, что в калишпатах жил «Иркутянка» и «Геологическая»

рассеивается достаточное количество висмута и свинца, они также входят в состав акцессорных тантало-ниобатов. Остаточное количество  $\text{V}^{5+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , обогащая расплав-флюид, попадает в более поздние полихромные и зональные турмалины, где  $\text{Na}^{+}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  изоморфно замещаются на  $\text{Rb}^{2+}$ , и позже на  $\text{V}^{3+}$  при обязательной компенсации зарядов.

### **Библиография**

1. Загорский В. Е. Малханское месторождение турмалина: типы и природа миарол // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431, № 1. С. 181-184.
2. Загорский В. Е., Перетяжко И.С. Пегматиты с самоцветами Центр. Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1992. 224 с.
3. Коваленко В. И. и др. Поведение редких элементов в процессе кристаллизации литий-фтористых кварцевых пегматитов. Геохимия. 1993.
4. Перетяжко И. С., Загорский В.Е. Уникальная висмутовая минерализация миароловых пегматитов Малханского поля // Минералогия и генезис пегматитов. Мат-лы IV Всес. совещания (часть I). Миасс. 1991. С.48-50.
5. Пшеничный, М. И. Полихромность минералов группы турмалина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. С. 269-274.

*Акцессорная золото-серебряная минерализация массива Рай-Из (Полярный Урал)  
Юричев А.Н.\* (Томский государственный университет, juratur@yandex.ru)*

**Аннотация**

В хромититах ультрамафитового массива Рай-Из, входящего в состав Хадатинского офиолитового пояса Полярного Урала обнаружены и охарактеризованы микроскопические включения медистого золота (трехкомпонентный Cu–Au–Ag природный сплав) и самородного серебра. В работе показаны особенности химического состава выявленных минералов и предложен механизм их образования. Отражена естественная обстановка (*in situ*) нахождения установленной акцессорной минерализации в породообразующей матрице.

**Ключевые слова**

Полярный Урал, Рай-Из, хромититы, медистое золото, серебро.

**Теория**

На Урале сконцентрировано большое число проявлений золото-серебряной минерализации, в основном мелких по своим масштабам и локализованных, преимущественно, в измененных ультраосновных породах. Их распространенность характеризуется неравномерностью – большинство связано с массивами рифейских и раннепалеозойских альпинотипных ультрамафитов и лишь в небольшой степени они находятся в зональных и стратиформных мафит-ультрамафитовых комплексах. Проявления данной минерализации в массивах альпинотипных ультрамафитов наиболее широко представлены на Южном Урале и, наоборот, на Среднем и Северном Урале – они известны в единичных случаях. Однако, в последних распространены промышленные золотоносные россыпи водотоков, дренирующих ультраосновные породы [3].

Находки золото-серебряной минерализации в хромититах из реститовых ультрамафитов – достаточно редкое и крайне слабо изученное явление, которое в отдельных случаях позволяет с достаточной степенью надежности говорить об особенностях их генезиса.

В процессе изучения вещественно состава акцессорной рудной минерализации в хромититах ультрамафитового массива Рай-Из (Полярный Урал) [1, 7] методом рентгеноспектрального микроанализа на электронном сканирующем микроскопе «Tescan Mira 3 LMU» автором был выявлен трехкомпонентный (Au–Cu–Ag) твердый раствор, отвечающий по химическому составу медистому золоту и самородное серебро. Изученные минералы обычно отмечаются в виде единичных обособленных микровключений размером до 10 мкм. При этом включения медистого золота в основном обнаруживаются в силикатных интерстициях зерен хромшпинелидов, нередко в непосредственном контакте с ними, а самородное серебро преимущественно приурочено к мелким трещинкам, кавернам в зернах хромшпинелидов (рис. 1).

Обнаруженный природный сплав Au–Cu–Ag имеет неправильную, комковатую форму, с вмято-пластичной, чешуйчатой скульптурой отдельных индивидов (рис. 1, *а–б*). Размер обособленных зерен обычно изменяется в интервале 1,5–4,0 мкм. В их химическом составе преобладает золото (56,4–60,8 мас. %) и медь (29,3–37,4 мас. %), постоянно отмечается примесь серебра (4,5–12,4 мас. %) и не повсеместно – железа (до 0,6 мас. %) (табл. 1). В отношении других элементов выявленное медистое золото является «стерильным».

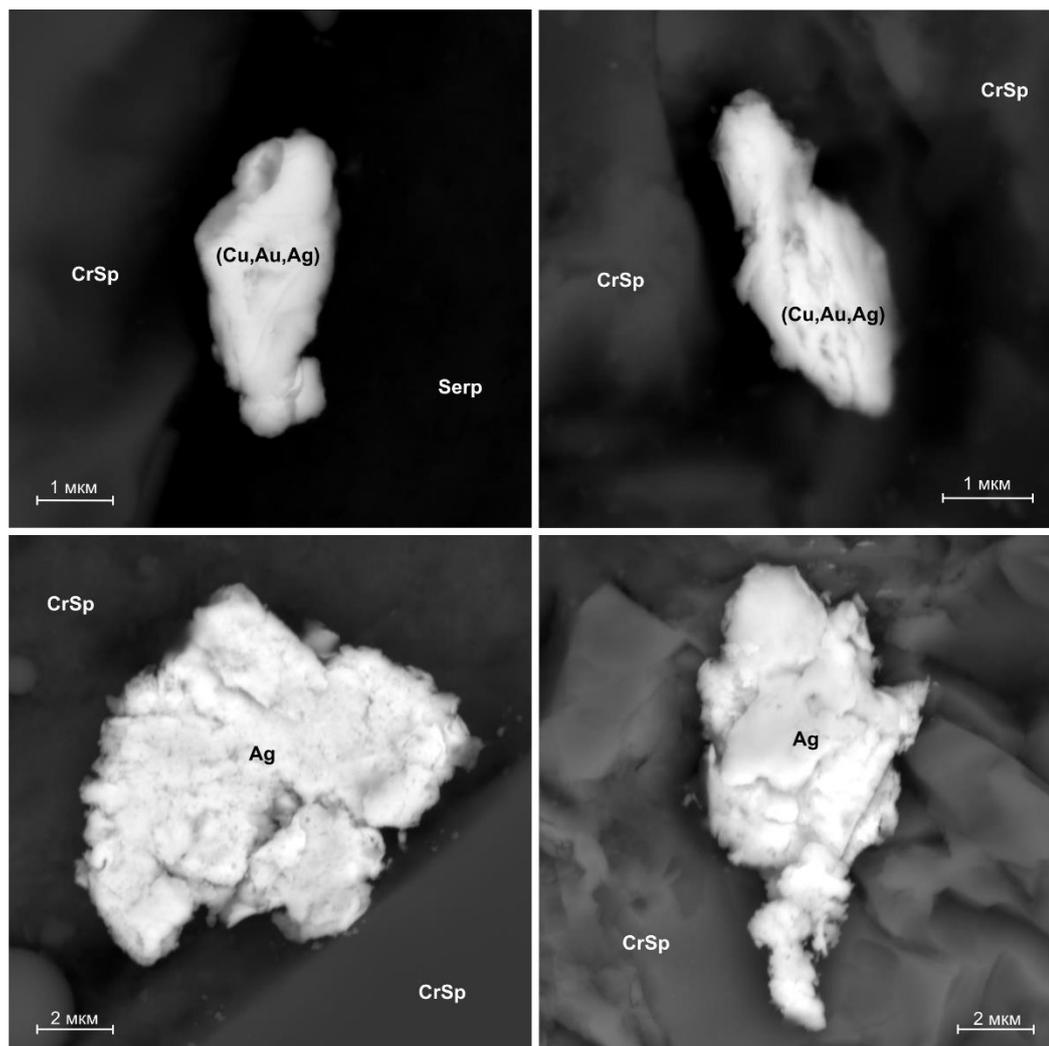


Рисунок 1. Акцессорное медистое золото и самородное серебро в хромититах массива Рай-Из (микрофотографии в режиме BSE). CrSp – хромшпинелид; Serp – серпентин

Таблица 1

Химический состав золота и серебра из массива Рай-Из, мас. %

Образец	Au	Cu	Ag	Fe	Сумма	Формула
Медистое золото						
P-1-10	57,99	33,36	8,51	–	99,86	$Cu_{0,58}Au_{0,33}Ag_{0,09}$
P-1-12	57,44	34,40	7,62	–	99,46	$Cu_{0,60}Au_{0,32}Ag_{0,08}$
P-4-42	57,02	30,31	12,34	–	99,67	$Cu_{0,54}Au_{0,33}Ag_{0,13}$
P-4-44	58,39	29,27	12,39	–	100,05	$Cu_{0,53}Au_{0,34}Ag_{0,13}$
Y-4/3-38	58,26	32,18	8,88	–	99,32	$Cu_{0,57}Au_{0,34}Ag_{0,09}$
Y-4/3-39	58,83	31,24	8,23	0,55	98,85	$Cu_{0,56}Au_{0,34}Ag_{0,09}Fe_{0,01}$
Y-4/3-40	58,30	31,66	8,33	0,56	98,85	$Cu_{0,56}Au_{0,34}Ag_{0,09}Fe_{0,01}$
Y-4/3-116	59,40	35,54	4,49	–	99,43	$Cu_{0,62}Au_{0,33}Ag_{0,05}$
Y-4/3-118	58,19	37,44	4,51	–	100,14	$Cu_{0,64}Au_{0,32}Ag_{0,04}$
Y-4/3-122	56,65	36,87	6,52	–	100,03	$Cu_{0,63}Au_{0,31}Ag_{0,06}$
Y-4/3-124	56,66	36,19	6,61	–	99,45	$Cu_{0,62}Au_{0,31}Ag_{0,07}$

Y-325/1-245	60,75	31,98	7,34	0,06	100,12	Cu <sub>0,57</sub> Au <sub>0,35</sub> Ag <sub>0,08</sub>
Y-325/1-247	60,44	32,30	7,33	–	100,07	Cu <sub>0,57</sub> Au <sub>0,35</sub> Ag <sub>0,08</sub>
Самородное серебро						
P-4-144	–	–	98,80	0,63	99,43	Ag <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub>
P-4-145	–	–	99,09	0,94	100,03	Ag <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub>
P-4-146	–	–	98,37	0,83	99,2	Ag <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub>
P-4-147	–	–	99,00	0,51	99,51	Ag <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub>
Y-399/2-90	–	–	98,53	0,79	99,32	Ag <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub>
Y-399/2-91	–	–	99,57	0,60	100,17	Ag <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub>
Y-399/2-92	–	–	98,12	0,82	98,94	Ag <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub>
Y-399/2-93	–	–	98,95	0,86	99,81	Ag <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,02</sub>

*Примечание. Исследование химического состава выполнено на электронном микроскопе Tescan Mira 3 LMU с энергодисперсионным детектор UltimMax100 (Oxford Instruments) в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем», ТГУ (г. Томск). Измерения проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока пучка электронов 4,5 нА и времени накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID» (2000000 импульсов). Диаметр пучка зонда 1–2 мкм. В качестве стандартов для Au, Ag, Cu и Fe были применены чистые металлы. Использованы аналитические линии: La для Au и Ag; Ka для Cu и Fe.*

Самородное серебро, достаточно большая редкость для ультраосновных пород. К настоящему времени известно всего несколько сообщений о таких находках в реститовых ультрамафитах Урала [2, 6, 9, 10]. Отмеченный минерал диагностирован только внутри зерен хромшпинелидов в виде обособленных сгустковидных включений, нередко пластинчатой формы, размером ~8–10 мкм (рис. 1, в–г). Согласно проведенным анализам, в химическом составе выявленного самородного серебра постоянно обнаруживается примесь железа (до 0,9 мас. %, табл. 1).

### **Выводы**

Мобилизацию и концентрирование самородного серебра автор склонен связывать с процессами серпентинизации и преобразования первичных силикатов, а также находящихся с ними в парагенезисе акцессорных сульфидов при восстановительных условиях [6, 9].

Однако ответ о генезисе выявленного медистого золота не столь однозначен и требует более глубокого изучения. Находки зерен самородного золота в хромититах офиолитовых ультрамафитовых комплексов мира также относительно редки. При этом такое золото по химическому составу было отнесено к беспримесному, Au–Ag и Au–Cu–Ag твердым растворам или Au–Cu интерметаллидам [5, 8, 11, 12, 13, 14, 15]. В большинстве описанных находок самородное золото ассоциирует с сульфидами меди и никеля и связывается с наложенными на хромититы процессами серпентинизации и хлоритизации. Тем не менее, в отдельных случаях, отмечалась синхронность самородного золота и хромшпинелида. Выявлено, что принадлежность самородного золота к различным парагенетическим ассоциациям согласуется с различным его составом: трехкомпонентным (Au–Cu–Ag) в первичной ассоциации и беспримесным – во вторичной ассоциации [4].

По мнению автора, не исключено, что выявленные акцессорные микровключения медистого золота могут относиться к первично мантийному типу, в генезисе которого коровые процессы, связанные с заимствованием металлов из вмещающих пород, не играли какой-либо значимой роли. А, таким образом, первичные геохимические характеристики трехкомпонентного твердого раствора (количественные содержания элементов-примесей в составе описанных золотин) могут нести ценную информацию о специфике генезиса родоначального рестита, а

также позволяют использовать их в качестве маркерных минералов для сравнительного анализа с аналогичными объектами на этой территории и в пределах других провинций.

### **Библиография**

1. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
2. Макеев А.Б. Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб.: Наука, 1992. 197 с.
3. Мурзин М.В. Золотое оруденение в ультрамафитах Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург, 2009. С. 61–64.
4. Мурзин В.В., Малич К.Н., Баданина И.Ю., Варламов Д.А., Чащухин И.С. Минеральные ассоциации хромититов Алапаевского дунит-гарцбургитового массива (Средний Урал) // Литосфера. 2023. Т. 23. № 5. С. 740–765.
5. Орсов Д.А., Толстых Н.Д., Кислов Е.В. Минерал состава PtCu<sub>3</sub> из хромититов Оспинско-Китойского гипербазитового массива (Вост. Саян) // Записки ВМО. 2001. Т. 130. № 4. С. 61–71.
6. Смирнова Т.А. Теллурическое железо в ультраосновных породах Кемпирсайского плутона // Записки ВМО. 1970. Ч. 99. Вып. 6. С. 745–748.
7. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / Отв. ред. В.Н. Пучков, Д.С. Штейнберг. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 226 с.
8. Шайбеков Р.И., Кузнецов С.К., Гайкович М.М., Шевчук С.С. Сульфидная и благороднометалльная минерализация в хромовых рудах Лагортинско-Кершорской площади Войкаро-Сыньинского массива (Полярный Урал) // Литосфера. 2015. № 1. С. 75–85.
9. Юричев А.Н. Акцессорные самородные металлы и их оксиды из массивных хромититов Кемпирсайского ультрамафитового массива (Южный Урал, Казахстан) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 7. С. 84–92.
10. Юричев А.Н. Акцессорные минералы золота и серебра в ультрамафитах Кызыр-Бурлюкского массива (Западный Саян) // Руды и металлы. 2021а. № 4. С. 109–120.
11. Юричев А.Н. Акцессорная золото-серебряная минерализация из хромититов Харчерузского ультрамафитового массива (Полярный Урал) // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2021б. Т. 332. № 3. С. 229–236.
12. Evans D.M., Barrett F.M., Prichard H.M., Fisher P.C. Platinum-palladium-gold mineralization in the Nkenja mafic-ultramafic body, Ubendian metamorphic belt, Tanzania // Miner. Deposita. 2012. Vol. 47. P. 175–196.
13. Kojonen K., Zaccarini F., Garuti G. First finding of native gold in the chromitites of the Ray-Iz ophiolitic complex, Polar Urals // Geophys. Res. 2003. Vol. 5. P. 8352.
14. Malitch K.N., Melcher F., Muhlhans H. Palladium and gold mineralization in podiform chromitite at Kraubath, Austria // Mineral. Petrol. 2001. Vol. 73. P. 247–277.
15. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P.T., Dilek Y., Makeyev A.B., Wirth R., Wiedenbeck M., Griffin W.L., Cliff J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals // Gondw. Res. 2015. Vol. 27. №2. P. 450–485.

*История развития эклогит-глаукофансланцевого комплекса, записанная в составе  
зонального граната*

*Федькин В.В.\* (Институт экспериментальной минералогии им. ак. Д.С.Коржинского РАН,  
vfedkin@iem.ac.ru)*

**Аннотация**

Уникальные свойства граната менять свой состав и сохранять эти изменения под влиянием РТ параметров метаморфизма изучены в коровых эклогитах Максютковского комплекса (Южный Урал). Сложная, разнонаправленная, подчас, инверсионная зональность минерала, состав его новообразованных зерен, наростов и включений в равновесии с другими силикатами высокобарных пород позволили выявить малейшие изменения параметров минералообразования на каждом этапе развития комплекса.

Четыре независимые ступени метаморфической эволюции комплекса образуют единый РТ тренд финального периода становления террейна. Детально изучен прерывистый, пульсационный, проградно-ретроградный характер метаморфизма при эксгумации комплекса, что, в итоге, позволяет восстановить всю историю его формирования.

**Ключевые слова**

Эклогит, НР/УНР метаморфизм, Максютковский комплекс, зональность минералов, геотермобарометрия.

**Источники финансирования**

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-05-64561) и Программы Фулбрайт Института Международного образования (гранты 2011, 2015 г.).

**Теория**

Гранат является одним из наиболее информативных и в то же время консервативных минералов метаморфических горных пород, используемых в равновесии с другими силикатами для оценки физико-химических условий метаморфизма. В силу своей способности менять свой состав под влиянием физико-химических условий образования и сохранять эти изменения в течение длительного времени, гранат широко используется в качестве чувствительного минералогического сенсора для оценки термодинамических параметров самых разнообразных природных систем и процессов. Особенно велика его роль при изучении коровых эклогитов, где он в ассоциации с пироксеном является, по сути дела, единственным надежным инструментом для оценки параметров метаморфизма в процессе формирования комплекса.

Задача решается методами фазового соответствия и минералогической термобарометрии на примере Максютковского эклогит-глаукофансланцевого комплекса на Южном Урале. Метаморфизм комплекса изучался многими исследователями [1, 3, 4, 6]. Наши последние работы [2, 5] показали, что главной его особенностью является возвратно-пульсационный характер, когда явления проградного и ретроградного этапов неоднократно повторяются, а РТ тренды, построенные по составам Grt-Cpx парагенезиса, образуют сопряженные пары, характеризующие режимы отдельных этапов (циклов) развития комплекса.

На начальном этапе развития комплекса в эклогитовых телах, будинах и блоках, сохранившихся в результате тектонического меланжа, крупные зональные зерна граната сохраняют в своем составе следы проградного метаморфизма в интервале 570-750 °С (Рис.1). Реликты Pl и Cpx в центре Grt позволяют оценить равновесное давление начала кристаллизации при 1,4-1,7 GPa.

Последующие эксгумационные процессы приводят к образованию в гранате сложной разнонаправленной, подчас, инверсионной зональности (Рис. 2). В центральной части зерна

состав граната фиксирует параметры регрессивной стадии 2го цикла метаморфизма:  $695^{\circ}\text{C}/1.6\text{GPa} \rightarrow 615^{\circ}\text{C}/1.4\text{GPa}$ , в ходе которого порода была захвачена процессом тектонического меланжа и вынесена на поверхность. В нарощей новообразованной кайме состав граната показывает прогрессивный тренд, следующего этапа:  $630^{\circ}\text{C}/1.44\text{GPa} \rightarrow 660^{\circ}\text{C}/1.46\text{GPa}$ , демонстрируя пульсационный характер РТ изменений.

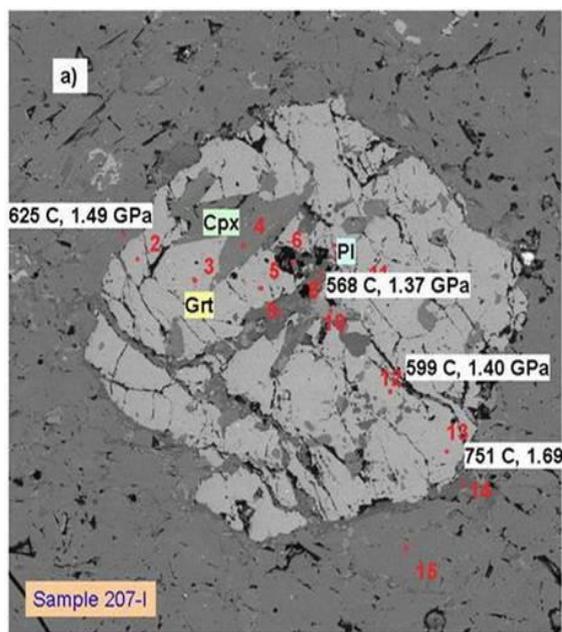


Рисунок 1

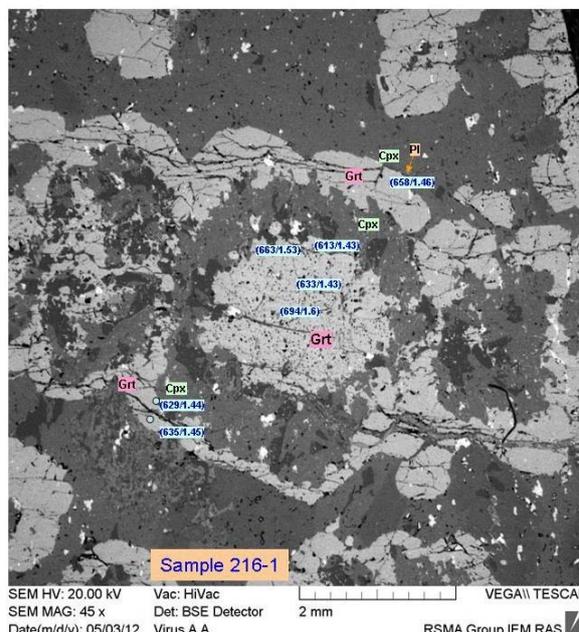


Рисунок 2

Рисунок 1. Проградная кристаллизация граната с реликтовым включением Pl в эклогите Максютковского комплекса на стадии тектонического меланжа

Рисунок 2. Контрастная инверсионная зональность граната в эклогитах Максютковского комплекса на 2м этапе его развития: регрессивная ( $695^{\circ}\text{C}/1.6\text{GPa} \rightarrow 615^{\circ}\text{C}/1.4\text{GPa}$ ) в центре зерна и слабо прогрессивная ( $630^{\circ}\text{C}/1.44\text{GPa} \rightarrow 660^{\circ}\text{C}/1.46\text{GPa}$ ) - в краевой части

Явления проградного и ретроградного метаморфизма в Максютковском комплексе неоднократно повторяются, а их РТ тренды, построенные по составам Grt-Cpx парагенезиса, образуют сопряженные пары, характеризующие режимы отдельных этапов (циклов) развития террейна. По крайней мере, четыре таких цикла зафиксированы по данным микрозондовых исследований сосуществующих Grt и Cpx (Таблица 1). Их число и РТ параметры практически не меняются и повторяются на каждом участке комплекса.

На заключительных стадиях процесса в эклогитовых ассоциациях появляются идиоморфные зерна новообразованного граната (Рис. 3), состав которого показывает минимальные параметры Grt-Cpx-Ab-Qz равновесия:  $T=440-450$  оС при  $P=1.2-1.3$  GPa. Прогрессивная зональность граната фиксирует проградный тренд его образования в интервале  $440-620$  °С, что хорошо согласуется с параметрами финального этапа других участков комплекса и показывает идентичность условий метаморфизма региона в целом.

Обобщенные РТ тренды проградно-ретрогранных этапов (циклов) развития Максютковского эклогит-глаукофансланцевого комплекса [2]

№	Проградные тренды	Ретроградные тренды	Возраст, Ма*
1.	T=800→900 °C, P=3,5 GPa	T=910→730 °C, P=3,5 GPa	533±4,6 [1] 485-392 [1]
2.	T=500→790 °C, P=2,5→3,0 GPa	T=740→610 °C, P=2,5→1,4 GPa	399-378 [3, 6]
3.	T=460→680 °C, P=1,1→1,5 GPa	T=690→430 °C, P=1,3→1,0 GPa	360±3 [1, 6] 335 [6]
4.	T=310→515 °C, P=0,9→1,2 GPa	T=545→310 °C, P=1,0→0,6 GPa	335-315 [6]

\*Возрастные определения приведены по литературным данным [1, 3, 6]

В совокупности с другими этапами развития комплекса все четыре цикла образуют единый ретроградный тренд метаморфической эволюции террейна (Рис. 4). Их объединяют некие характерные черты: близкие РТ параметры проградно-ретроградных ветвей цикла; короткие временные интервалы (~ 20 Ма) между ними; периодическую смену направления тренда внутри цикла; повторяемость РТ параметров на разных участках комплекса.

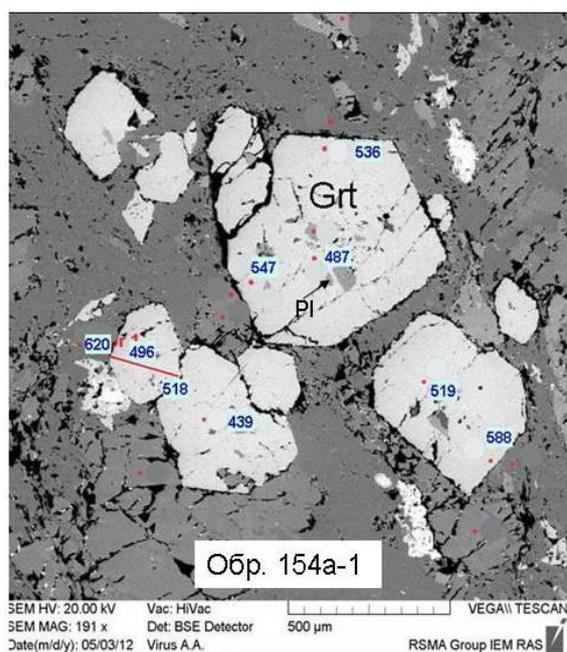


Рисунок 3

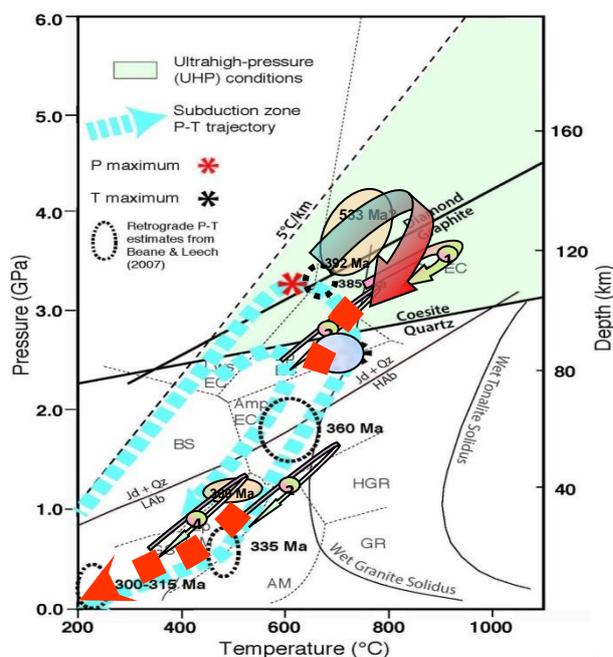


Рисунок 4

Рисунок 3. Новообразованный зональный гранат повторной третьей проградной стадии метаморфизма (участок. д. Шубино)

Рисунок 4. Физико-химические условия формирования Максютковского комплекса

Гранат, при этом, проявляет свои уникальные свойства записывать в своем составе РТ параметры начальных этапов метаморфизма, и одновременно фиксировать и сохранять изменения этих параметров в последующих метаморфических процессах, что позволяет восстановить всю историю формирования комплекса.

### **Выводы**

Детальные микрозондовые исследования состава и зональности граната и сосуществующих с ним минералов показали возможность его использования в качестве чувствительного сенсора эволюции параметров метаморфизма. Гранат сохраняет свой состав с параметрами предыдущих событий в одном образце или зерне, даже при смене направления эволюции метаморфизма. Сочетание высокой инертности граната к изменению своего состава и высокая активность к кристаллизации новых зерен и наростов в меняющихся условиях метаморфизма позволяют восстановить весь ход метаморфической эволюции комплекса.

Определены параметры и особенности метаморфизма Максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса, его пульсационный характер, когда явления проградного и ретроградного этапов неоднократно повторяются, а РТ тренды, построенные по составам Grt-Cpx парагенезиса, образуют сопряженные пары, характеризующие режимы отдельных этапов (циклов) развития комплекса. Четыре таких цикла, зафиксированные по данным микрозондовых исследований Grt-Cpx ассоциации, образуют единый ретроградный тренд метаморфической эволюции комплекса и имеют общие черты: близкие РТ параметры проградно-ретроградных ветвей цикла; короткие временные интервалы (~20 Ма) между ними; периодическую смену направления тренда внутри цикла; идентичность РТ параметров на разных участках комплекса.

Четырехэтапное развитие Максютовского комплекса позволяет проследить процесс перехода высокобарных пород из состояния автономных изолированных будин, тел и включений в состав вмещающего комплекса на стадии его когерентного (совместного) развития.

### **Библиография**

1. Вализер П.М., Краснобаев А.А., Русин А.И. Жадеит-гроссуляровый эклогит максютовского комплекса, Южный Урал // Литосфера, 2013, т. 4, с. 50-61.
2. Федькин В.В. Четыре эпизода термальной эволюции эклогитов Максютовского комплекса (Южный Урал) // Геология и Геофизика, (специальный выпуск) 2020. Т. 61. С. 666-684. DOI:10.15372/GiG2019182
3. Beane, R.J., Leech, M.L. The Maksyutov Complex: The first UHP terrane 40 years later // Geol. Soc. Am. Spec. Paper. 2007. V. 419. P. 153–169.
4. Dobretsov, N.L., Shatsky, V.S., Coleman, R.G., et al., Tectonic setting of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Maksyutov Complex, Ural Mountains, Russia. // Inter. Geol. Review. 1996. V. 38. P. 136-160.
5. Fedkin, V.V., Burlick, T.D., Leech, M.L., Shchipansky, A.A., Valizer, P.M., and Ernst, W.G. Petrotectonic origin of mafic eclogites from the Maksyutov subduction complex, south Ural Mountains, Russia // Geological Society of American Special Paper. 2021. V. 552, P. 177–195, [https://doi.org/10.1130/2021.2552\(09\)](https://doi.org/10.1130/2021.2552(09)).
6. Leech M.L., Ernst W.G. Petrotectonic evolution of the high- to ultrahigh-pressure Maksyutov Complex, Karayanova area, south Ural Mountains: structural and oxygen isotope constraints // Lithos. 2000. V. 52. P. 235-252

*Внутреннее строение природных алмазов: индивидуумы и расы.  
Хмельницкий Р.А.\* (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,  
khmelnitskyra@lebedev.ru),  
Ковальчук О.Е. (ЯкутНИИПроалмаз АЛРОСА)*

**Аннотация**

Все природные алмазы образовались на большой глубине в мантии, при высоких температурах и давлениях. Растущие даже рядом кристаллы по-разному обеспечены необходимым для роста веществом, рост многократно сменяется процессами растворения, что в условиях тектонического перемешивания мантийных пород, многоэтапностью процесса образования алмазов, спецификой транспортировки на земную поверхность гарантирует отсутствие в природе двух абсолютно одинаковых кристаллов.

Главным отличительным свойством внутреннего строения алмазов является состав и концентрация азотных и азотно-вакансионных дефектов. Это различие лежит в основе общепринятой классификации алмазов по типам: IaA, IaB, Ib, IIa, IIb. Для определения состава азотных дефектов используется спектроскопия инфракрасного (ИК) поглощения. Каждый из основных дефектов даёт характерный спектр ИК поглощения, что позволяет определить концентрацию каждого из них. Несмотря на индивидуальность каждого отдельного кристалла, оказывается, что алмазы из одного месторождения принадлежат к одной расе, то есть имеют похожие составы основных азотных дефектов. Это позволяет с высокой вероятностью идентифицировать происхождение партий алмазов и изготовленных из них бриллиантов.

**Ключевые слова**

Природные алмазы, примесно-дефектный состав, фотолюминесценция, ИК спектроскопия.

**Теория**

Азот является главной примесью в алмазе. Он образует большое количество примесных дефектов. Многие из них проявляются в оптическом поглощении и/или люминесценции. Очень удобным для индивидуализации кристаллов отличительным свойством внутреннего строения алмазов является состав и концентрация азотных и азотно-вакансионных дефектов.

Миллионы лет нахождения алмазов в горячей среде приводят к медленной диффузии одиночных атомов азота по кристаллу. В результате они объединяются в более энергетически выгодные агрегаты. Первый из них и основной – это А-дефект из двух соседних атомов азота. Он ярко проявляется в ИК поглощении. Чем дальше кристаллы находятся при высокой температуре, тем сильнее развивается агрегация азота. Последняя стадия агрегации азота – образование сложного дефекта V1 (раньше называли просто V) из 4-х атомов азота вокруг одной вакансии углерода (N<sub>4</sub>V). Это второй по распространённости азотный комплекс в природных алмазах. Ещё один тип дефектов в природных алмазах стали называть V', а теперь V2 (иногда P - platelet), чтобы отличить от дефекта V1. Он встречается обычно в кристаллах, содержащих дефект V1. Это сложный пластинчатый агрегат междоузельных атомов, обогащённый азотом. Важно, что он тоже проявляется в ИК поглощении. Пик platelet узкий. Его максимум меняется в диапазоне 1360-1380 см<sup>-1</sup> в зависимости от размеров platelets. И это тоже можно использовать в качестве идентификационного параметра. Ещё один дефект N<sub>3</sub>VH также ярко проявляется в ИК поглощении природных алмазов. Он даёт узкий пик 3107 см<sup>-1</sup> колебаний связи C-H на растяжение и пик 1405 см<sup>-1</sup> – на изгиб. В природных кристаллах чаще всего сосуществуют несколько типов азотных дефектов [1].

Для основных типов азотных дефектов в алмазе выполнены калибровки, позволяющие по ИК поглощению рассчитать концентрации этих дефектов [2]. Можно построить четырёхмерное

пространство, по каждой из осей которого показана концентрация соответствующих азотных дефектов в измеренном алмазе. К нему можно добавить пятое измерение, например, положения максимума пика platelet. Измеримые концентрации дефектов (A, B1 и N<sub>3</sub>VH) находятся в диапазоне от одной до примерно 3000 миллионных долей атомных концентраций. Это пространство, по каждой из осей которого параметр (концентрация дефектов) может меняться в сотни и даже тысячи раз. Каждый измеренный алмаз или бриллиант отображается точкой в таком пространстве [3]. Совершенно ясно, что нет двух кристаллов, характеризующихся одинаковым положением в этом пространстве. Это в высшей степени индивидуальная характеристика кристалла алмаза, его уникальный генетический портрет. Этот подход также позволяет установить, подвергался ли алмаз облагораживанию [4].

Хотя концентрации основных дефектов отдельных алмазов может находиться в широких диапазонах, анализ примесно-дефектного состава большого количества кристаллов показывает общность кристаллов из одного месторождения по соотношению основных дефектов. На рис. 1 показаны двумерные сечения пятимерного пространства дефектов для алмазов разного происхождения на основе статистики измерений представительных выборок партий кристаллов разного происхождения. Цветом показана встречаемость отдельных дефектов.

Анализ статистики распределения дефектов из разных коренных и россыпных месторождений алмазов показал, что гистограммы распределений примесно-дефектных комплексов разных месторождений отличаются. Особенно велики статистические различия месторождений разных районов.

Анализ распределения примесно-дефектных комплексов по объёму природных алмазов (от центра к периферии) позволил даже установить факты многостадийного роста алмазов на разных месторождениях Якутии – иногда до 3 стадий роста.

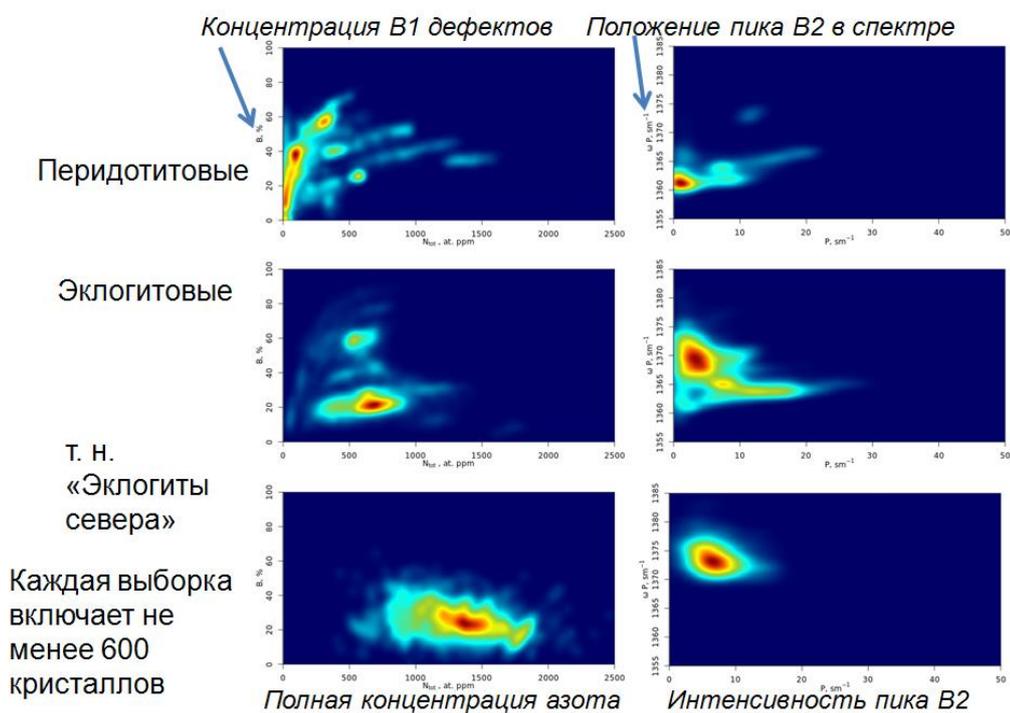


Рисунок 1. Здесь гистограммы встречаемости кристаллов с определёнными концентрациями дефектов. Каждый кристалл даёт точку на карте. Здесь на двух диаграммах цветом показаны (по нарастанию от синего к красному) частоты встречаемости в алмазах: 1) Концентрация B1 дефекта относительно полной концентрации азота; 2) Положение пика platelets в зависимости от его интенсивности

### **Выводы**

Широкие спектры примесно-дефектного состава природных алмазов открывают возможность индивидуализации каждого кристалла. Каждый алмаз обладает уникальным набором примесно-дефектных комплексов – своего рода отпечаток пальца кристалла. Это позволяет реализовать трейсинг алмазов на всём его пути от добычи, через огранку и вплоть до ювелирного изделия, то есть проследить его историю. Описанная картина может выступать в качестве объективной основы паспортизации ювелирных алмазов для обеспечения прозрачности и легальности алмазооборота.

Каждый природный алмаз – индивидуум по своему примесно-дефектному составу. Но анализ статистики больших партий алмазов из разных месторождений показал, что гистограммы распределений примесно-дефектных комплексов разных месторождений отличаются. Это позволяет идентифицировать большие партии алмазов из одного месторождения по их примесно-дефектному составу.

### **Библиография**

1. S. Eaton-Magaña, T. Ardon, C.M. Breeding, J.E. Shigley. Natural-Color D-to-Z Diamonds: A Crystal-Clear Perspective. *Gems & Gemology*, Fall 2020, Vol. 56, No. 3, pp. 318-335.
2. D. Howell, C.J. O'Neill, K.J. Grant, W.L. Griffin, N.J. Pearson, S.Y. O'Reilly.  $\mu$ -FTIR mapping: Distribution of impurities in different types of diamond growth. *Diamond & Related Materials* 29 (2012) 29–36.
3. L. Speich, S.C. Kohn. QUIDDIT - QUantification of infrared active Defects in Diamond and Inferred Temperatures. *Computers & Geosciences* 144 (2020) 104558.
4. I.A. Dobrinets, V.G. Vins, A.M. Zaitsev. (2013) *HPHT-Treated Diamonds: Diamonds Forever*. Springer, Heidelberg.

***Возможности ИК-микроспектрометра Lumos II (Bruker) для выявления распределения  
структурных дефектов в кристаллах природных алмазов  
Новочадов С.Л.\* (ИГЕМ РАН, sergei.novochadov@mail.ru),  
Титков С.В. (ИГЕМ РАН, РГГРУ им. С. Орджоникидзе, titkov@igem.ru),  
Прокофьев В.Ю. (ИГЕМ РАН, sophs@mail.ru)***

**Аннотация**

Целью настоящей работы было изучение возможностей ИК-микроспектрометра Lumos II для выявления распределения структурных дефектов в кристаллах природных алмазов и определение оптимальных параметров съёмки.

В работе приведены параметры ИК-микроспектрометра Lumos II, проведены методические исследования для выбора оптимальных параметров регистрации спектров и построения карт распределения дефектов. При этом использовались разные диаметры пучка, различные спектральные разрешения и количество итераций для получения наиболее качественных результатов. В качестве примера была использована пластина размером 4x5 мм, которая была изготовленная из природного кристалла алмаза с необычным развитием секторов роста. На основании результатов проведённых работ выявлены параметры оптимальной работы с микроспектрофотометром.

**Ключевые слова**

ИК-спектроскопия, алмаз, азотные дефекты, плейтлеты, карты распределения дефектов, параметры съёмки.

**Источники финансирования**

Работа выполнена в соответствии с госзаданием ИГЕМ РАН по теме FMMN-2024-0017.

**Теория**

Кристаллы природных алмазов характеризуются различными механизмами роста и неоднородностью внутреннего строения (Титков, 2004). Для них типично неоднородное распределение структурных дефектов, проявляющихся в ИК-спектрах (Howell et al., 2012, Wiggers de Vries et al., 2013). В данной работе проведено методическое исследование возможностей ИК-микроспектрометра Lumos II (Bruker) для выявления распределения структурных дефектов в кристаллах природных алмазов и определение оптимальных параметров съёмки.

Оптический микроскоп Lumos II со встроенным микроспектрометром позволяет регистрировать спектры в диапазоне от  $7800\text{ см}^{-1}$  до  $600\text{ см}^{-1}$ , разрешением от  $0,2$  до  $9\text{ см}^{-1}$ , диаметром пучка от  $5\text{ мкм}$  до  $500\text{ мкм}$  и неограниченным количеством итераций (повторные регистрации спектров в одной точке, которые позволяют снизить влияние шумов). Столик микроскопа моторизирован, что даёт возможность записывать спектры в сканирующем режиме и получать карты распределения дефектов.

Микроскоп Lumos II позволяет регистрировать спектры с использованием одиночного детектора MST при диаметре луча от  $5$  до  $500\text{ мкм}$  и матрицы FPA, состоящей из  $1024$  одиночных датчиков размером  $5\times 5\text{ мкм}$ .

Исследование было проведено на примере распределения плейтлетов по площади алмазной пластины с размерами  $4\times 5\text{ мм}$  (рис. 1). Плейтлеты представляют собой скопления междоузельных атомов углерода в плоскостях куба алмазной решётки (Olivier et al., 2018). В ИК-спектрах с ними связана линия  $1370\text{ см}^{-1}$ , на положение которой практически не оказываю влияние другие дефекты. Пластина интересна тем, что на первом этапе роста у неё был редуцирован один из октаэдрических секторов. В ходе выполнения работы были получены карты

распределения плейтлетсов по площади алмазной пластины при различных разрешениях при записи спектра ( $1, 2, 4 \text{ см}^{-1}$ ), количествах итераций (4, 5, 8, 20, 40) и размерах пучка (30, 60, 120 мкм). Исследования показали, что изменение разрешения при записи спектра не влияет на время эксперимента. Диаметр пучка и число итераций определяют качество получаемых карт распределения и время экспериментов, которое может достигать нескольких десятков часов.

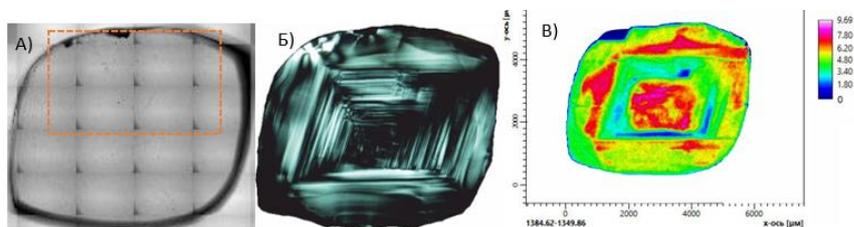


Рисунок 1. алмазная пластина: А) составное фото; Б) фото под микроскопом в скрещенных николях; В) общая карта распределения плейтлетсов (при ширине пучка 70 мкм и 8 итерациях). Оранжевым контуром показана приблизительная область изучения пластины

Рассмотрим вариант съёмки с различным диаметром пучка (120, 60, 30 мкм) при фиксированной итерации (4 повторения). Результаты показаны на рисунке 2. Съёмка при диаметре пучка 120 и 60 мкм по качеству являются удовлетворительным. Дефекты фиксируются, а результаты коррелируют между собой и являются надёжными. При съёмке при 30 мкм хуже регистрируются дефекты и проявляются шумы.

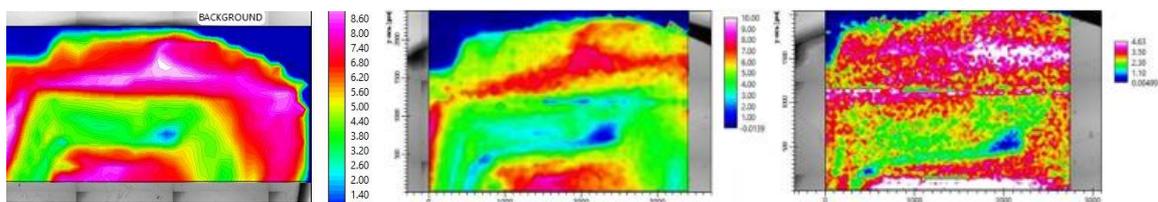


Рисунок 2. Карты распределения плейтлетсов по объёму кристалла, при 120, 60, 30 мкм

Далее мы повысили число итераций до 20, результаты съёмки показаны ниже (рис.3). При 120 мк, результаты практически не изменились, при работе на данном микроскопе для ширины пучка 120 мкм достаточно 3-7 итераций. Для съёмки при 60 мкм карта распределения дефектов получилась чётче за счёт усреднения шумов. При таком расширении для получения качественных результатов достаточно 15-25 итераций в точке. При съёмке в 30 мкм и 20 мкм итерациях карта становится чётче, но всё равно видны воздействия шумов, которые создают неоднородность.

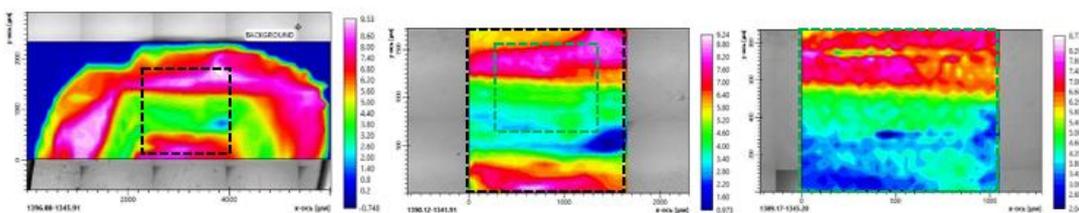


Рисунок 3. Карты распределения при ширине пучка 120, 60, 30 мк, при 20 итерациях. Площади съёмки с увеличением ширины пучка последовательно уменьшаются. Пунктиром показаны границы при переходе к карте с большим увеличением (чёрным-60 мк, зелёным-30 мк)

Для получения качественной карты распределения при 30 мкм, нами была проведена съёмка с 40 итерациями (рис. 4). Данный микроскоп позволяет получить приемлемую карту с пучком 30 мкм, при этом необходимо устанавливать количество итераций 40-60. Такой режим съёмки подходит только для малых объектов (около 1000x600 мкм). При объектах большего размера съёмка займёт больше 11 часов.

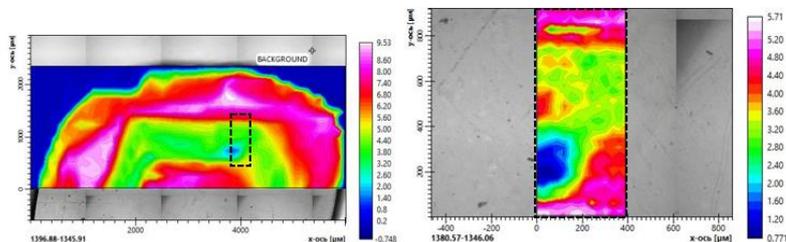


Рисунок 4. Карты распределения при ширине пучка 120 при 20 итерациях и 30 мкм при 40 итерациях. Пунктиром показана граница карты с большим увеличением (чёрным-30 мкм)

Если наглядно представить эффективность одиночного детектора данного ИК-микроспектрометра, получим экспоненциальную зависимость (рис. 5). При фиксированной площади исследования образца, время будет зависеть от ширины пучка и количества итераций. Итерации влияют на время линейно. Поскольку площадь пучка представляет из себя квадрат с двумя сторонами. Изменение диаметра пучка влияет квадратично. Так, например, из 4 точек 120x120 мкм, получится 16 точек 60x60 мкм. При этом, как видно на графике, увеличение ширины пучка приводит к увеличению необходимых итераций. Оценивая эффективность одиночного детектора, можно сказать, что он позволяет проводить быстрые обзорные исследования.

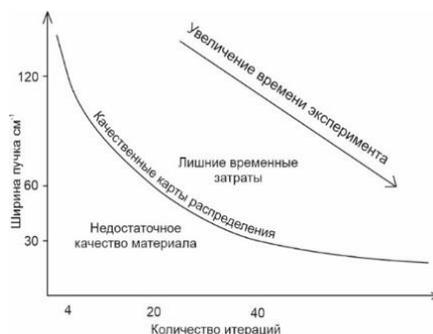


Рисунок 5. Зависимость качественных результатов эксперимента от условий съёмки и, как следствие, времени, при фиксированной площади измерения

При необходимости более детальных и качественных исследований используется матричная съёмка (рис. 6). Она позволяет снимать с разрешением 4x4 мкм в хорошем качестве при меньших итерациях. Из недостатков такого метода съёмки можно выделить сравнительно низкую скорость измерений, существенное увеличение времени эксперимента и большой размер файла с данными. Одинаковые по площади фрагменты, были сняты в двух режимах, одиночный при 30 мкм и 40 итерациях и матричный при 5 итерациях (рис. 4 и 6). Размер файла при одиночной съёмке составил 40 Мб, а размер файла матричной съёмки составил 600 Мб. Четверть покрытия такой пластины матричной съёмкой заняла бы 7 Гб памяти, а эксперимент занял бы 8-9 часов. Всё выше сказанное указывает на то, что матричная съёмка подходит для высокоточных исследований на малых образцах (900x900 мкм).

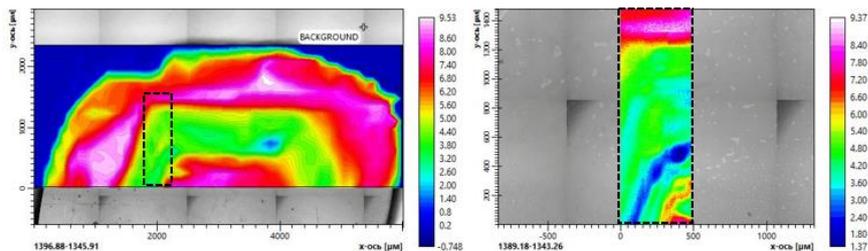


Рисунок 6. Карты распределения при ширине пучка 120 (при 20 итерациях) и матричной съёмке при 4 мкм (при 5 итерациях)

### **Выводы**

Таким образом, можно заключить, что Lumos II позволяет получать карты распределения структурных дефектов по объёму кристаллов с очень высоким разрешением. Для малых площадей целесообразно использовать матричную съёмку, в результате чего получается превосходное качество карт распределения дефектов при малом времени эксперимента. При больших площадях (более 900x900 мкм) целесообразнее использовать одиночный детектор.

Одиночный детектор предпочтительнее настраивать шириной пучка от 50 до 120 мкм. При этом было установлено что для каждого диаметра пучка существует оптимальное количество итераций, что позволяет получать качественные карты распределения дефектов без лишних затрат времени. При малых размерах образца (менее 1000 мкм x 1000 мкм) можно уменьшить размер пучка до 50 мкм и менее с повышением итераций.

### **Библиография**

1. Титков С.В. Ростовые дефекты в природных кристаллах алмаза и их генетическое значение // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. Под ред. Н.П.Лаверова. М.: ИГЕМ РАН, 2004. С. 386-410.
2. Howell D., O'Neill C.J., Grant K.J., Griffin W.L., Pearson N.J., O'Reilly S.Y.  $\mu$ -FTIR mapping: Distribution of impurities in different types of diamond growth // Diamond and Related Materials. 2012. V. 29. P. 29-36.
3. Olivier E. J., Neethling J. H., Kroon R. E., Naidoo S. R., Allen C. S., Sawada H., van Aken P. A., Kirkland A. I. Imaging the atomic structure and local chemistry of platelets in natural type Ia diamond // Nature Materials. 2018. V. 17. P. 243–248.
4. Wiggers de Vries D.F., Bulanova G.P., De Corte K., Pearson D.G., Craven J.A., Davies G.R. Micron-scale coupled carbon isotope and nitrogen abundance variations in diamonds: Evidence for episodic diamond formation beneath the Siberian Craton // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. V. 100. P. 176-199.

*Моделирование образования звездчатых двойников природных алмазов  
Рогова А.Р.\* ((Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе" (МГРИ),  
annasuperroller@mail.ru),*

*Титков С.В. (ИГЕМ РАН, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, titkov@igem.ru),*

*Криулина Г.Ю. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, G9671844057@gmail.com)*

#### **Аннотация**

В работе рассмотрен генезис звездчатых двойников природных алмазов. Выявлено, что образование звездчатых двойников может быть вызвано как закономерным срастанием двух шпинелевых двойников типа «Macles» со смещением на  $60^\circ$  по оси  $L^3$  и «эффектом отраженного входящего угла», так и циклическим срастанием нескольких октаэдрических кристаллов. Представлены 3D модели, иллюстрирующие морфологические особенности рассматриваемых в работе индивидов, разработанные в программе для 3D визуализации - «Blender».

#### **Ключевые слова**

Алмаз, звездчатый двойник, сросток, двойникование, «отраженный входящий угол».

#### **Теория**

Для проведения исследования были отобраны двойники срастания и прорастания природных алмазов из месторождений Сибирской платформы, предоставленные кафедрой Геммологии и минералогии Российского Государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе. Исследования проводились с использованием геммологического оборудования, основным оптическим прибором являлся геммологический микроскоп ЛОМО МСП-2, моделирование проводилось в программе 3D визуализации «Blender».

Для алмаза наиболее характерны срастания по шпинелевому закону, основным элементом симметрии в котором является ось третьего порядка ( $L^3$ ) с поворотом на  $180^\circ$ . Сростки могут состоять из двух или четырех октаэдров. Для таких типов двойников механизмы роста на данный момент хорошо изучены [Орлов, 1984; Солодова и др., 2007; Бартошинский, Квасница, 1991]. Встречаются двойники прорастания, имеющие вид двух сросшихся между собой по шпинелевому закону гексаэдров или двух октаэдров типа «Macles» соответственно (Рис.1). Однако существуют сдвойникованные индивиды, имеющие несколько механизмов формирования. К таковым можно отнести звездчатые двойники. При употреблении данного термина в подавляющем большинстве случаев понимается индивид, образованный двумя сросшимися по шпинелевому закону двойниками [Орлов, Солодова, Бартошинский, Квасница]. Однако это не единственный механизм роста, обуславливающий формирование звездчатых индивидов. Также процесс формирования двойника может представлять собой звездчатый сросток циклических шпинелевых двойников или сросток из пяти октаэдров. Формированию последнего в данной работе уделено особое внимание, так как данный индивид – весьма редкое явление. Для его формирования необходимо одновременное сосуществование большого количества факторов. В работе рассмотрены вопросы стереометрического доказательства существования данного двойника при механизме роста из пяти индивидов с обоснованием теории невозможности формирования такого сростка при наличии большего или меньшего количества индивидов, например шести.

*а*

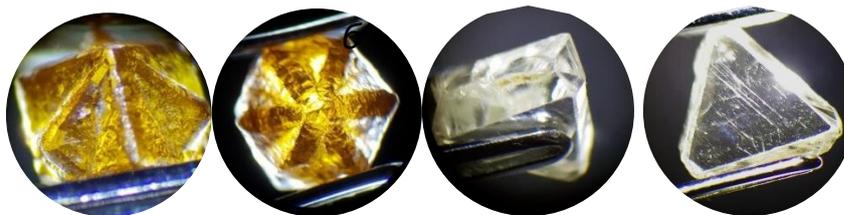


Рисунок 1. Разновидности двойников кристаллов алмаза по шпинелевому закону; а – срастание гексаэдров, II разновидность по Ю.Л. Орлову; б – срастание октаэдров, I разновидность по Ю.Л. Орлову

На рисунке 2 показаны изученные звездчатые двойники алмазов. Первый индивид имеет форму шестиконечной звезды и образован в результате параллельного срастания двух шпинелевых двойников. Второй индивид в форме пятиконечной звезды представляет собой циклический двойник срастания пяти октаэдров.

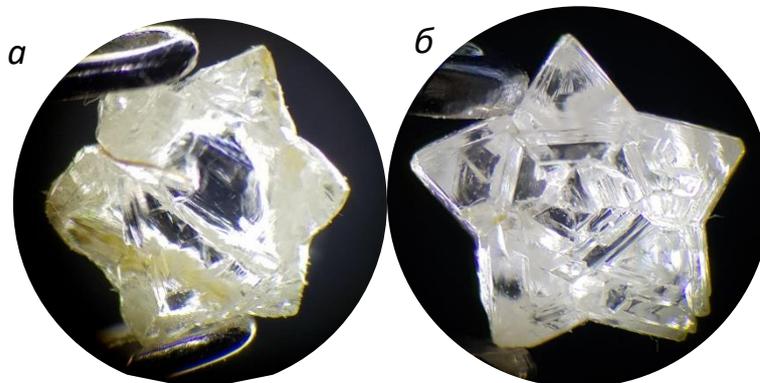


Рисунок 2. а - звездчатый двойник, сформированный двумя шпинелевыми двойниками; б – звездчатый циклический двойник, сформированный пятью октаэдрами

*Звездчатый двойник, сформированный двумя шпинелевыми двойниками с «эффектом отраженного входящего угла».* Механизм формирования данного индивида можно разделить на 3 стадии. Первая представляет собой срастание двух октаэдрических кристаллов по шпинелевому закону (комплексных двойников), при чем таких сростков должно быть два. Вторая уже предполагает срастание этих шпинелевых двойников, но с поворотом на 60°С относительно оси L3, перпендикулярной плоскости {111} (Рис.3а). Третья стадия описывает формирование «эффекта отраженного входящего угла», который выражается как формирование четырехгранной вершины на каждой из вершин шпинелевых двойников (Рис.3б). Ниже представлен рендер кадра 3D модели звездчатого двойника, сформированного двумя шпинелевыми двойниками (Рис. 3в). Установлено, что входящий угол, образованный зеркально отраженными гранями октаэдра, является энергетически более благоприятным местом для двумерного зарождения новых слоев роста, чем плоская грань кристалла, благодаря чему многие двойники имеют облик треугольной пластины различной толщины, а входящий в них угол нередко полностью исчезает (Рис. 4) [Павлушин, Коногорова, 2023].

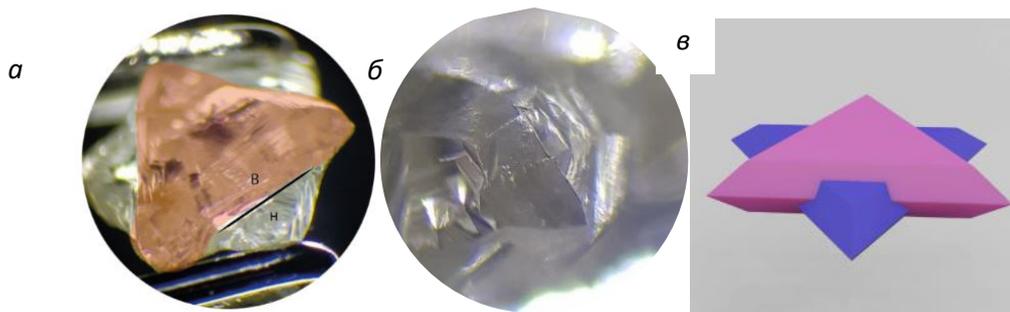


Рисунок 3. а – один из звездчатых двойников, образованный двумя шпинелевыми двойниками, буквой В обозначен верхний шпинелевый двойник, буквой Н – нижний, черная линия – ребро срастания между двойниками; б - одна из шести вершин звездчатого сростка из коллекции РГГРУ им. Серго Орджоникидзе; темное поле, ув. 30 х; в – 3D модель звездчатого двойника с «эффектом отраженного входящего угла»

*Звездчатый сросток, представленный пятью октаэдрами.* Механизм формирования данного индивида – циклическое двойникование кристаллов алмаза. Такой тип двойникования развивается в случае непараллельности двойнивающего элемента. В данном случае таким элементом является плоскость  $\{111\}$ .

Однако, необходимо разобраться в вопросе о том, почему конечная морфология сростка представлена именно пятью октаэдрами. Ответ на данный вопрос описывается стереометрически. Циклический двойник из пяти октаэдров сформируется в том случае, если все углы при вершинах, примыкающие к центру в сумме дадут  $360^\circ$  (Рис. 4а). Примем  $\angle OSK$  за  $\alpha$  и найдем его. Для этого вычислим половину двугранного угла октаэдра. Если рассматривать кристалл алмаза, как один из пяти правильных многогранников, то двугранный угол  $SKS_1$  равен  $109^\circ 28'$ , следовательно половина этого угла ( $\angle SKO$ ) равна  $54^\circ 44'$ . Далее рассмотрим прямоугольный треугольник  $SOK$ . Угол  $SKO$  найден, угол  $SOK$  равен  $90^\circ$ , следовательно по теореме о «Сумме углов треугольника» вычислим  $\angle \alpha$ .  $\angle \alpha = 180 - (90 + 54^\circ 44') \Rightarrow \alpha = 35^\circ 40' \Rightarrow 10\alpha = 356^\circ 40'$ . Данное значение стремится к  $360^\circ$  (Рис. 4б). Замечаем, что для завершения цикла двойникования не хватает  $4^\circ 20'$ , данное значение крайне мало и в процессе роста может компенсироваться смещением ближе к центру тел индивидов, формированием рельефа и искажением кристаллов алмаза по осям  $L^2$  и  $L^3$ .

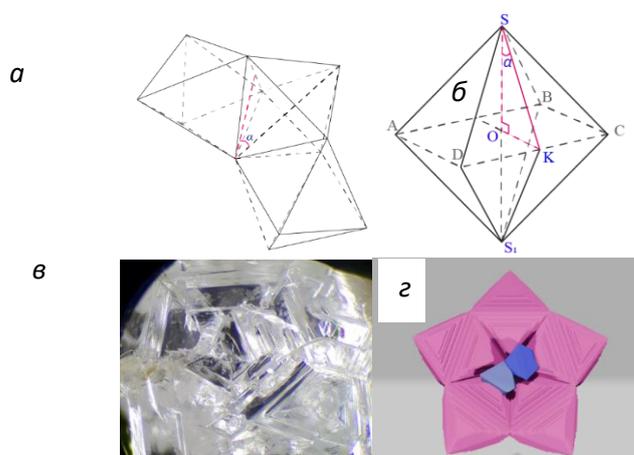


Рисунок 4. а – фрагмент звездчатого циклического сростка с указанием угла  $\alpha$ ; б – октаэдр с изображением углов; в - фрагмент центральной части двойника с нарастанием двух меньших индивидов; г – рендер 3D модели сростка

Формирование циклического двойника предположительно начинается как зарождение нескольких близкорасположенных кристаллов алмаза. При чем важно отметить, что их количество может существенно превышать пять индивидов. В результате «геометрического отбора» образуется циклическое срастание более крупных кристаллов, а более мелкие, иначе ориентированные кристаллы, постепенно вырождаются, и их вещество перекристаллизовывается на гранях энергетически выгодных для роста кристаллов. Данная теория подтверждается наблюдением выросших октаэдрических кристаллов алмаза как в центральной части, так и на периферии рассматриваемого образца (Рис. 4в). Следует отметить, что для формирования циклического двойника необходимо условие параллельности двойнивающего элемента, плоскость  $\{111\}$ . При двойниковании пяти индивидов это условие выполняется, а при теоретическом срастании из шести или более индивидов, угол между плоскостями будет отличен от нуля. Более того, рост кристаллов при циклическом срастании является более энергетически выгодным, так как уже присутствует поверхность роста, на которой может осаждаться кристаллическое вещество.

### **Выводы**

Генезис звездчатых сростков кристаллов алмаза имеет два механизма формирования. Образование звездчатых двойников может быть вызвано как закономерным срастанием двух шпинелевых двойников типа «Macles» со смещением на  $60^\circ$  по оси  $L^3$  и «эффектом отраженного входящего угла», так и циклическим срастанием нескольких октаэдрических кристаллов. Происхождение обоих типов связано со стремлением кристаллов алмаза занять более энергетически выгодный механизм роста еще на ранних стадиях кристаллизации.

### **Библиография**

1. А.Д. Павлушин, Д.В. Коногорова Кристаллогенетические предпосылки возникновения уникальной формы алмаза "Матрешка" - эффект захвата алмазного включения двойником кристаллов алмаза // Геохимия – 2023 г., Т. 68, №3, с. 271-284
2. Ю.Л. Орлов Минералогия алмаза. - 2 изд. - Москва: Наука, 1984., - 170 с.6.
3. Ю.П. Солодова, М.В. Николаев, К.К. Курбатов и др. Геммология алмаза. - Москва: Агат, 2008., - 170 с.
4. З.В. Бартошинский, В.Н. Квасница Кристалломорфология алмаза из кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1991., – 172 с.

*Принципы оценки бриллиантов, влияние параметров огранки на цену и покупательскую  
привлекательность*

*Саморуков Н.А.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), samonik1997@gmail.com),  
Петроченков Д.А. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), petrochenkovda@mgri.ru)*

**Аннотация**

В настоящее время оценка всех бриллиантов происходит по системе оценки 4С: вес (Carat), цвет (Color), чистота (Clarity), огранка (Cut). Качество огранки – составной параметр оценки, он определяет пропорции и симметрию элементов бриллианта, а также качество полировки граней. Влияние формы и качества огранки на стоимость велико, т.к. бриллианты с разной огранкой выглядят совершенно по-разному. Кроме того, форма и пропорции огранки влияют не только на вес камня, но и на его чистоту и цвет. Вне зависимости от качества исходного сырья, огранка может как понизить, так и повысить стоимость готового бриллианта. Камень может иметь такие пропорции, которые понравятся одному покупателю, но оттолкнут другого. Поэтому можно сказать, что качество огранки является спекулятивным параметром, позволяющим профессионалам рынка покупать дешевле и продавать дороже.

Цель данной работы показать, как различные параметры и элементы огранки бриллиантов влияют на их цветовые и качественные характеристики. Для расчета параметров и наглядного представления моделей бриллиантов использовались программы Gem Cut Studio и DiamCalc.

**Ключевые слова**

Бриллиант, огранка, пропорции, оценка.

**Теория**

Ювелиры с давних времен экспериментировали с формами огранки алмазов. В 1919 году Марсель Толковский предложил углы для граней круглого бриллианта, наиболее выгодные в отношении того, чтобы бриллиант производил наибольшее сверкание и разноцветную игру. Пропорции "идеального бриллианта" по М. Толковскому (в % от диаметра камня) выглядят следующим образом: площадка – 53%, общая высота камня – 60%, высота короны – 16,2%, угол наклона граней короны – 34,5°, высота павильона – 43,1%, угол наклона граней павильона – 40,75°, толщина рундиста – 0,7%. По современным техническим условиям на бриллианты допускаются следующие пропорции: размер площадки может варьироваться от 55% до 65%, толщина рундиста может достигать до 3-5%, угол наклона граней короны варьируется от 30° до 35°, угол наклона граней павильона – 40-42°. На игру света также очень сильно влияет плоскость граней, качество их полировки, чёткость ребер, симметрия (т.е. желательно, чтобы отклонения от нормы были в «одну сторону») и множество других технологических факторов, которые зависят от уровня технологичности органичного производства.

Корыстные цели увеличения массы бриллианта за счет искажения идеальной формы приводят к тому, что на практике часто наблюдаются отклонения от этих величин, хотя огранщики при обработке алмаза стараются попасть в определенные допуски по пропорциям. При огранке, в большей степени, стараются выдержать близким к идеальному угол наклона граней павильона (41°), т.к. от него зависит полное внутреннее отражение бриллианта.

Практика огранки привела к тому, что существует около двух десятков форм огранки, которые можно разделить на две группы: классическая – круг и фантазийные формы огранки, вплоть до разовых, индивидуальных. Классическая форма огранки применяется для дорогих алмазов, т.к. иногда бриллианты – это не только украшение, но и средство вложения капитала (в отличие от фантазийных форм, дает максимальную игру бриллианту и не подвержена веяниям

моды). Фантазийные формы огранки используются с одной стороны, для повышения текущего трендового спроса, а с другой стороны, для увеличения массы или иных характеристик полученного бриллианта. Практически всегда, при прочих равных характеристиках, бриллиант круглой огранки стоит дороже бриллианта фантазийных форм огранки. В существующих прејскурантах приводятся скидки для бриллиантов распространенных фантазийных форм огранки от цены круглого бриллианта.

Как описывалось выше оценка бриллиантов, это составной показатель. И по этой причине его всегда стараются сделать как можно чище по дефектности и больше по массе для достижения высокого уровня привлекательности. В фантазийной огранке не маловажную роль играет удлинение, так как если оно будет слишком большое, то в камне могут появиться «провалы света», т.е. луч света в камень войдет, но отразившись внутри не сможет выйти через корону и потеряется внутри в результате этого появляется эффект «галстука-бабочки».

В последние несколько лет компании, занимающиеся обработкой алмазов, стали проводить изучение и разметку сырья при помощи высокотехнологического оборудования для выбора наиболее оптимального варианта огранки. Для более точного прогноза цвета будущего бриллианта с сырья снимают спектр поглощения в видимой области, импортируют его в программу моделирования огранки и подбирают форму и пропорции бриллианта до получения наиболее выгодного варианта. Рассмотрим несколько примеров, смоделированных в программах Gem Cut Studio и DiamCalc. В данных программах можно моделировать различные формы и пропорции огранки, по которым будущие камни визуализируются и строится график возврата света при различном освещении.

На рисунке 1 представлены визуальные модели бриллиантов овальной формы с различными углами короны и павильона, а также график возврата света. Если, например, увеличить угол граней короны на 3 % (т.е. с 41 до 43,5 градусов) и павильона на 4 % (с 39,40 градусов до 41,08), то мы можем получить более равномерное распределение света. Из графика на рисунке 1 можно сделать вывод, что угол в 44,12 градуса на павильоне, рундист в 3 процента и угол короны в 43,5 градусов не сочетаются и не дают необходимого результата и хорошего отражения, также появляется эффект «галстука-бабочки».

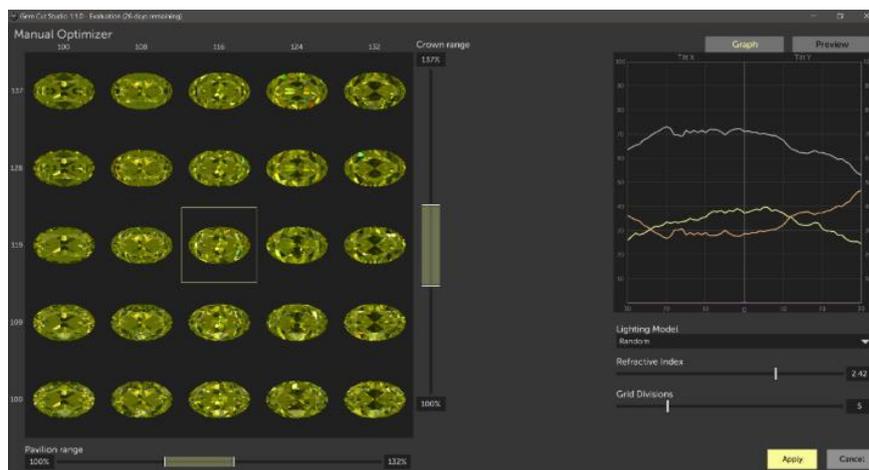


Рисунок 1. Визуальные модели бриллиантов овальной формы с различными углами наклона граней короны и павильона. Графики прохождения света в камне при угле наклона граней короны 41,5, павильона 44,12 градусов [2]

Если мы уменьшим удлинение камня и высоту павильона, то мы сможем избежать появления эффекта «галстука-бабочки» (провала света), но, к сожалению, появляется «провал света» и эффект «галстука-бабочки». На рисунке 2 представлены визуальные модели

бриллиантов и график распространения света при огранке классического овала на 16 клиньев, угол граней короны 41,4 градуса, угол павильона в 43 градуса. Так как это цветное сырье, здесь не такие строгие параметры и пределы углов как на бесцветном сырье. За счет большей высоты низа и более толстого рундиста достигается более высокая насыщенность цвета в камне.

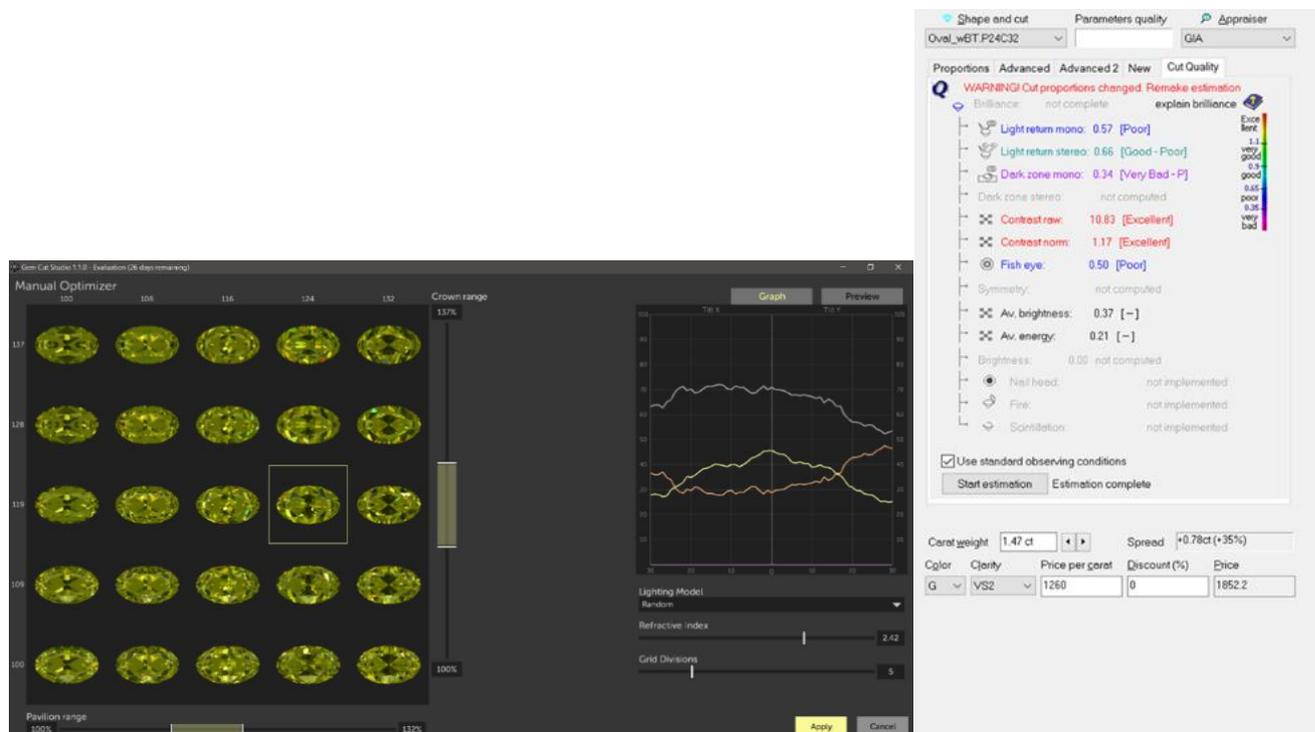


Рисунок 2. Визуальные модели бриллиантов овальной формы и график распространения света при угле наклона граней короны 41,4 градуса, павильона 43 градуса и толщине рундиста в 2,5 % [2]

Как мы можем видеть из диаграммы, смоделированной в программе DiamCalc, на рисунке 3, несмотря на изменение углов наклона граней павильона, у нас все еще наблюдается потеря внутреннего отражения. Овал при весе в 1,47 кар будет казаться на 35 % больше, чем классическая круглая огранка Кр-57, но стоит при тех же характеристиках будет на 15% меньше, но в нынешних реалиях из-за перенасыщенности рынка круглыми бриллиантами овал купят быстрее.

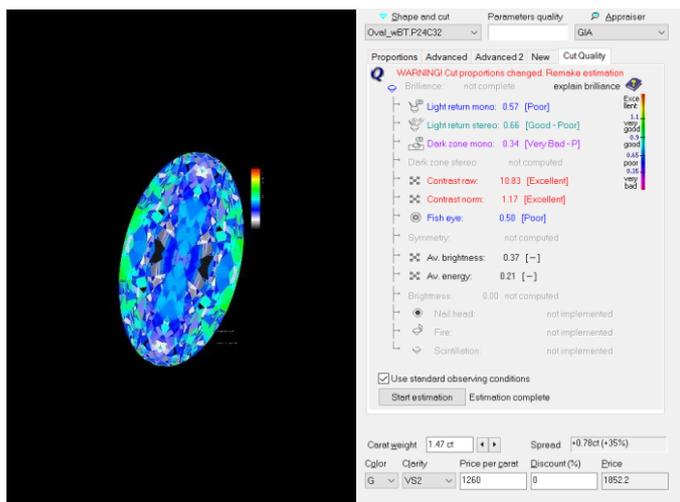


Рисунок 3. Диаграмма распределения света внутри камня с изменёнными параметрами: угла короны и павильона, толщины рундиста и соотношения длины к ширине [3]

### Выводы

Подводя итоги, можно сказать следующие: качество огранки и параметры углов очень сильно влияют на игру и насыщенность цвета в камне. По этой причине в настоящее время огранщики под руководством технологов создают великолепные огранки, которые высоко востребованы на рынке. При этом камень не уходит в работу до тех пор, пока не будет предварительно создан и просчитан проект по всем параметрам таким как цвет, насыщенность, дефектность так как наличие дефектов тоже очень сильно влияет на внутреннее отражение и прохождение света внутри камня. Для создания огранки, которая будет отвечать всем оптическим и качественным характеристикам необходимо время и достаточное количество знаний.

### Библиография

1. Database of diamonds Cutwise. URL: [https://cutwise.com/compare/diamond-fancy?id\[\]=631897&id\[\]=623502&id\[\]=623501&id\[\]=623500&id\[\]=623492&id\[\]=623493&id\[\]=623495](https://cutwise.com/compare/diamond-fancy?id[]=631897&id[]=623502&id[]=623501&id[]=623500&id[]=623492&id[]=623493&id[]=623495) (дата обращения: 11.03.2024).
2. Computer-aided design (CAD) application «Gem Cut Studio». URL: <https://gemcutstudio.com/> (дата обращения: 11.03.2024).
3. Computer-aided design (CAD) DiamCalc application <https://www.octonus.com/3dcalc-software/diamcalc> (дата обращения: 11.03.2024).
4. [https://www.gokhran.ru/common/upload/files/gokhran/1035\\_117-4.2099-2002.pdf](https://www.gokhran.ru/common/upload/files/gokhran/1035_117-4.2099-2002.pdf) (дата обращения 11.03.2024)
5. ГОСТ Р 52913-2008 «Бриллианты. Классификация. Технические требования».
6. Пальянов Ю.Н. и др. Изменение оптических и цветовых характеристик природных кристаллов алмаза. ИГМ СО РАН. Новосибирск. 2008. 138 с.
7. ГОСТ 70856-2023 Бриллианты. Классификация. Требования к сортировке и аттестации

*Влияние технологических параметров синтеза на строение агрегатов синтетического  
малахита*

*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),  
Некрасов А.Н. (alex@iem.ac.ru)*

**Аннотация**

С использованием растрового сканирующего микроскопа Tescan Vega II XMU проведено исследование морфологии и внутреннего строения образцов синтетического малахита. Малахит синтезировали двумя методами: в открытой проточной системе (ВНИИСИМС) и закрытой испарительно-рециркуляционной системе (ИЭМ РАН). Установлены наиболее характерные типы макро- и микродефектов синтетического малахита и рассмотрены причины их образования. Показано, что образование дефектов связано с изменением температуры и параметров теплопереноса в процессе кристаллизации минерала.

**Ключевые слова**

Синтез, малахит, морфология, испарительно-рециркуляционная система, дефекты строения.

**Источники финансирования**

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

**Теория**

Разработанные методы синтеза малахита позволяют получить практически все его популярные разновидности с разнообразной текстурой, проявленной благодаря чередованию зон от светло- до темно-зеленого, почти черного цвета. В настоящей работе представлены результаты исследования внутреннего строения синтетического аналога малахита - основного карбоната меди  $[\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2]$ . Синтез проведен двумя различными методами: в открытой проточной системе с использованием аммиачных медно-сульфатных растворов (ВНИИСИМС, г. Александров) [3] и закрытой рециркуляционной системе с использованием аммиачных медно-карбонатных растворов (ИЭМ РАН, г. Черноголовка) [1,6]. Рентгенофазовый анализ и ИК-спектроскопические исследования не выявили различий в строении образцов синтезированного и природного малахита. Химический состав их по основным компонентам практически не различался.

Морфологические характеристики и физико-химические свойства синтетического малахита в сравнении с природным малахитом описаны в ряде публикаций [1,4,5,6]. Установлено, что содержание летучих компонентов в синтетическом малахите оказалось на 1.5 – 2.0 мас. % выше, чем в природном. Авторы метода синтеза малахита, разработанного в СПбГУ (г. Санкт-Петербург), также отмечают, что при нагревании образцов синтетического малахита до 35 – 40 °С происходит потеря массы, составляющая 0.5 – 1.0 мас. % [5]. Измерения плотности малахита различного происхождения, проведенные Т.В. Черненко и Е.П. Мельниковым [4], показали, что плотность синтетического малахита на 7 – 16 % меньше, чем природного. Для определения возможных причин пониженной плотности синтетического малахита было изучено его внутреннее строение. Десять образцов мелкоузорчатой текстуры синтезированы на вертикальных затравках в открытой проточной системе; одиннадцать образцов полосчатой и почковидной текстуры получены в закрытой системе с использованием кристаллизаторов рециркуляционного типа. Образцы малахита изучали под оптическим (МБС-10), поляризационным (Nikon Eclipse LV100pol) микроскопами. Идентификацию фаз проводили на

основе порошковых рентгенограмм, снятых на дифрактометре Bruker D8-advance. Внутреннее строение образцов исследовали на сколах и полированных поверхностях с использованием растрового сканирующего микроскопа *Tescan Vega II XMU* с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) *INCA Energy 450* с полупроводниковым *Si(Li)* детектором *INCA x-sight* и волнодисперсионным спектрометром (ВДС) *INCA Wave 700 (Oxford Instruments)*. Изображения предварительно напыленных золотом (толщина слоя 5 нм) образцов в отраженных (обратно рассеянных) (*BSE*) и вторичных (*SE*) электронах были получены при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе электронного зонда 10 нА (расчетный размер электронного пучка – 24.6 нм).

Малахит, полученный в открытой системе на вертикальных затравках, имеет мелкоузорчатую текстуру, с чередованием контрастных разноокрашенных зон (рис. 1а). Изменение цвета нарастающего малахита регулируется степенью пересыщения раствора и заданными колебаниями температуры в зоне кристаллизации. Слои темно-зеленого цвета сложены более крупными агрегатами малахита, чем светлые слои, часто имеющие крипнокристаллическое строение. Синтетический малахит нередко имеет визуально различимые пустоты неправильной формы размером до нескольких миллиметров. Стенки полостей сложены почками малахита, состоящими из чередующихся слоев мелких и крупных сферолитов (рис. 1б, в). Размер почек не превышает нескольких миллиметров в поперечнике. Почки, как правило, располагаются вплотную друг к другу и нередко перекрываются, образуя плотный слой малахита.

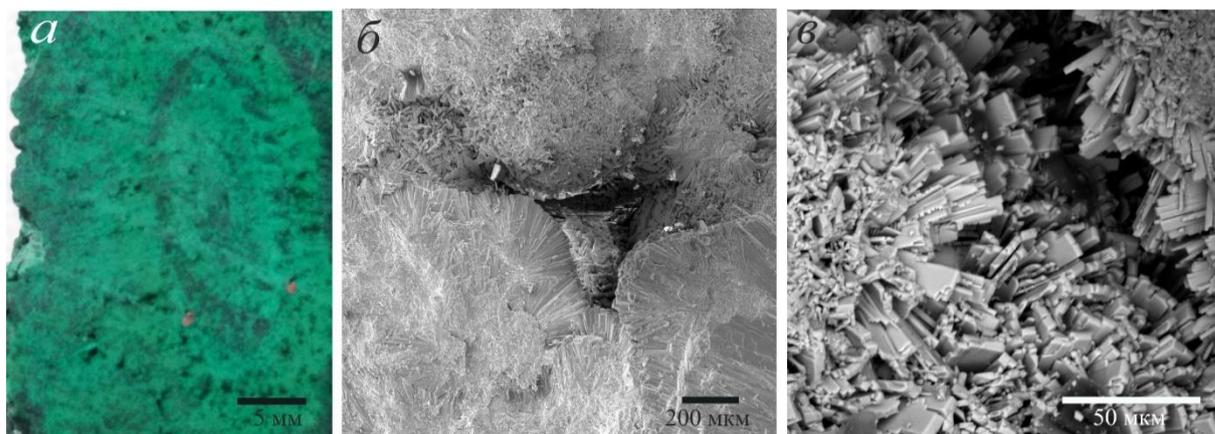


Рисунок 1. а – образец синтетического малахита, выращенного в открытой проточной системе (ВНИИСИМС); б, в – РЭМ– изображения полостей и мелких пор между малахитовыми почками. Изображения б, в – в отраженных электронах

Причина возникновения указанных полостей состоит в следующем. Для обеспечения непрерывного процесса отложения малахита в кристаллизатор постоянно подаются новые порции насыщенного рабочего раствора. На затравках, стенках и дне кристаллизатора происходит массовое зарождение разноориентированных сферолитов малахита. Вновь образованные почки разрастаются, соприкасаются с соседними, постепенно перекрывая доступ раствора к почкам предыдущей генерации. Там, где соприкосновения не происходит, возникают полости размером до 2 – 3 мм, которые, как правило, содержат остатки рабочего раствора. Образованию пустот способствует постоянное перемешивание раствора углекислым газом. В светло-зеленой зоне плотного, не содержащего микропустот мелкоузорчатого малахита, различимы поры неправильной формы размером 1 – 3 мкм. При переходе к слою темно-зеленого цвета, сложенного более крупными агрегатами малахита, размер пор увеличивается до 20 мкм, а количество их уменьшается.

В образцах малахита, полученных в закрытой рециркуляционно-испарительной системе, при плавном изменении температурного режима кристаллизации, макропустоты, как правило, не наблюдаются. Однако резкое повышение температуры процесса, особенно в первые сутки эксперимента, приводит к образованию в растущем слое малахита вертикальных трубчатых каналов (рис. 2а) диаметром 0.5 – 1 мм. Образование таких каналов связано с тем, что в процессе кристаллизация малахита происходит постоянное испарение легколетучих компонентов раствора: воды, углекислого газа и аммиака. При повышении температуры в кристаллизаторе возрастает интенсивность процесса массопереноса. На участках непрерывного возникновения пузырей газовой смеси отложения малахита не происходит. Это приводит к возникновению своеобразных в морфологическом отношении пустотелых каналов в общей массе растущего слоя малахита. В случае понижения температуры в кристаллизаторе процесс массопереноса замедляется вплоть до прекращения отделения газовых пузырей, что приводит к заращиванию полых каналов новообразованным малахитом (рис. 2б). Похожие образования, названные как “газмиты” или “амфоры”, описаны для природного и синтетического малахита [2;5].

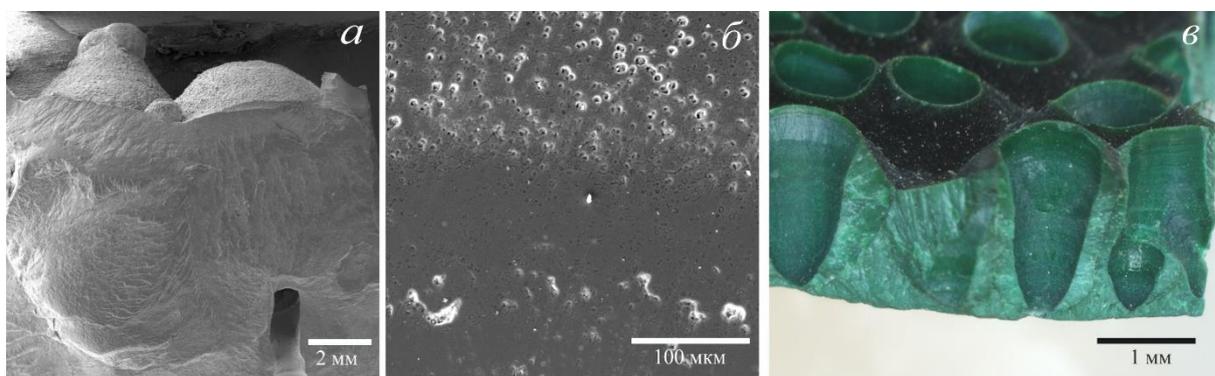


Рисунок 2. РЭМ – изображения образцов синтетического малахита, выращенного в закрытой рециркуляционной системе (ИЭМ РАН): а – трубчатый канал, пронизывающий образец малахита; б – микропористые слои в полосчатом малахите; верхняя часть фото – темно-зеленая зона, нижняя часть – светло-зеленая зона; в – пустотелые каналы в слое растущего малахита. Изображения а, б – во вторичных электронах

Из других макродефектов, снижающих плотность синтетического малахита, следует отметить трещины, возникающие в результате напряжений при резком изменении температуры кристаллизации. На микроуровне в полосчатом и в почковидном синтетическом малахите наблюдаются те же закономерности изменения пористости в разноокрашенных слоях, что и в мелкоузорчатом малахите. Как в полосчатом, так и в почковидном синтетическом малахите в зоне перехода от тонкокристаллического (слой светло-зеленого цвета) малахита к зоне, сложенной более крупными агрегатами (слой темно-зеленого цвета), как правило, поры значительно крупнее, размер их достигает 5 – 7 мкм (рис. 2б).

### **Выводы**

Таким образом, в синтетическом малахите, полученном двумя принципиально разными методами, установлены наиболее часто встречающиеся макро- и микродефекты: неправильной формы пустоты, трубчатые полые каналы, микротрещины и поры различных форм и размеров. Перечисленные дефекты являются основной причиной уменьшения плотности малахита и обусловлены изменением температуры кристаллизации и параметров теплообмена. Наличие этих дефектов ухудшает художественно-декоративные качества малахита. Тем не менее, разработанные технологии позволяют контролировать и предотвращать их появление и,

таким образом, получать в искусственных условиях малахит, близкий по качеству лучшим природным образцам.

### **Библиография**

1. Бубликова Т.М., Балицкий В.С., Ханин Д.А., Некрасов А.Н., Сеткова Т.В. Особенности внутреннего строения синтетического аналога малахита // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2018. № 6. С. 74–81.
2. Слетов В.А. Малахит: ложные псевдосталактиты и “пузырьковые газмиты” // Новые данные о минералах. 2015. Вып. 50. С. 117 – 122.
3. Тимохина И.В., Балицкий В.С., Шапошников А.А., Бубликова Т.М., Ахметова Г.Л., Дубовский А.А. Физико-химические исследования синтетического малахита // ДАН СССР. 1983. Т. 270. С. 1117 – 1119.
4. Черненко Т.В., Мельников Е.П., Свойства и диагностика природного и синтетического малахита // Вестник геммологии. 2003. №№ 8-9. С. 11-26 (№8), С. 31-35 (№9).
5. Шуйский А.В. Экспериментальная минералогия и генезис выращиваемого малахита: дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., СПбГУ, 2015. 185 с.
6. Balitsky V.S., Bublikova T.M., Sorokina S.L., Balitskaya L.V., Shteinberg A.S. Man-made jewelry malachite // Gems and Gemology. 1987. V. 23. P. 152 – 157.

*Минералогическое исследование красителей наскальной живописи с использованием  
микроспектроскопических методов анализа*

*Киселева Д.В.\* (ИГГ УрО РАН, kiseleva@igg.uran.ru),  
Шагалов Е.С. (ИГГ УрО РАН, УГГУ),  
Панкрушина Е.А. (ИГГ УрО РАН),  
Широков В.Н. (ИИиА УрО РАН)*

**Аннотация**

Уральская наскальная живопись (наскальные рисунки и «писаницы») представляет собой уникальное археологическое и культурное явление, включающее более 90 памятников, простирающихся более чем на 800 км с севера на юг, которые относятся к эпохе от палеолита до голоцена.

Идентификация природы доисторических красителей дает представление об их происхождении, производстве и использовании, а также способствует сохранению и восстановлению рисунков.

Изучение минерального и элементного состава микрообразцов красителя из рисунков Игнatieвской пещеры и писаниц Идрисовская II и Змиев Камень (Южный и Средний Урал, Россия) проведено с использованием микроспектроскопических методов (SEM-EDS и рамановская спектроскопия), обеспечивающих высокое пространственное разрешение.

Красные красители характеризуются наличием мелкозернистого (размером < 1 – 5 мкм) гидрослюдистого железосодержащего минерала для рисунков Игнatieвской пещеры и Идрисовской II писаницы, а также с добавлением костной золы в состав красного красителя для писаницы Змиев Камень. Основным пигментом черного красителя рисунков из Игнatieвской пещеры является уголь растительного происхождения. Возможно, что краситель наносился слоями (писаницы Идрисовская II и Змиев Камень).

Развитие аутигенной фосфатной и сульфатной (гипсовой) минерализации, наблюдаемое на всех исследованных участках, а также оксалатные корки на писанице Идрисовская II указывают на условия и процессы вторичного минералообразования.

**Ключевые слова**

Минеральные пигменты, наскальная живопись, сканирующая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света.

**Источники финансирования**

Работа поддержана грантом РФФ № 22-18-00593.

**Теория**

Цвет является чрезвычайно важным аспектом изучения искусства и археологических объектов. Выявляя природу пигментов, используемых в археологических артефактах, мы получаем представление об их происхождении, изготовлении, использовании, обмене, изменениях, а также о решениях проблем, возникающих из-за изменения цвета пигментов с течением времени, и, следовательно, проблем с их сохранением и восстановлением [Bersani, Lottici, 2016]. С археологической и исторической точек зрения изучение состава красителей может выявить уровень технологий, необходимых для их создания, привести к более глубокому пониманию композиционных стилей и хронологии наскальных рисунков, а также сформировать основу для выявления культурных традиций их создателей [Shirokov et al., 2014].

В настоящее время на Урале обнаружено более 90 участков с доисторическим наскальным искусством, с двумя основными районами локализации: на восточном склоне Среднего Урала по

рекам Тагил (20 писаниц), Нейва и Реж; и на западном южноуральском склоне по рекам Ай и Юрюзань [Shirokov, Chairkin, 2011].

С использованием оборудования ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН проведено микроскопическое (СЭМ), микроспектральное (КРС) исследование минеральной компоненты красных и черных красителей Уральских писаниц: рисунки Игнatieвской пещеры и писаницы Идрисовская II (Южный Урал) и Змиев Камень (Средний Урал, р. Нейва) [Kiseleva et al., 2023] (рис. 1).

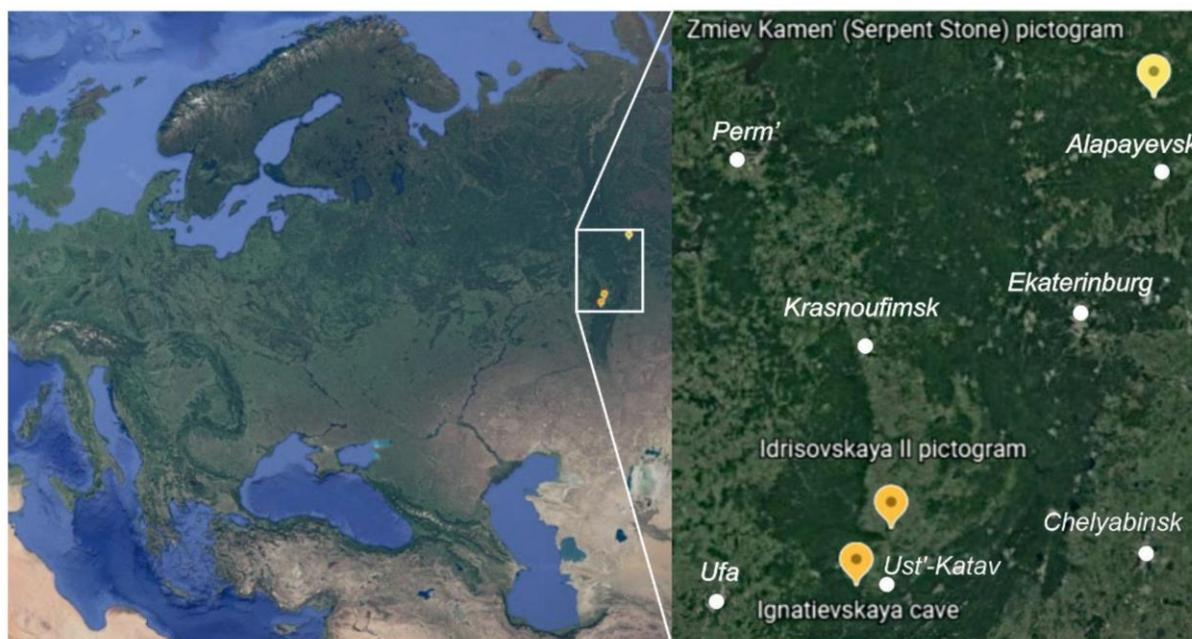


Рисунок 1. Географическое положение исследованных местонахождений с наскальной живописью (Игнatieвская пещера) и писаницами (Змиев Камень и Идрисовская II)

Изображения SEM, анализы EDS и элементные карты образцов были получены с использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390LV, оснащенного спектрометром INCA Energy 450 X-Max EDS и программным обеспечением AZtecOne с ускоряющим напряжением 20 кВ и временем экспозиции 5 мс на пиксель.

Минеральные фазы идентифицировали с помощью конфокального рамановского спектрометра LabRAM HR800 Evolution, оснащенного оптическим микроскопом Olympus BX-FM. Для записи использовали объектив Olympus 50× (числовая апертура=0,7), дифракционную решетку 600 штр/мм и ПЗС-детектор с электрическим охлаждением. Пространственное разрешение составляло до 1 мкм. Использовались газовые лазеры He-Ne (633 нм) и Ar (488 нм). Время регистрации составило 5–50 с на 10–50 накоплений в зависимости от степени люминесценции образцов. В результате были получены рамановские спектры в диапазоне 150–2000 см<sup>-1</sup>. Идентификация минеральных фаз проводилась с использованием базы данных KnowItAll (Bio RAD), интегрированной в программное обеспечение спектрометра, и базы данных RRUFF.INFO.

Отработана малоинвазивная методика извлечения микропрепаратов красителя в количестве, достаточном для проведения комплексных микроаналитических исследований его состава и структуры.

Красные красители характеризуются наличием мелкозернистого (размером < 1 – 5 мкм) гидрослюдистого железосодержащего минерала, по-видимому, полученного в результате тщательного измельчения и смешения частиц гематита с глинистым наполнителем для рисунков

Игнatieвской пещеры и Идрисовской II писаницы, а также с добавлением костной золы в состав красного красителя для писаницы Змиев Камень. Основным пигментом черного красителя рисунков из Игнatieвской пещеры является уголь растительного происхождения. Технология изготовления красителя могла включать тщательное измельчение и смешивание гематита с органическим связующим животного происхождения и глинистым наполнителем для достижения нужного оттенка и интенсивности цвета, а нанесение красителя могло происходить послойно (писаницы Идрисовская II и Змиев Камень).

Развитие аутигенной фосфатной минерализации зафиксировано как в пещерных обстановках, так и на поверхности писаниц, находящихся под открытым небом, в результате чего образуется ряд Са- и К-Na-Al-содержащих фосфатов. Фосфор выделяется в процессе жизнедеятельности летучих мышей/птиц (гуано) или вследствие биodeградации костного детрита в рыхлых пещерных отложениях с образованием кислых растворов, обогащенных фосфат-ионом и растворяющих известняк и апатит.

Для всех исследованных местонахождений (как пещерных, так и открытых) характерно образование аутигенного гипса в виде натеков, покрывающих красочный слой. В Игнatieвской пещере фосфоритизация органических остатков в рыхлых отложениях (костный детрит, гуано летучих мышей) сопровождается закислением среды и кристаллизацией гипса. Для открытых писаниц образование гипса обусловлено миграциями оксидов серы с сухими и влажными атмосферными осадками и растворением субстрата (известняков и гранитов). Кроме того, дополнительным источником для кристаллизации гипса во всех красителях может быть сера из органического связующего (обогащенные серой триглицериды из жировой ткани и костного мозга), а также деятельность серо-окисляющих бактерий.

На изображениях писаницы Идрисовская II обнаружены корки оксалатов кальция, образовавшиеся в результате биологической деятельности микроорганизмов (лишайников, цианобактерий) из литобионтического сообщества известняковой породы. Присутствие литобионтических микроорганизмов на гранитном субстрате писаницы Змиев Камень подтверждается данными ГХ-МС, хотя оксалаты на ее поверхности не обнаружены, что может свидетельствовать о высокой специфичности некоторых микроорганизмов к составу породы.

Одновременное присутствие легко гидратируемых-дегидратируемых минералов, таких как гипс и ангидрит (Змиев Камень), а также оксалатов кальция (Идрисовская II) свидетельствует о чередовании сухих и влажных климатических условий при формировании минеральных отложений, покрывающих скальную поверхность писаниц под открытым небом, в то время как пещерные обстановки характеризуются высокой стабильностью температурно-влажностного режима.

### **Выводы**

Изучение минерального и элементного состава микро-образцов красителя рисунков Игнatieвской пещеры и писаниц Идрисовской II и Змиева Камня (Южный и Средний Урал, Россия), рассмотренных в настоящей работе, проводилось с использованием специального набора микроспектроскопических методов (SEM-EDS и рамановская спектроскопия), обеспечивающих высокое пространственное разрешение.

Красные красители характеризуются наличием мелкозернистого (размером < 1 – 5 мкм) гидрослюдистого железосодержащего минерала для рисунков Игнatieвской пещеры и Идрисовской II писаницы, а также с добавлением костной золы в состав красного красителя для писаницы Змиев Камень. Основным пигментом черного красителя рисунков из Игнatieвской пещеры является уголь растительного происхождения.

Развитие аутигенной фосфатной и сульфатной (гипсовой) минерализации, наблюдаемое на всех исследованных участках, а также оксалатные корки на писанице Идрисовская II указывают на условия и процессы вторичного минералообразования.

### **Библиография**

1. Bersani D., Lottici P.P. Raman spectroscopy of minerals and mineral pigments in archaeometry. *J. Raman Spectrosc.* 2016(47):499–530.
2. Kiseleva D., Shagalov E., Pankrushina E., Shirokov V., Khorkova A., Danilov D. Microanalytical Investigation of Prehistoric Colorants from Uralian Rock Art (Ignatievskaya Cave and Idrisovskaya II and Zmiev Kamen' Pictographs). *Heritage.* 2023(6): 67–89.
3. Shirokov V.N., Chairkin S.E. Rock paintings of the Northern and Middle Urals. Ekaterinburg: Azhur Publishing House, 2011. 181 p.
4. Shirokov V.N., Dubrovsky D.K., Surikov V.T., Kiseleva D.V., Petrishcheva V.G. Rock paintings of the Middle and Southern Urals: microelement composition of samples of ancient paints. *Ural'skij Istoriceskij Vestnik.* 2014(1):100–111.

***Ювелирный демантоид (андрадит) из внешних зон метаморфизма ультрабазитовых  
массивов Среднего и Полярного Урала***

***Макеев А.Б.\* (ИГЕМ РАН, abmakeev@mail.ru),  
Терехов Е.Н. (ГИН РАН, terekhoff.zhenya@yandex.ru)***

**Аннотация**

Изучен химический состав, морфология и декоративные свойства ювелирного граната демантоида Среднего Урала из трех проявлений Каркодинское, Кладовая и Верхний Уфалей. Проведено 48 точечных микронзондовых анализов по профилям (по 4 точки) на каждом из 12 зерен.

**Ключевые слова**

Демантоид, Средний Урал, морфология, химический состав.

**Источники финансирования**

FMMN-2024-0015\_Металлогения-ПТНИ 2025-2027.

**Теория**

В Уральской петрологической мегапровинции известно два пояса ультрабазитовых массивов. Один протяженный пояс хромитоносных альпинотипных ультрабазитовых массивов, общей площадью более 10 тыс. км<sup>2</sup> [1, 5 и др.], второй располагается западнее от первого – платиноносный пояс дунит-клинопироксенитовых массивов с меньшей площадью распространения. Для них характерно несколько этапов регрессивного и прогрессивного метаморфизма. Определение возраста и P-T условий протекания этапов метаморфизма ультрабазитов является весьма актуальной задачей. Здесь в пределах Среднего и Полярного Урала известно несколько проявлений ювелирного граната демантоида зеленого, желтого и коричневого цветов (Рис. 1-3, Таблица), приуроченных к зонам меланжа и к внешним тектоническим контактам ультрабазитовых массивов. Размер изометричных зерен, их обломков и ромбододекаэдрических кристаллов демантоида варьирует от 1 до 12 мм. Его добывают несколько мелких артелей на протяжении уже более 150 лет, облагораживают, нагревая до температуры более 1000°C, гранат становится ярко-изумрудно-зеленым. Далее зерна и кристаллы граната гранят и вставляют в украшения, имитируя изумруд. Вмещающими породами проявлений граната являются антигорит-бруситовые серпентиниты, породы характерные для контактового прогрессивного метаморфизма. Демантоид андрадит, содержащий в микроколичествах U и Pb, приуроченный к этим породам, прекрасный индикатор возраста и условий образования этих метаморфитов, и, вероятно, возраста внедрения ультрабазитовых массивов в породы рамы.

В двух проявлениях Среднего Урала [2-4, 7] в андрадитах определена концентрация элементов примесей, и по ним методом (U-Pb LA-ICP-MS dating) рассчитан возраст граната (из проявления Полдневское) – 292±1 и (из проявления Каркодинское) – 343±4 млн лет [6], авторы статьи интерпретируют это как возраст метаморфических событий в Каркодинском метасуперосновном массиве.

На Среднем Урале демантоид встречается в жилах, залегающих в серпентинитах или в трещинах дунитовых тел, заполненных волокнистыми магнетит-брусит-антигоритовым субстратом во внешней части Каркодинского и Уфалейского ультраосновных массивов. Каркодинское и Полдневское (бывшая Кладовка) проявления примыкают к южному флангу Каркодинского ультраосновного массива, который имеет неправильную линзовидную форму шириной от 0,5 до 4,5 км и длиной 12 км, который ориентирован удлинением в меридиональном направлении.

Минеральный состав множества проявлений ювелирного граната подобен и характеризуется неравномерным распределением демантоида по трещинам в серпентинитах. Мощность жил от нескольких мм, до первых метров, при протяженности в десятки метров.



Рисунок 1. Зерна граната-андрадита проявления Каркодино с 1 по 4



Рисунок 2. Зерна граната-андрадита проявления Кладовая с 5 по 8



Рисунок 3. Зерна и кристаллы граната-андрадита проявления Верхний Уфалей с 9 по 12

При этом линейные трещинные зоны с демантоидом залегают в относительно слабо серпентинизированных дунитах, а собственно мелкие трещины показывают признаки малоамплитудных взбросов. Образование жил связывается с системой трещин в надвиговых пластинах, испытавших процессы выжимания [4]. Процессы поздней «серпентинитовой тектоники» были наложены на жильные зоны с демантоидом, раздавливали их и формировали отдельные кристаллы в «глинке» того же состава.

В пределах Полярного Урала такая же демантоидная минерализация известна в зонах меланжа на северном контакте массива Рай-Из и западном контакте массива Сыгум-Кеу [6], в этих же зонах встречаются жилы родингитов.

Таблица 1

Химический состав гранатов-андрадитов Среднего Урала (Сред. $\pm\sigma$ , мас.%)

Оксиды	Каркодино-1		Каркодино-2		Каркодино-3		Каркодино-4		Каркодино-1-4	
	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	СКО	Сред.	$\sigma$
SiO <sub>2</sub>	35,42	0,010	35,40	0,015	35,42	0,021	35,40	0,010	35,41	0,017
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,014	0,06	0,022	0,02	0,020	0,06	0,032	0,04	0,028
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,024	0,04	0,014	0,06	0,018	0,06	0,008	0,05	0,017
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,36	0,033	31,14	0,024	31,22	0,039	31,15	0,150	31,22	0,115
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,002	0,23	0,023	0,13	0,040	0,20	0,145	0,14	0,113
FeO	0,47	0,073	0,30	0,026	0,38	0,170	0,36	0,128	0,38	0,119
MnO	0,00	0,002	0,03	0,024	0,01	0,017	0,01	0,018	0,02	0,020
MgO	0,05	0,013	0,08	0,015	0,06	0,027	0,08	0,047	0,07	0,029
CaO	32,63	0,049	32,71	0,015	32,69	0,123	32,68	0,061	32,67	0,072
Skiag	0,91	0,173	0,71	0,062	0,89	0,401	0,85	0,302	0,89	0,280
Spes	0,02	0,005	0,08	0,057	0,03	0,040	0,03	0,042	0,04	0,047
Andr.	98,19	0,137	98,09	0,060	98,38	0,373	98,13	0,432	98,32	0,356
Uvar	0,24	0,000	0,77	0,077	0,44	0,134	0,65	0,485	0,46	0,379
Pirop	0,23	0,053	0,34	0,061	0,26	0,114	0,34	0,197	0,29	0,121

Оксиды	Кладовая-5		Кладовая-6		Кладовая-7		Кладовая-8		Кладовая-5-8	
	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$
SiO <sub>2</sub>	35,40	0,024	35,37	0,014	35,39	0,030	35,40	0,019	35,39	0,022
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,019	0,06	0,017	0,04	0,044	0,04	0,022	0,05	0,027
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,018	0,04	0,009	0,01	0,013	0,10	0,013	0,06	0,036
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,26	0,048	31,34	0,022	31,39	0,033	31,19	0,032	31,29	0,083
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,012	0,02	0,015	0,02	0,019	0,08	0,016	0,04	0,031
FeO	0,33	0,102	0,40	0,100	0,38	0,160	0,49	0,057	0,40	0,115
MnO	0,11	0,026	0,10	0,003	0,08	0,061	0,08	0,030	0,09	0,035
MgO	0,03	0,011	0,00	0,005	0,01	0,009	0,01	0,015	0,01	0,013
CaO	32,69	0,097	32,66	0,092	32,68	0,109	32,60	0,031	32,66	0,086
Skiag	0,78	0,242	0,95	0,236	0,90	0,378	1,15	0,135	0,94	0,272
Spes	0,25	0,062	0,24	0,008	0,19	0,147	0,18	0,071	0,22	0,084
Andr.	98,73	0,290	98,75	0,228	98,85	0,318	98,43	0,070	98,69	0,274
Uvar	0,12	0,026	0,05	0,034	0,04	0,043	0,18	0,035	0,10	0,069
Pirop	0,11	0,045	0,01	0,021	0,03	0,040	0,06	0,063	0,05	0,055

Оксиды	В.Уфалей-9		В.Уфалей-10		В.Уфалей-11		В.Уфалей-12		В.Уфалей-9-12	
	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$	Сред.	$\sigma$
SiO <sub>2</sub>	35,45	0,026	35,44	0,024	35,44	0,022	35,50	0,013	35,46	0,031
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,016	0,01	0,007	0,01	0,014	0,01	0,010	0,01	0,011
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,033	0,11	0,034	0,10	0,057	0,35	0,069	0,16	0,126
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,27	0,086	31,27	0,032	31,28	0,067	30,95	0,101	31,19	0,162
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,061	0,01	0,010	0,00	0,009	0,00	0,000	0,02	0,044
FeO	0,30	0,056	0,48	0,059	0,44	0,131	0,42	0,092	0,41	0,107

MnO	0,03	0,023	0,02	0,020	0,04	0,051	0,02	0,017	0,03	0,029
MgO	0,14	0,051	0,07	0,056	0,06	0,047	0,11	0,025	0,10	0,054
CaO	32,64	0,006	32,60	0,036	32,62	0,058	32,63	0,051	32,62	0,042
Skiag	0,70	0,133	1,14	0,139	1,04	0,310	0,99	0,217	0,97	0,253
Spes	0,07	0,055	0,04	0,047	0,09	0,122	0,05	0,041	0,06	0,069
Andr.	98,36	0,243	98,50	0,143	98,59	0,191	98,48	0,127	98,48	0,184
Uvar	0,27	0,203	0,04	0,033	0,02	0,030	0,00	0,000	0,08	0,146
Pirop	0,60	0,216	0,28	0,235	0,26	0,195	0,47	0,104	0,40	0,226

*Примечание. Skiag – скиагит; Spes – спессартит, Andr – андрадит; Uvar – уваровит.*

Химические анализы зерен граната трех проявлений Среднего Урала (Каркодино, Кладовая, Верхний Уфалей) выполнены на волновом микронзонде JXA-8200 в ИГЕМ РАН С.Е. Борисовским (Таблица). Каждое зерно (из 12) анализировалось в четырех точках, первый анализ в центре и три другие по направлению к краю зерна. По результатам микронзондовых исследований установлено, что все гранаты представлены андрадитом. Анализы показали, что все зерна очень близкого состава, есть небольшая разница в составе примесей (Mn, Mg, Al, Cr, Ti). Зональность не наблюдается, а значит, все зерна имеют однородный состав. Составы гранатов пересчитаны на миналы, анализы пронормированы на стехиометрический состав, первично определенное железо как Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> по результатам пересчетов разделено на двух и трехвалентное.

Наиболее высокие содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,16±0,24 мас.%) и MgO (0,10±0,044) показали гранаты проявления Верхний Уфалей; MnO (0,09±0,019) и TiO<sub>2</sub> (0,05±0,011) – гранаты проявления Кладовая; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,14±0,19) – гранаты проявления Каркодино. Содержание железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO), а также CaO в андрадите во всех проявлениях примерно одинаковое. Во всех гранатах преобладает андрадитовый минал 98-99% Ca<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, уваровита от 0,0 до 1,3%, пироп от 0,0 до 0,8%, спессартита от 0,0 до 0,4%. Из-за низкого содержания в гранатах глинозема пересчет их состава на миналы выявил наличие экзотического скиагита – Fe<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, (0,4-1,4, в среднем – 0,9%), который указывает на кристаллизацию гранатов-андрадитов всех проявлений в условиях высоких ступеней метаморфизма и высокого давления.

### **Выводы**

Установлено, что все изученные зерна демантоида не зональные, с равномерным распределением примесей, представлены исключительно андрадитом (Ca<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>), содержание которого – 98-99%, кроме него присутствует экзотический минал скиагит – Fe<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> – 0,4-1,4%. Продолжением этой работы станет определение возраста кальциевого граната, содержащего изоморфные уран и свинец, двумя методами: U-Pb LA-ICP-MS dating и ID TIMS для установления времени образования демантоидной минерализации и контактового метаморфизма ультрабазитовых массивов.

### **Библиография**

1. Альпинотипные гипербазиты Урала: Информационные материалы. / Под ред. Д.С. Штейнберга, К.К. Золоева. Свердловск, 1985. 66 с.
2. Алферова М.С. Минералогия и условия формирования Ново-Каркодинского месторождения демантоидов (Средний Урал) // Новые данные о минералах. 2006. Т. 41. С. 71-78.
3. Иванов О.К. Генезис демантоидных месторождений Урала // Уральский геологический журнал. 1998. № 1, С. 19-21.
4. Карасева Е.С., Кисин А.Ю., Мурзин В.В. Полдневское месторождение демантоидов (Средний Урал): геология и минералогия // Литосфера. 2021. 21, С. 683-698

5. Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. СПб.: Наука. 1999. 252 с.
6. Sorokina E.S., Albert R., Botcharnikov R.E., et al. Origin of Uralian andradite (var. demantoid): Constraints from in situ U-Pb LA-ICP-MS dating and trace element analysis // Lithos. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107091>.
7. Hatzel R., Romer R. U-Pb dating of Verkhniy Ufaley intrusions, Middle Urals, Russia: a minimum age for subduction and amphibolite facies overprint of the east European continental margin // Geological magazine. 1999. 136, pp. 593-597.

*Технико-технологические аспекты классификации ограненных ювелирных камней.  
Ахметшин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
4966945@mail.ru),*

*Ахметшина Н. П. (независимый исследователь, nadyrk@yandex.ru)*

### **Аннотация**

Новые виды и формы огранки ювелирных камней, существенно отличающиеся от классических, таких, как, например кр-57, приобретают собственное значение, и как самостоятельные произведения искусства, и как важные элементы художественного ювелирного изделия. Разнообразие изготавливаемых из ювелирных камней фантазийных огранок и их распространение делают необходимым разработку классификации таких камней по определенным критериям. Наиболее простым и объективным видом классификации стала бы типизация по технике исполнения либо основной отличительной технологии изготовления.

### **Ключевые слова**

Технология, огранка, ювелирные камни, классификация.

### **Теория**

Обработка прозрачных ювелирных камней методом гранения – т.е. нанесением плоских полированных поверхностей [2], как технология, формировалась на протяжении тысячелетий. Стоит отметить, что именно технология обработки камня служит критерием разделения периодов первобытной истории человечества. Изначально, идея огранки, по всей видимости, была сформулирована при добычи первых природных кристаллов горного хрусталя, алмазов и др., которые, благодаря привильной геометрической форме, отражению света от нижних граней прозрачных кристаллов обратили на себя внимание и послужили эталонами для подражания. Так схожих форм и эффектов человек пытался добиться при помощи шлифования и простых технологических приемов гранения.

Доподлинно известно, что первые шлифованные алмазы происходят именно из Индии [4]. Это были так называемые «алмазные наконечники» - алмазы природной формы с подшлифованными гранями. Вероятно, и сама технология гранения в Европу была позднее завезена из Индии. Благодаря изобретению горизонтального шлифовального круга технология огранки усложнилась. С XV века зарождается гранильное производство в Бельгии и Франции, а «отцом» современной европейской огранки считается фламандец Людвиг Роберт де Беркгем [1]. С развитием технологии огранки фасеты, нанесенные на камень грани становятся более упорядоченными и симметричными. В XVI веке появляется новый вид огранки — роза. В это же время изобретают бриллиантовую огранку алмазов. До недавнего времени считалось, что первым это сделал в конце XVII века Винченцо Перуцци. Первым же, кто внедрил машинный «паровой» привод и научный подход в формировании форм огранки бриллиантов стал Генри Морсе [5]. В 1919 году Марсель Толковский [3] сделал точные математические расчеты для идеального бриллианта. Он вычислил пропорции, углы наклона элементов для круглой огранки в 57 граней для максимальной игры и блеска алмаза.

Во второй половине XX в. формы гранения камней значительно усложняются, появляется целый класс новых форм обработки с общим термином фантазийные огранки. Некоторые зарубежные исследователи, например Эл Гилберсон (Al Gilbertson), приписывает изобретение фантазийной огранки в 1970-х годах Бернду Мюнштайнеру (Bernd Münsteiner) [6], когда он впервые стал применять резьбу как средство декорирования ограненного камня. В настоящее время этот класс огранок, существенно отличающейся от классического, приобретает собственное значение, и как самостоятельное произведение искусства, и как определяющий элемент художественного ювелирного изделия. Разнообразие изготавливаемых из ювелирных

камней фантазийных огранок, их распространение делают необходимым разработку классификации таких камней по определенным критериям. Наиболее простым и объективным типом классификации может стать типизация по технике исполнения либо основной отличительной технологии изготовления.

Ограненные камни с матовыми гранями. Эта группа художественной огранки появилась на рубеже XX-XXI в.в. При помощи матовых граней создаются как абстрактные, так и буквальные художественные формы. Основной техникой исполнения является изготовление матовых, то есть не полированных граней и их комбинации с полированными. Таким образом, фактура грани, её шероховатость, позволяет получить задуманный художественный образ (рис. 1. а).

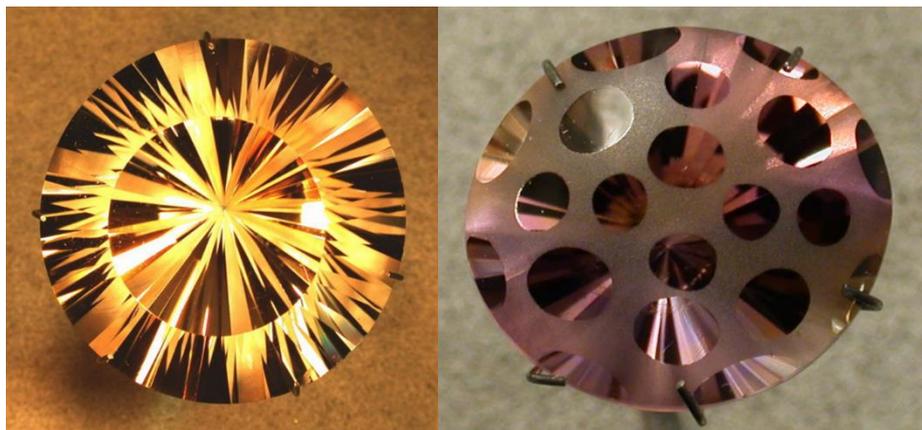


Рисунок 1. Слева направо а). пример огранённого камня с матовыми гранями; б). пример ограненного камня типа "иллюминатор"

Ограненные камни с матовыми криволинейными поверхностями – «Иллюминаторы». В основу идеи такой огранки положено создание матовой, полукруглой поверхности и прозрачных, на контрастном фоне, «окон», через которые просматриваются грани павильона (рис.1 б). При этом, света, попадающего внутрь камня, достаточно для получения световозрата и дисперсии, а на самой матовой поверхности, как на экране, возникают переливы и подсветы отраженного от граней низа света. Название произошло от главного эффекта, связанного с этим типом огранки - иллюминатор (лат. illuminator — «осветитель»).

Ограненные камни с асферическими поверхностями. Основными отличительными техниками исполнения таких камней являются сферические вогнутые поверхности, как правило с нарушенной продольной симметрией (правильно их называть «асферические поверхности») в комбинации с обычными полированными или матовыми гранями. Особенностью таких огранок является отражение полусферических вогнутых поверхностей в полированных гранях, при этом поверхность самих асфериков так же является отражающей свет, при просмотре на их поверхности можно наблюдать соответствующие всполохи. Эффект отражения элементов огранки позволяет создавать трехмерные иллюзии. Сами асферики изготавливаются с помощью полусферических боров. Такая же технология, только в автоматических режимах, применяется в оптической промышленности.

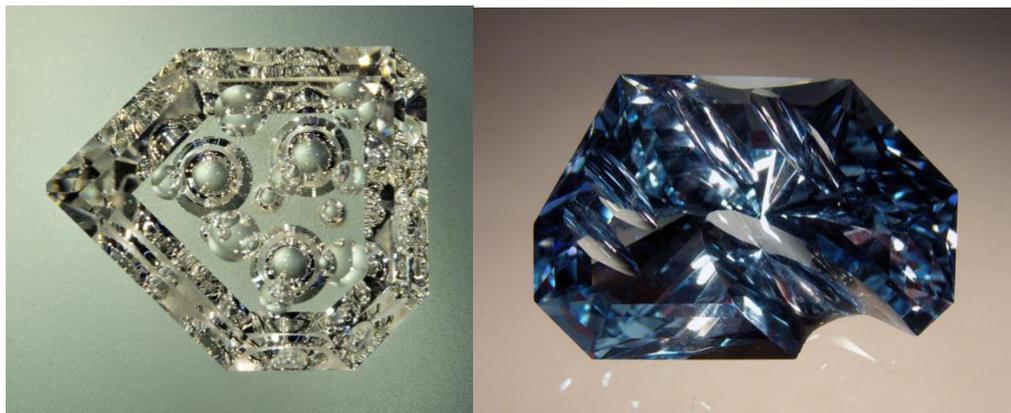


Рисунок 2. Слева направо ограненный камень с асферическими поверхностями, ограненный камень с профильной выборкой полусферической формы

Ограненные камни с профильной выборкой полусферической формы. Применение торцевых алмазных шайб позволило создавать новые виды огранки, ранее неизвестные. При этом, в отдельных случаях такая обработка позволяет рационально использовать сырьё: с помощью выборки можно устранить в объеме камня естественный порок (включение или трещину), без существенной потери размера дорогостоящего блока ювелирного камня и художественно обыграть как замысел полученную заготовку (рис.2. б.) Профильные «границы» полукруглого сечения создают в купе специфические переливы, похожие на перелив муара.

Ограненные камни с профильной выборкой угловой формы. Камни, изготовленные с применением такой техники исполнения очень похожи по технологии изготовления с предыдущей группой различаясь лишь по форме профиля шайб, но визуально камни этих групп заметно различаются.

Ограненные камни с профильными кольцевыми гранями. Можно отнести к подвиду огранок с использованием профильной выборкой угловой формы, но с существенным различием – профильные грани имеют вид не линейный, а кольцевой. Придание угловому профилю кольцевого характера позволяет получить совершенно новый характер огранки с другими визуальными эффектами (рис.3. а.). По технологии изготовления вместо профильных торцевых шайб используются боры с металлической либо гальванической связкой соответствующей зернистости. Для получения соответствующего кольцевого рисунка заготовка крепится на оправку шпинделя передней бабки токарного станка, подача бормашины с закрепленным бором углового профиля осуществляется суппортом. Таким образом, в процессе сошлифовывания, при вращении заготовки, формируется концентрический рисунок. Полученные кольцевые профили подшлифовываются и полируются.

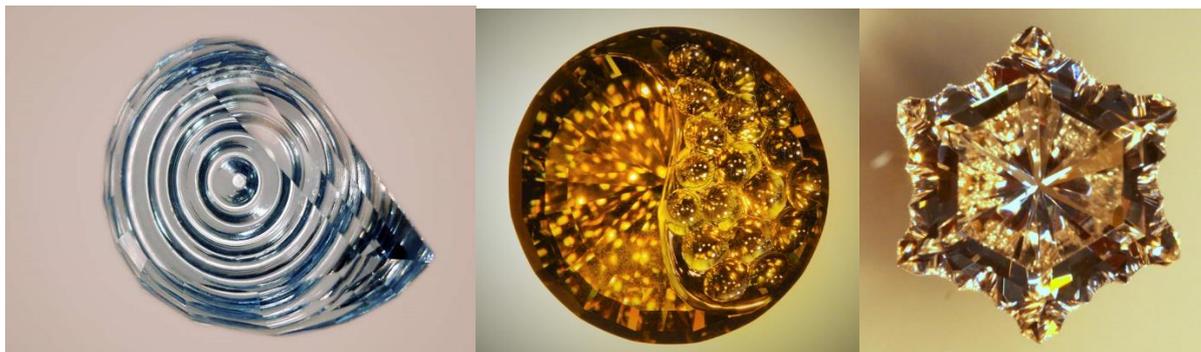


Рисунок 3. Слева направо а). Ограненный камень с профильными кольцевыми гранями; б), в) примеры камей комбинированной художественной огранки

Комбинированные художественные и дизайнерские ограненные камни. В эту группу огранок можно отнести ювелирные камни с использованием различных техник исполнения и дизайнерских решений образующие художественные образы. Комбинирование техник и элементов декорирования приводит к существенному усложнению не только самого замысла, но и технологии реализации задумки.

Ограненные камни с включениями и естественными гранями. Особая группа огранок ювелирных камней, которую правильно отнести к коллекционным – такие камни применяются в ювелирном искусстве редко, но при правильном дизайне получают изделия эксклюзивного характера.

### **Выводы**

Предлагаемая классификация фантазийноограненных ювелирных камней позволяет типизировать разнообразные формы, разрабатываемые огранщиками. Основой такой классификации может быть либо техника исполнения, либо технологические приемы, используемые при обработке камня. Так по технике исполнения можно выделить камни: с матовыми плоскими и кривоугонными поверхностями, асферическими, профильными (включая огранки типа «конкейв»), кольцевыми гранями, комбинированные и дизайнерские формы.

### **Библиография**

1. Епифанов В.И., Зыков Л.В., Песина А.Я. Технология обработки алмазов в бриллианты. Издание 2-е. М.: Высшая Школа, 1976
2. Куликов Б. Ф., Буканов В. В. Огранка // Словарь камней-самоцветов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1989. — С. 67. — 168 с. — ISBN 5-247-00076-5.
3. Tolkovsky M. Diamond design. New York, 1916
4. Электронный ресурс: Кин, Мануэль. "Гранильное искусство в исламе". *Журнал экспедиции* 24, № 1 (октябрь 1981 г.) г <https://www.penn.museum/sites/expedition/the-lapidary-arts-in-islam/>, дата обращения 20.03.2024
5. Gilberson Al M. American cut--the first 100 years : the evolution of the American cut diamond, 1860-1960. Gemological Institute of America. 2007. 214
6. Электронный ресурс: Эд Гилберстон «А потом появилась фантазийная огранка». *Журнал GIA*, 29.09.2014, URL: <https://www.gia.edu/munsteiner-gem-cut>, дата обращения 20.09.2023

*Механизмы разрушения в процессе шлифования хрупких материалов и их применение в  
огранке ювелирных камней*

*Бородкина А.А.\* (Российский химикотехнологический университет им. Д.И. Менделеева,  
nastyab.23@yandex.ru),*

*Ахметшин Э.А. (Российский химикотехнологический университет им. Д.И. Менделеева,  
4966945@mail.ru)*

**Аннотация**

При шлифовании хрупких материалов разрушение, в зависимости от условий процесса, может происходить с доминированием различных механизмов, либо по малоизученному на данный момент механизму «выкрашивания», либо по механизму «микроскалывания», детально описанному в литературе. Учитывая закономерности работы механизмов разрушения в тех или иных случаях, можно оптимизировать технологические процессы абразивной обработки изменяя режимы шлифования, последовательность операций, что может применяться при огранке ювелирных камней. Это позволяет сократить время на обработку ювелирных камней отдельных случаях на 20 %.

**Ключевые слова**

Шлифование, огранка, оптимизация, механизм разрушения, абразивное воздействие.

**Теория**

Шлифование – важнейший промежуточный этап обработки во множестве отраслей промышленности: машиностроительной, медицинской, ювелирной при обработке камня и др. При этом шлифование поверхностей большой площади может занимать значительное время, поэтому задача оптимизации этого процесса является актуальной. В зависимости от механизма разрушения шлифуемого материала различается скорость обработки. Шлифованием называют процесс массового скоростного воздействия абразивных зерен, сцементированных в инструмент с помощью связки, на обрабатываемый материал, в результате чего происходит микрорезание (царапание) поверхностных слоев шлифуемого образца с образованием пластичного реза, стружки [4, 5]. В формировании стружки задействован только поверхностный слой материала. Однако при шлифовании хрупких твердых тел происходит хрупкое разрушение, последовательное удаление частиц материала путем «микроскалывания» их с поверхности и растрескивание поверхностных слоев с образованием структурно-нарушенного слоя (СНС) (рис. 1). СНС состоит из видимого шероховатого слоя и системы уходящих вглубь магистральных и оперяющих трещин (рис. 2). Разрушение приповерхностной структуры шлифуемого материала и формирование СНС – одни из основных параметров процесса обработки хрупких материалов шлифованием, что было продемонстрировано ранее в работах [1, 3].

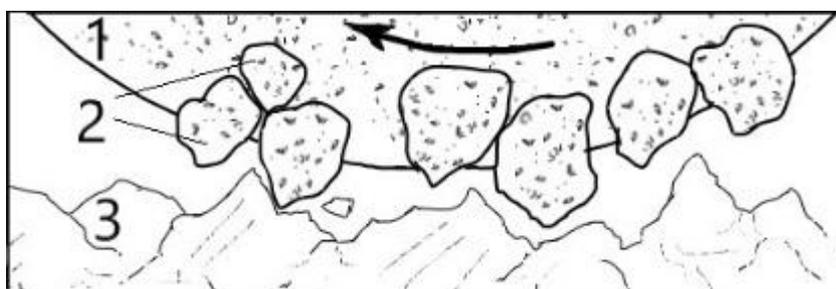


Рисунок 1. Модель шлифования хрупко разрушаемых материалов: 1 – планшайба; 2 – абразивные зерна; 3 – обрабатываемый материал

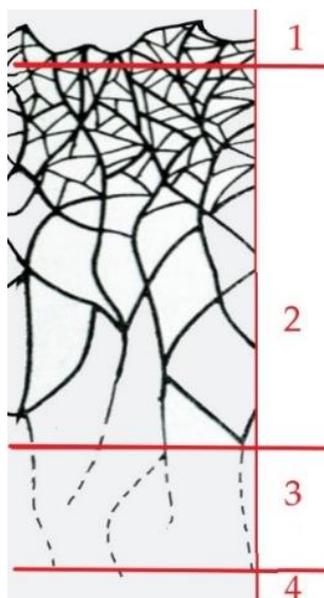


Рисунок 2. Модель сечения вертикального среза структурно-нарушенного слоя: 1 - рельефно-поликристаллическая зона; 2 - кристаллическая зона с трещинами; 3 - зона упругих напряжений и дислокаций; 4 - зона повышенной плотности дислокаций

Процесс шлифования определяется несколькими параметрами, одним из которых, влияющих на механизм разрушения при шлифовании, является размерность абразива. При использовании крупных зёрен абразива доминирует обнаруженный авторами механизм «выкрашивания», который заключается в формировании разветвленной сети крупных трещин СНС, отделяющих крупные (относительно частиц, скалывающихся с поверхности) блоки. При шлифовании безопорные блоки отделяются, за счет действия смазывающе-охлаждающих жидкостей и микровибраций при обработке (рис. 3) и составляют основной объем шлама. При малых размерах абразивных зерен преобладает механизм «микроскалывания», при работе которого скалываются частицы с поверхности, при этом величина СНС значительно меньше (рис. 4).

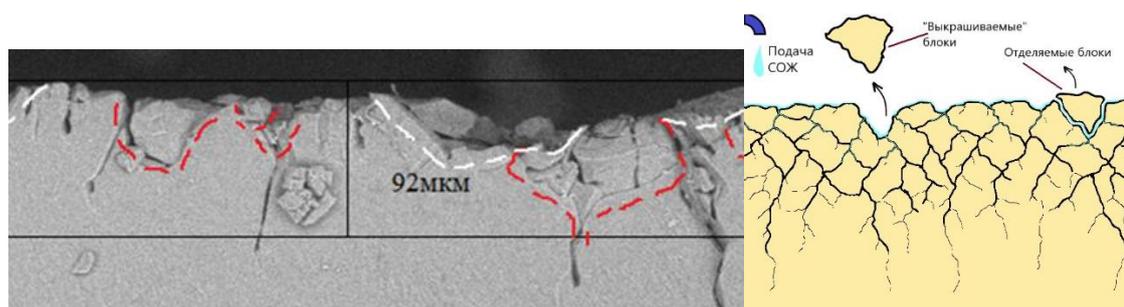


Рисунок 3. а) Снимок СНС кварца после шлифования на планшайбе 250/200. Белым пунктиром обозначены области «выкрашивания», красным пунктиром –блоки, отделенные по трещинам от основного тела, готовые к «выкрашиванию»; б) Модель процесса шлифования хрупких материалов по механизму «выкрашивания»

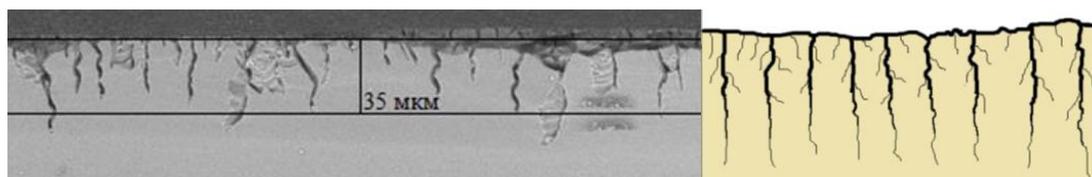


Рисунок 4. а) Снимок СНС кварца после шлифования на планшайбе 80/63; б) Модель процесса шлифования хрупких материалов по механизму «микроскалывания»

Переход от одного механизма разрушения к другому многофакторный. Помимо размерности абразивных зерен на него влияет удельная нагрузка – нагрузка на образец, отнесенная к единице его обрабатываемой площади. С ростом удельной нагрузки начинает преобладать механизм «выкрашивания», за счет чего растет объем удаляемого при шлифовании материала за то же время обработки. При использовании крупнозернистых абразивов объем сошлифованного материала с ростом удельной нагрузки резко возрастает, и такая зависимость будет принимать вид ветви параболы, в то время как при использовании мелкозернистых абразивов, размером менее 100 мкм, увеличение нагрузки не дает такого эффекта, так как в разрушении начинает преобладать механизм «микроскалывания». В этом случае рост удельной нагрузки приведет к постепенному выполаживанию получаемой зависимости. При шлифовании на планшайбе с размером абразивных зерен около 100 мкм зависимость скорости обработки от удельной нагрузки на образец будет линейной, так как два механизма будут работать совместно. Таким образом, используя на практике результаты исследований механизмов разрушения можно оптимизировать те или иные процессы обработки ювелирных камней.

Вопросы оптимизации процессов огранки рассматривались в работе [2] при изготовлении ограненных топазов классической бриллиантовой формы кр-57. Было выяснено, что применение схем с последовательностью обработки, начинающейся с граней наименьшей площади позволяет сократить затраты времени на огранку по сравнению с классической схемой (рис. 5). Однако явление было описано как феноменологическое, и причины таких закономерностей не объяснялись.

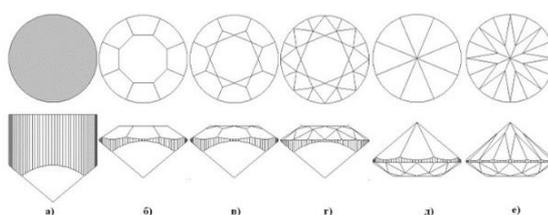


Рисунок 5. Последовательность обработки, начинающаяся с основных граней, где а) общий вид заготовки, б) шлифовка 8 граней короны, в) шлифовка не парных клиньев, г) шлифовка парных клиньев, д) шлифовка 8 граней павильона е) шлифовка парных клиньев павильона

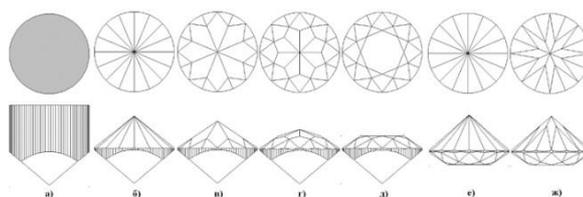


Рисунок 6. Последовательность обработки, начинающаяся с парных клиньев, где а) общий вид заготовки б) шлифовка 16 клиньев короны, в) шлифовка основных граней г) шлифовка не парных клиньев е) шлифовка парных клиньев павильона ж) шлифовка граней павильона

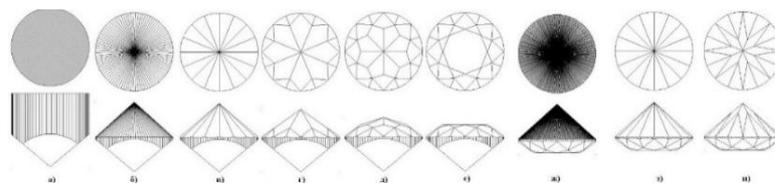


Рисунок 7. Последовательность обработки, начинающаяся с парных клиньев, где а) общий вид заготовки б) шлифовка 16 клиньев короны, в) шлифовка основных граней г) шлифовка не парных клиньев е) шлифовка парных клиньев павильона ж) шлифовка граней павильона

Возможность оптимизации процесса заключалась в применении режимов обработки с преобладанием разных механизмов послойного разрушения. Начало работы с граней меньшей площади позволило при постоянной приложенной нагрузке увеличить нагрузку на конкретную грань, соответственно возросла удельная нагрузка. С повышением удельной нагрузки механизм «выкрашивания» стал доминировать на «микроскалывании», увеличился объем удаляемого материала, и скорость процесса возросла. Данные схемы обработки показали одинаковые результаты при обработке анизотропных и изотропных материалов – топаза и фианита – что указывает на универсальность их применения для материалов с разными механическими свойствами. В зависимости от размера ограняемого камня время на обработку может снижаться на 18 % для камней диаметром от 7 мм. [2]

### **Выводы**

В процессе шлифования хрупких материалов могут работать разные механизмы разрушения: ранее неописанный механизм «выкрашивания» и механизм «микроскалывания». Механизм «выкрашивания» доминирует при шлифовании на крупнозернистых абразивах и заключается в образовании структурно-нарушенного слоя, отделении и «выкрашивании» блоков материала. В зависимости от поставленных задач, преследуемых в тех или иных этапах шлифования можно, управляя механизмами разрушения, оптимизировать определенные операции. Послойное разрушение путем «микроскалывания» преобладает в процессах шлифования с использованием абразивных зерен менее 100 мкм и малых удельных нагрузок, представляет собой скалывание частиц с поверхности. Для удаления большего объема сошлифованного материала имеет смысл применять режимы шлифования, обеспечивающие разрушение по механизму «выкрашивания», а для подготовки поверхности к последующей полировке – по механизму «микроскалывания», при работе которого, образования меньшего структурно-нарушенного слоя, но скорость такой обработки будет ниже.

### **Библиография**

1. Ахметшин Э. А., Бородкина А. А. Влияние механизмов разрушения в процессе шлифования на скорость огранки ювелирных камней // Геммология. Материалы десятой научной конференции. — Изд-во Томского ЦНТИ Томск: 2023. — С. 120–127.
2. Ахметшин Э. А., Давыдов С.С., Чередниченко А. Г. Оптимизация последовательности обработки ювелирных камней по схеме «Кр-57». – Геммология. Материалы IX научной конференции. – Сборник статей. – Томск, 2019. – 208 с.
3. Ахметшин Э. А., Казьмина К. В. Оптимизация процесса шлифования кварцсодержащих пород с использованием различных смазывающе-охлаждающих жидкостей // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – под ред. Г.Д. Першина. Вып.19. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. – 2019. – № 19. – С. 74–91.

4. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. – М.: «Машиностроение», 1974. –  
320 с.
5. Merchant M. E. Basic mechanics of the metal-cutting process. – 1944.

*Исследование ассортимента страз применяющихся в декорировании текстиля  
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**

Стразы являются дешевым аналогом ювелирным вставкам из дорогостоящего минерального сырья. Производство страз и декоративных вставок, применяющихся в ювелирной промышленности, происходит по одной и той же технологии и зачастую на одних и тех же предприятиях. Стразы применяются во многих предметах повседневного быта как декоративный элемент, но самая популярная сфера — это текстильная промышленность. В статье подробно рассмотрены самые часто встречающиеся виды строения и крепления страз к текстильным материалам, а также преимущества и недостатки использования конкретного вида.

### **Ключевые слова**

Крепление, стразы, декоративная отделка текстиля, драгоценные вставки.

### **Теория**

Декоративная отделка стразами. Стразы – это жесткие светоотражающие и светопреломляющие декоративные элементы, которые имитируют драгоценные камни, используемые для ювелирных украшений. Существует деление страз по методу крепления к текстильному полотну на: клеевые, пришивные и клепочные. Все фактуры, образованные декоративной отделкой стразами, обеспечивают блестящий визуальный эффект.

Стразы, применяющиеся не в ювелирной промышленности, изготавливаются из таких материалов как природное минеральное сырье, синтетическое минеральное сырье стекло, пластик.

Существует деление стеклянных клеевых страз, который отличаются по способу производства, материалу страза и материалу клеевой подложки [2]. Первый тип страз по производителю – это Австрийские производства (всемирно известный бренд Swarovski (Сваровски)). Swarovski производит стразы, подвергнутые полностью машинной огранке по всему объему декоративного элемента, из качественного стекла, которое по химическому составу ближе к синтетическому хрусталу или фианиту и с прочным клеевым слоем зеленого цвета. Второй производитель – корейские производства. Стразы производятся из качественного стекла, используется прочный зеленый клей, как и в случае с продуктами Swarovski [5]. Стоит отметить, что в случае с материалами корейского производства машинной огранке подвергаются только две грани декоративного элемента - передняя и задняя. За счет использования корейскими производителями качественного стекла, но не хрусталя как Swarovski и машинную огранку только верхней и задней площадки значительно теряется блеск [3]. Еще одна группа производителей это – Китайские заводы и их стандарты продукции, основная особенность этих стразов – стекло еще более низкого качества чем у Корейских производителей [2]. Показатель преломления и качество продукции еще ниже. Стразы выпускаются литьем по пресс-форме, и, как правило, используется дешевый и менее прочный светлый клей.

Клеевые стразы имеют определенное строение чтобы было возможно прочно соединить декоративный элемент с поверхностью декорируемого материала. Стоит отметить, что клеевые стразы можно крепить не только на ткани и прочих текстильных изделий, но и на жесткие негнущиеся поверхности, не относящиеся к текстильной промышленности. Ювелирные камни имеют особенную форму сверху располагается “корона” снизу грани образуют “шип” или как его еще называют: павильон, павильон и шип разделяет тонкий поясок, который называется

рундист [5], за счет такой конфигурации декоративный элемент не представляется возможным прикрепить на поверхность с использованием клея, поэтому форму преобразовали “срезав” шип что дало большую поверхность для клеевого соединения. В итоге преобразования от классической ювелирной формы огранки осталась только корона и рундист. Страз состоит из граненой отражающей призмы, отражающего слоя и клеевого слоя. Нижняя площадка несет функцию опорной поверхности, за счет которой происходит приклеивание страза. Между рундистом и клеевым слоем располагается отражающий слой. Чтобы предотвратить потерю света на нижнюю площадку наносится отражающий слой. Для усиления отражения света прибегают к огранке самого рундиста, который будет усиливать игру света и картину отражений в стразе. Декоративные стразы могут быть любых форм, типов огранок цветов материала и с различными поверхностными покрытиями, это нисколько не препятствует успешному креплению на декорируемую поверхность.

Пришивные стразы бывают двух видов: в оправе и без оправы. Стоит отметить, что стразы, предназначенные для пришивного метода крепления можно крепить только на материалы к котором возможно пришить. Пришивные стразы без оправы по общей форме ничем не отличаются от клеевых. Крепление осуществляется за счет пришивного метода через отверстия [4]. Пришивные стразы так же обладают отражающим слоем, без которого декоративные элементы утратят блеск. Отверстия для крепления либо выплавляются сразу с формой, либо высверливаются отдельно.

Пришивные стразы в оправе имеют другое строение самого отражающего элемента если его сравнивать с строением пришивного элемента с отверстиями или клеевого страза. Использование оправы позволяет не пренебрегать светоотражением ради прочного крепления, поэтому стразам придают форму такую же, как и для ювелирных вставок. Строение декоративной вставки с правильными пропорциями, рассчитанными для каждого конкретного прозрачного твердого материала в зависимости от показателей преломления позволяет соблюдать закон полного внутреннего отражения. Закон полного внутреннего отражения для декоративных вставок позволяет максимально раскрыть отражающую способность и как ее следствие блеск.

Оправы или как их еще называют цапы или касты для пришивного метода крепления декоративных элементов производятся из листового металла. Оправы состоят из углубления (посадочного места для страза), лапок, которые загибаются на корону страза чтобы его закрепить в посадочном месте и отверстия в нижней части оправы для возможности крепления пришивным методом. В ювелирной промышленности оправы для декоративных вставок называются кастами [6]. На листе металла прорубаются заготовки, а потом им придают объемную форму под прессом. Штампованные оправы имеют тонкие стенки за счет чего обеспечивается легкость, что очень положительно отражается на декорируемом материале не утяжеляя его, однако есть недостаток: тонкий металл легко мнется и гнется, ели края оправы зацепляются, например, за нить. Самое слабое место в штампованных оправках – это лапки, которыми прижимается страз в углублении оправы, они легко отгибаются. Встречаются единичные случаи применения цельных, литых оправ для светоотражающих декоративных вставок в текстильной промышленности. Существуют модификации пришивных страз в оправках, которые соединены в ленту или цепочку, предназначаются тоже для пришивного метода крепления. Оправы как правило изготавливаются из коррозионностойкого металла чтобы продуктами окисления не загрязнять окружающий материал. Готовые оправы и цепочки могут быть покрыты гальваническим покрытием, пленками или лаком для улучшения эстетических свойств и защиты от механических повреждений.

Существуют декоративные элементы, в которых задействован пришивной и клеевой метод одновременно. Они представляют собой клеевой страз и металлическую или пластиковую площадку с петелькой для крепления (рис. 1). На фотографии отчетливо виден желтый клей, которым осуществляется крепление составных частей. Такой частный вид страза можно

использовать как пуговицы. Целесообразность данного технического решения не ясна, т.к. оно не решает проблему повышения блеска и прочность соединения элементов.



Рисунок 1. Пришивные стразы на ножке с петелькой

Редко встречаются стразы в оправках, скрепленные соединительными элементами в большой листовой материал, получается что-то наподобие кольчуги со стразами в оправе в промежутках между звеньями. Ткань можно разрезать на части нужной формы по соединительным элементам, не затрагивая стразы.

Существует рулонный текстильный материал, представляющий из себя сетку, в перекрестьях которой располагаются стразы. Стразы закреплены в оправы, которые в свою очередь припаяны или приклеены к сетке.

Сетка с имитацией страз, где вместо страз используется вогнутый пластиковый элемент, закреплённый на перекрестьях сетки клеевым методом или термическим наплавлением на перекрестье легкоплавкий пластик. Имитация осуществляется вогнутой поверхностью пластикового элемента, изнутри декорированной гранями. На вогнутую поверхность наносится металлизированная краска или пластиковый элемент сразу изготавливается из блестящего пластика.

Декоративная отделка клепками как правило используется локально на небольших участках одежды или текстильного полотна, чаще точечно для того, чтобы усилить соединения составных частей одежды [1]. В клепках используются стразы объёмные с павильоном, в низкокачественных продуктах можно встретить плоские стразы с срезанным павильоном. Редкое применение обусловлено тем, что существует возможность повредить отражающий декоративный элемент во время закрепления на текстильном полотне либо одежде. Стразы крепятся в клепках при помощи клея или завальцовывания. Клеевое крепление страза не обеспечивает прочное соединение с клепкой. Соединение осуществляется либо нажимом, либо ударом. Воздействие нагрузки на страз с большой вероятностью может повредить его. Декоративную отделку с браком придется списывать или рассоединять обе части клепки и ставить новую.

Компания Swarovski представила классический вариант заклепок с стразами Gemotion и Gemdropio, но выполненные из сплавов драгоценных металлов и с возможностью использования дорогих огранённых природных минералов [2].

Декоративный материал фирмы Swarovski под названием Crystal Fabric разработанный в 2003 году представляет из себя листовой декоративный материал из прозрачного, прочного и эластичного термопластичного полимера, в структуру которого введены маленькие огранённые кристаллы. Кристаллы вплавлены в листовой полимер за счет чего прочно держатся, но могут происходить утраты элементов. С помощью нагрева ткань можно соединять с тканями материалами [2], так же декоративный материал можно соединять сшива на швейной машине.

## **Выводы**

Существует широкий ассортимент страз с разными вариантами форм и методами крепления, но при всем широком ассортименте декоративных вставок и методах крепления не всегда получается решить одновременно проблему прочного крепления и высоких показателей

светоотражения. Использование дорогостоящих кристаллических материалов с высокими показателями отражения редко в силу отсутствия надежных методов крепления и желания производителей удешевить продукцию.

### **Библиография**

1. Баринов, О. Ю. История и эволюция культуры деним и джинсовой индустрии / О. Ю. Баринов // Вестник Российской академии естественных наук (Санкт-Петербург). – 2015. – № 2. – С. 143-148.
2. Белгородский В. С., Кирсанова Е. А., Мишаков В. Ю. Инновации в материалах легкой промышленности: учебное пособие – М.: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2017. – 170с.
3. Кирсанова Е.А., Звягинцев С. В. Дизайн отделки швейных изделий. ИИЦ МГУДТ. 2008–192с.
4. Кожнина, Г. Стразы как элемент декора / Г. Кожнина // Швейная промышленность. – 2008. – № 1. – С. 25-26.
5. Миронова, Н. В. Проблемы декорирования тканей факетированными вставками природного геологического и синтетического происхождения / Н. В. Миронова, Е. А. Кирсанова // Новые идеи в науках о Земле: Материалы XV Международной научно-практической конференции: в 7 т., Москва, 01–02 апреля 2021 года. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. – С. 267-269.
6. Рид, П. Г. Геммология / П. Г. Рид; Пер. с англ. Е.А. Седовой; Под ред. Ю.П. Солодовой. – Москва: Мир, 2003. – 366 с. – ISBN 5-03-003369-6.

*Особенности размещения месторождений бирюзы в Таджикистане  
Восихов Ш.Т.\* РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, shohrukh992v@mail.ru),  
Литвиненко А.К. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, ak11954@yandex.ru)*

**Аннотация**

Бирюзовая минерализация в Таджикистане, известно с IX–XI века. Она в основном расположена на юго-западных склонах Кураминского (металлогеническое название Кармазар) и северных склонах Туркестанского хребта.

Рассмотрено геологическое строение месторождения и проявлений бирюзы, генетические связи с рудоконтролирующими разломами и гидротермальным процессом.

**Ключевые слова**

Бирюза, Кармазар, Бирюзакан, Туркестанский хребет, вулканические породы, кварцевые жилы.

**Теория**

Проявления и месторождения бирюзы в Таджикистане известны с древнейших времен, о чём свидетельствуют отработанные, многочисленные старые горные выработки. Одно месторождение бирюзы Бирюзакан и четыре проявления: Бирюзасай, Шорбулак, Кармазар и Кызылташ расположены на южных склонах Кураминского хребта. Эти проявления локализируются вдоль Бирюзового разлома и генетически связаны с месторождением Бирюзакан. Вторая группа проявлений бирюзы находится на северных склонах Туркестанского хребта и представлена проявлениями Самаркандек и Исфара [1].

Бирюзоносный регион Таджикистана входит в состав Среднего Тянь-Шаня – каледонская структура (Бирюзакан, Бирюзасай, Шорбулак, Кармазар и Кызылташ) и Южного Тянь-Шаня (проявления Самаркандек и Исфара) – герцинская структура (рисунок 1).

Месторождение и проявления бирюзы выделены Т.И. Менчинской в кураминский тип, представляющий залежи бирюзы в вулканитах [3,4]. Они размещены в центральной части района Кармазара, ограниченного глубинными разломами северо-восточного простирания, которые в большинстве случаев являются рудоконтролирующими структурами известных месторождений полиметаллов, золота, серебра, вольфрама и др. Проявления бирюзы Туркестанского хребта локализованы в пределах Шурабвуадильского и Зааминкаравшинского разломов широтного простирания (рисунок 1).

Впервые в 1938 году месторождение Бирюзакан посетил Б. И. Наследов, который в результате своих исследований назвал этот объект Бирюзаканом. Комплексное изучение и исследование месторождения началось в 1963-1964 годах и продолжалось до 1984 года [3,4]. Бирюзакан расположен на южных склонах Кураминского хребта, в 8 км от пос. Кансай, в 29 км к северо-востоку от г. Худжанд. В административном отношении месторождение Бирюзакан относится к Бободжон Гафуровскому району Северного Таджикистана.

Район месторождения Бирюзакан входит в состав Юго-Западного Кармазара, формировавшегося в течении трёх этапов тектогенеза: каледонского, герцинского и альпийского. В результате длительного времени формирования района, это привело к развитию большого разнообразия осадочных, вулканогенных и интрузивных образований. В геологическом строении района месторождений участвует 6 свит: нижне- среднекаменноугольной, нижне-верхнепермской и нижнетриасового возраста:

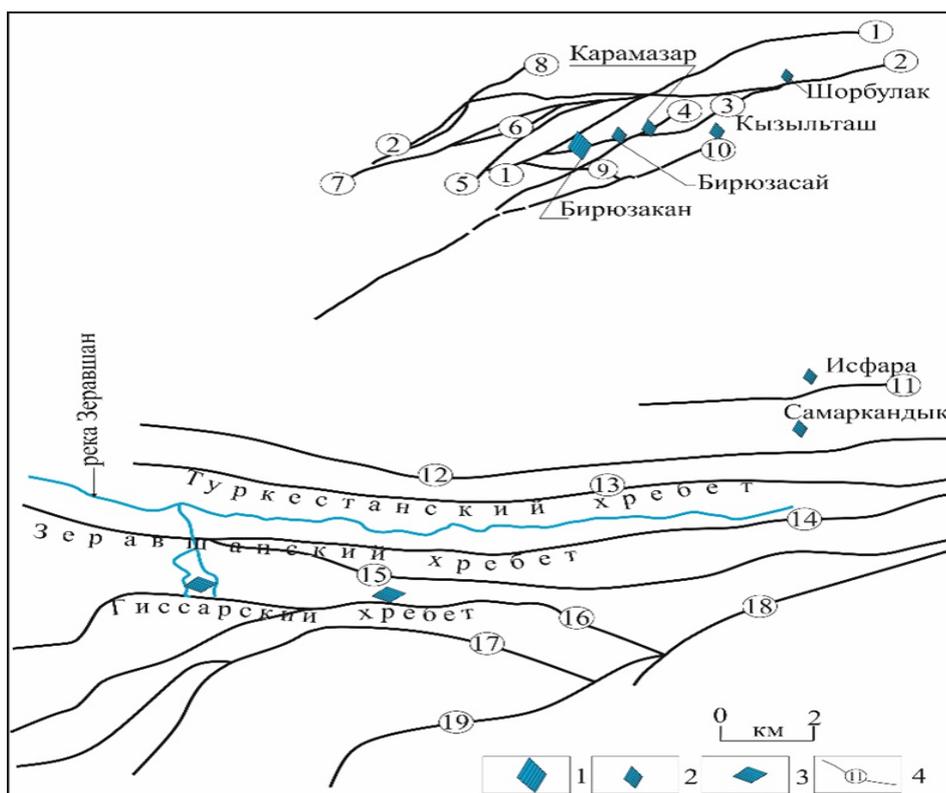


Рисунок 1. Карта размещения месторождений и проявлений бирюзы. Составлена с использованием геологической карты масштаба 1:200000 из отчёта В.Н. Байкова и др., 1968. 1 – месторождение бирюзы, 2,3 – проявления: 2 – бирюзы, 3 – варисцита, 4 – разломы и их номера: 1) Тарыжанский, 2) Баштавакский, 3) Бирюзовый, 4) Кошмулинский, 5) Канджольский, 6) Токмакский, 7) Редкометальный, 8) Алтынтопканский, 9) Оккурдаванский, 10) Кызылтурский, 11) Шурабвуадильский, 12) Зааминкаравшинский, 13) Туркестано-Алайский

Минбулакская ( $C_1 mb$ ), акчинская ( $C_2 ak$ ), надакская ( $C_2-C_3 nd$ ), шурабсайская ( $P_1 sch$ ), равашская ( $P_2 rv$ ), кызылнуринская ( $T_1 kz$ ). Минбулакская свита сложена андезитовыми порфирами и их туфами, общей мощностью 1,1 – 1,5 км. На минбулакской свите с несогласием налегает акчинская, она представлена, в основном, туфо-дацитовыми порфиритами, липарито-дацитовыми порфирами, дацитовыми порфирами, андезито-дацитовыми порфиритами с прослоями туфогенно-осадочного материала, общей мощностью до 1,3 км. Отложения этой свиты являются вмещающими для месторождения бирюзы Бирюзакан.

Надакская свита ( $C_2 -C_3 nd$ ) представлена тремя подсвитами: нижненадакской ( $C_2-C_3 nd^1$ ) – сложена конгломератами, туфопесчаниками, андезитовыми порфиритами; средненадакская ( $C_2 -C_3 nd^2$ ) – состоит только из липаритовые порфиритов и их туфов; верхненадакская ( $C_2 -C_3 nd^3$ ) – представлена туфами липарито-дацитовых, андезито- дацитовых порфиритов. Свита несогласно перекрывает акчинскую свиту, и в свою очередь несогласно прекрывается шурабсайской свитой нижнепермского возраста. Её общая мощность достигает 1,5 км.

Шурабсайская свита ( $P_1 sch$ ) представлена тремя подсвитами: нижешурабсайской ( $P_1 sch^1$ ), которая сложена андезитовыми и андезито-дацитовыми порфирами и их туфами; среднешурабсайской ( $P_1 sch^2$ ) – сложена туфами, туфолавами фельзитовых порфиритов и лавобрекчиями фельзитов; верхнешурабсайская ( $P_1 sch^3$ ) – представлена исключительно андезитовыми порфиритами, с прослоями туфогенного материала. Общая мощность свиты достигает 0,6 км.

Верхний отдел пермской системы представлен осадочно-вулканогенной толщей равашской свиты, в районе выделена только одна верхнеравашская подсвита. Верхнеравашская подсвита ( $P_1 \text{rv}^2$ ) представлена конгломератами, туфами кварцевых порфиров, общей мощностью до 0,4 км. Кызылнуринская свита ( $T_1 \text{kz}$ ) сложена исключительно кислыми породами – кварцевыми порфирами, фельзитами, фельзит-порфирами, мощность её достигает 0,15 км.

Интрузивные образования района сформировались в течение герцинского этапа тектогенеза, проявившегося по времени от нижнего карбона до нижнего триаса. Комплекс интрузивных пород характеризуется большим разнообразием. Оно представлено от диоритов, кварцевых диоритов, сиенито-диоритов, гранодиорит-порфиров, гранодиорит-аплитов, микрогранитов, кварцевых порфиров, фельзит-порфиров, граносиенит-порфиров и диабазовых порфиритов.

Месторождение Бирюзакан приурочено к висячему боку Бирюзового разлома и имеет генетическую связь с ним. Разлом представляет собой крупный дизъюнктив северо-восточного простирания, протяженность порядка 45 км. Разлом на поверхности месторождения чётко выражен и на большом протяжении его центральную часть выполняет кварцевая жила мощностью до 20 м. Площадь месторождения чётко выделяется на фоне тёмных пород максимальным осветлением, обусловленным интенсивным окварцеванием вулканитов, превращённых в кварциты (рисунок 2).



Рисунок 2. Вид на месторождение бирюзы Бирюзакан с юга. Цифрами показаны три участка месторождения, пунктирная линия – Бирюзовый разлом, выше разлома светлое пятно – кальцитовые мраморы

Бирюзовая минерализация тесно связана с кварцевыми жилами, расположенными во вторичных кварцитах. В пределах месторождения выделяются четыре генерации жильного кварца: 1) массивный крупнозернистый молочно-белый, до бирюзовый кварц; 2) бирюзоносный светло-серый, полупрозрачный кварц (рисунок 3а); 3) горный хрусталь, который нередко окаймляет линзовидные включения бирюзы, а местами густо прорастает в краевых частях и проникает внутрь по трещинам (рисунок 3б); 4) наиболее поздний хальцедоновидный кварц. Бирюза, в основном, ассоциирует с кварцем второй генерации. В кварце третьей генерации наблюдается парагенетические сростки кристаллов горного хрустала с бирюзой с индукционными поверхностями. Поскольку кварц имеет гидротермальное происхождение, можно с уверенностью сказать, что бирюзовая минерализация на Бирюзакане имеет гидротермальный генезис. Бирюза месторождения Бирюзакан по своим качественным условиям является самой лучшей среди бывших республик СССР [2].



Рисунок 3. Сочетание бирюзы с различными генерациями кварца: А – кварц 2-й генерации; Б – 3-ей генерации

Проявления Самаркандек расположено в 13 км юго-западнее г. Исфары вдоль Шурабвуадильского разлома (рисунок 1). Бирюзовая минерализация в Самаркандеке приурочено к тонкослоистым известнякам с прослоями кремнистых сланцев нижнего палеозоя. Зона минерализация прослеживается около 2,5 км. Бирюза образует плоские межпластовые линзы мощностью 0,5 – 20мм. Проявлению Исфара находятся в 5 км юго- западнее г. Исфары, севернее Шурабвуадильского разлома. По геологической обстановке похож на проявлениями Самаркандек. Бирюза в виде прожилок, пленок и примазок приурочено к брекчированными тонкослоистыми кремнистыми сланцам нижнего карбона [2].

#### **Выводы**

- 1) Обобщены материалы о всех известных месторождениях и проявлениях бирюзы, и составлена карта размещения бирюзы территории Республики Таджикистан.
- 2) Приведен фотоплан месторождения Бирюзакан. 3) На основе парагенетических соотношений и индукционных поверхностей обоснован гидротермальный генезис бирюзовых залежей.

#### **Библиография**

1. Геология СССР. Таджикская ССР. М.: Научно-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр. 1959. Т. XXIV. Ч. I. 732 с.
2. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Изд-во Земля. Ассоциация ЭКОСТ. 2000. 583 с.
3. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра. 1981. 159 с.
4. Менчинская Т.И. Бирюза. М.: Недра. 1989. 192 с.

*Исследование природы окраски амазонита  
Черевастова А.Д.\* (МГРИ, [cherevastova@mail.ru](mailto:cherevastova@mail.ru)),  
Ерофеева К.Г. (МГРИ, ИГЕМ РАН, [xenin.erofeeva@ya.ru](mailto:xenin.erofeeva@ya.ru))*

**Аннотация**

В докладе будут представлены результаты исследования амазонита для оценки влияния его структуры и микропримесного состава на природную окраску минерала.

**Ключевые слова**

Амазонит, окраска, микроструктура, РАМАН, катодоллюминесценция.

**Теория**

Амазонит – представитель калиевых полевых шпатов (микроклинов) голубовато-зеленого цвета. Цвет амазонита сильно выделяется оттенком среди других цветов минералов - представителей группы микроклина, поэтому его используют в качестве недорогого поделочного камня для изготовления украшений, художественных поделок, в инкрустациях.

Исследованием природной окраски амазонита занимались такие исследователи, как В.М. Гольдшмидт, Н.П. Капустин, Э.Н. Елисеев, К.К. Жиров, А. Я. Вохменцев. [1] В настоящее время существует две гипотезы сине-зелёного цвета амазонита: (1) присутствие ионов оксида железа (Елисеев, 1949); (2) присутствие ионов свинца (Жиров, 1959).

Для исследования связи цвета амазонита с его структурой и химическим составом комплексом современных рентгено-структурных и геохимических методов были выбраны три представительных образца разных сине-зеленых оттенков из пегматитов разных месторождений: Орловское, Забайкальский край (обр. Zab); гора Плоская, Кольский полуостров (обр. Kola); Анцирабе, о-в Мадагаскар (обр. Mad1, Mad2). Самый тёмный оттенок и ярко выраженный полосчатый вид имеет обр. Kola, самый светлый – Zab, а обр. Mad1 и Mad2, отобранные из одного месторождения, имеют различный оттенок (Рис. 1).

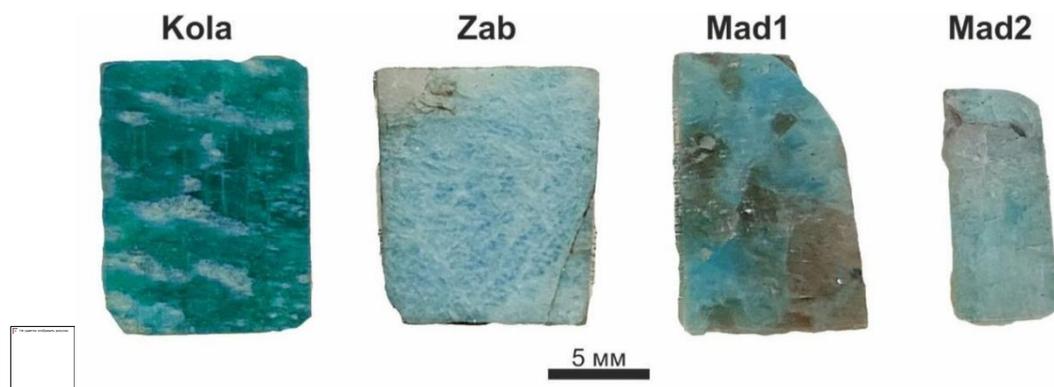


Рисунок 1 Исследуемые образцы амазонита

Для изучения структуры амазонита был использован метод рамановской микроскопии (RAMAN) с использованием рамановского анализатора R532 в центре коллективного пользования "Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм" Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ЦКП ИФЗ РАН). Определение химического состава амазонита проводилось на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA LMS в ЦКП ИФЗ РАН. Определение редких и рассеянных элементов проводилось методом LA-ICP-MS лаборатории химико-аналитических исследований геологического института РАН. Для лазерного отбора пробы использовалась система лазерной абляции NWR-213 (Electro Scientific Ind.), совмещенная с

магнито-секторным ICP-MS Element2 (Thermo Scientific Inc.). Катодолюминесцентные изображения амазонита были получены в Центре коллективного пользования “ИГЕМ-Аналитика” (г. Москва) с использованием рентгеноспектрального микроанализатора Camasa MS-46, оборудованного CCD цифровой камерой высокого разрешения Videoscan 285.

Все изученные образцы амазонита имеют близкие RAMAN-спектры, соответствующие таковым для микроклина. В области пика 514, типичного для микроклина, в изученных образцах фиксируются незначительные сдвиги в область 512. Вероятно, это может быть связано с ориентировкой кристаллов в области съемки.

На изображениях, сделанных в режиме обратно-отраженных электронов (BSE) в обр. Kola (Рис.2А) в амазонитовой матрице ( $Ab_{0-100}Or_{100-0}$ ) фиксируются параллельные мелкие (размером до 100 мкм) включения альбита ланцетовидной формы, ориентированные по оси роста кристалла. Также в образце отмечается большое количество мелких включений, содержащих Pb (Рис.2А). Микроструктура обр. Zab ( $Ab_{0-99}Or_{100-1}$ ) неоднородна, что выражается на BSE-изображениях параллельными, реже перекрестными вытянутыми областями более темного цвета (Рис.2Б). В образце фиксируются мелкие (до 100 мкм) параллельные включения альбита, распространенные локально в объеме кристалла-хозяина, а также крупные (больше 100 мкм) включения кварца, которые формируют изометричные вросстки, имеют неровные контакты с минералом-хозяином, и незакономерно распространены в последнем. Микроструктуры обр. Mad1 и Mad2 также различается. В обр. Mad1 в амазонитовой матрице ( $Ab_{2-100}Or_{0-98}$ ) распространены темные ланцетовидные вросстки альбита размером до 150 мкм, ориентированные по грани роста кристалла-хозяина, а также параллельные им мелкие светлые пятна (Рис. 2В). Расстояние между вростками альбита составляет около 50 мкм.

В обр. Mad2 (Рис.2Г) в амазонитовой матрице ( $Ab_{1-99}Or_{99-1}$ ) аналогично Mad1 распространены темные ланцетовидные вросстки альбита, гораздо меньшего размера (около 10 мкм), включения кварца по форме выделения и характеру взаимоотношения с минералом-хозяином близки к таковой, наблюдаемой в обр. Zab. В качестве включений во всех образцах присутствует апатит, циркон и биотит.

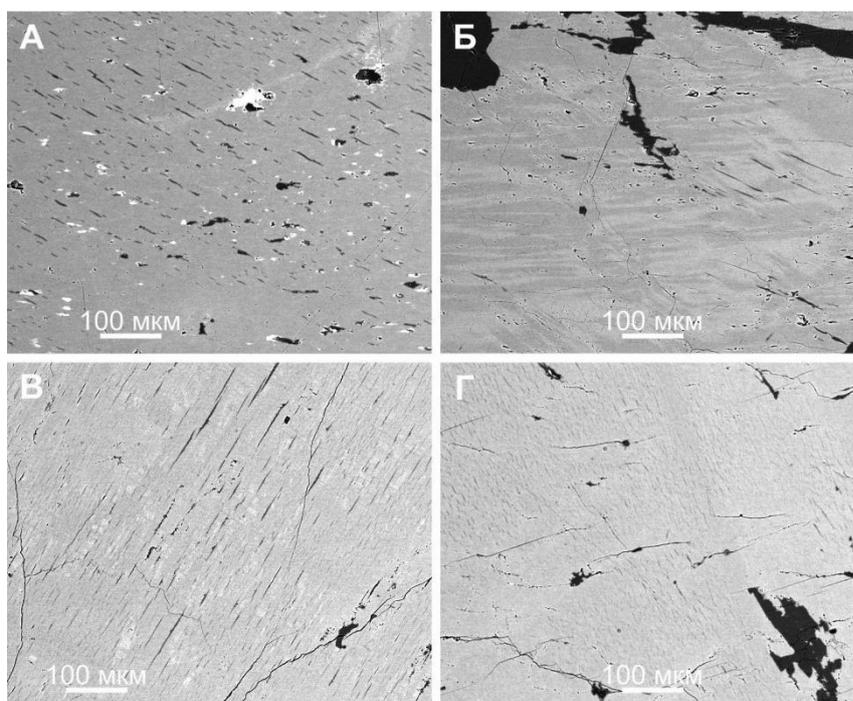


Рисунок 2 BSE-изображения микроструктуры изученных образцов амазонита:  
А - обр. Kola, Б - обр. Zab, В - обр. Mad1, Г - обр. Mad2

Катадолюминисценция (CL) – люминесценция, возникающая при возбуждении вещества потоками электронов, ускоренных внешним электрическим полем [4]. Люминесценция в калиевых полевых шпатах может быть обусловлена структурными дефектами типа Al-O-Al. [6] Химическими элементами, которые могут быть активаторами люминесценции, являются Ti, Tl, Pb, Cu. [5]

Для амазонита обр. Kola характерно практически полное отсутствие (черный цвет) люминесценции за исключением локальных тонких волнообразных областей и вытянутых зон с ярким CL свечением (Рис. 3А). CL-изображения обр. Zab в целом повторяют его особенности микроструктуры (Рис. 3Б), наблюдаемой на BSE-изображениях (Рис. 2Б). В амазонитовой матрице с CL свечением фиксируются параллельные и поперечные области, пересекающиеся под углом  $\sim 90^\circ$ , без видимой CL. Образцы Mad1 (Рис.3В) и Mad2 (Рис.3Г) имеют различное проявление люминесценции. Для Mad1 характерны более яркие и крупные области свечения, а также более бледное рассеянное свечение по всей площади образца. Mad2 имеет более локальные и менее яркие области свечения, также мы фиксируем большое количество темных областей и слабое рассеянное свечение.

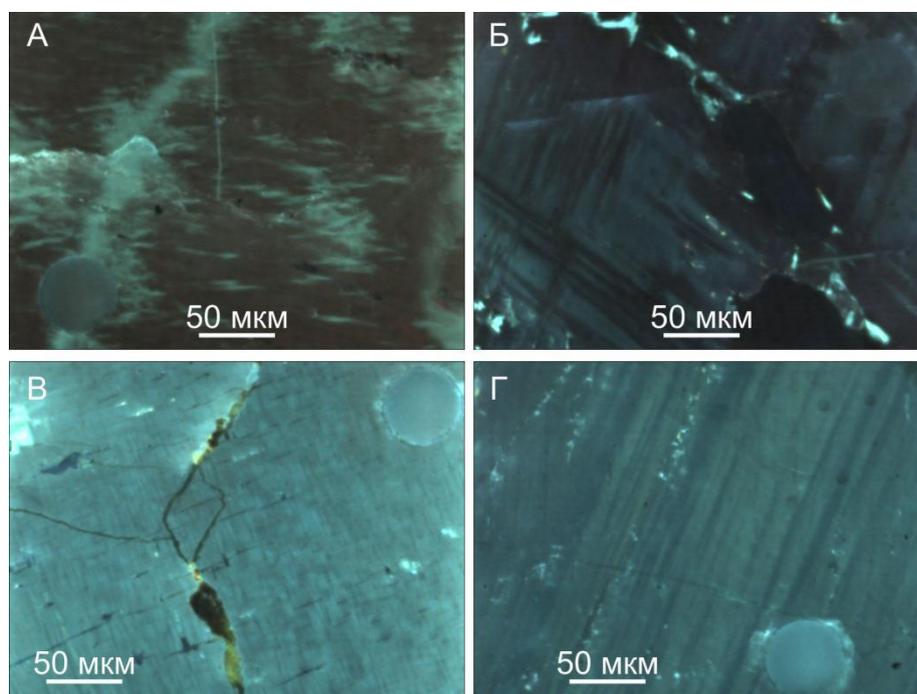


Рисунок 3 Изображения катадолюминесценции изученных образцов амазонита:  
А - обр. Kola, Б - обр. Zab, В - обр. Mad1, Г - обр. Mad2

В образцах фиксируются контрастные различия в содержании микропримесных элементов. Обр. Kola имеет наибольшие содержания Be (от 8,33 до 16,4 г/т), Fe (от 105 до 255 г/т), Pb (от 1255 до 2347 г/т) и Rb (от 812 до 2139 г/т) и наименьшие – Li, B (от 15,4 до 19,5 г/т), Ga (от 52,1 до 61,7 г/т), Ge (от 2,51 до 4,47 г/т), La (от 0,02 до 0,07 г/т), Ce (от 0,02 до 0,08 г/т) и Tl (от 16,6 до 20,6 г/т). Содержание большинства микропримесных элементов в обр. Mad1 и Mad2 близки, в том числе содержание Fe и Pb (в Mad1 от 16 до 48,3 г/т, в Mad2 от 28,5 до 31,8 г/т). Обр. Zab имеет близкие содержания Be, Rb, Ce, Tl, Pb с таковыми в обр. Mad1 и Mad2. При этом в нем фиксируются медианные значения содержаний B (от 17,8 до 26,9 г/т), La (от 0,08 г/т до 0,19 г/т), Ga (от 55,5 г/т до 71,0 г/т), Ge (от 4,81 г/т до 7,05 г/т) и наименьшие – Ba (от 2,90 до 11,1 г/т), Li (от 2,10 до 5,5 г/т), Sr (от 0,17 до 1,06 г/т), Cs (от 47,8 до 84,0 г/т). Вероятно, подобные различия в составе амазонита связаны с генетической природой их расплавов/растворов.

### **Выводы**

Результаты проведенных исследований позволили зафиксировать в изученных амазонитах разницу в их кристаллической структуре, микроструктурных особенностях, химическом составе. Последнее, на наш взгляд, является ключевым, так как именно химический состав минерала влияет на его кристаллическую решетку, характер катодоллюминесценции, микроструктурные особенности. Основное различие амазонитов зафиксировано на уровне содержаний микропримесей Pb, Fe, Be (повышенное содержание в обр. Kola). Данные элементы являются хромофорами, а Fe выступает в качестве центра гашения люминесценции. Tl в образцах Mad1, Mad2, Zab является центром люминесценции.

### **Библиография**

1. Амазонит. А.Я. Вохемцев, М. Н. Остроумов. М.: Недра, 1898, 192 с.
2. Жиров К.К., Стишов С.М., Рыжиков Б.Д. О происхождении окраски амазонитов. Геохимия, 1959, №8.
3. М.М. Филиппов Рамановская спектроскопия как метод изучения глубоко углефицированного органического вещества. часть 1. основные направления использования Труды Карельского научного центра РАН № 1. 2014. С. 115–134
4. Тарашан А.Н. Люминесценция минералов. К., «Наук. думка», 1978, 296 с.
5. Application of Cathodoluminescence to The Study of Feldspars: Imaging and Spectrometry Rute Fonseca and Helena Couto 2017
6. High-Resolution Cathodoluminescence Studies of Feldspar Minerals Jens Gotze, Matthias r. Krbetschek, Dirk Habermann, Dieter Wolf

*Проблематика определения термина «янтарь» в специальных литературных источниках  
Тупикова И. С.\* (МГРИ, студент [iriska.shokolad@mail.ru](mailto:iriska.shokolad@mail.ru)),  
Научный руководитель Романова Екатерина Ивановна (МГРИ, старший преподаватель,  
[eiromanova@hotmail.com](mailto:eiromanova@hotmail.com))*

### **Аннотация**

Янтарь известен человеку ещё с древнейших времён и интерес к нему не утихает и по сей день, вследствие расширения областей его применения. Однако, при изучении научной литературы, посвящённой янтарю, читатель может столкнуться с проблемой толкования самого термина «янтарь». По сей день даже в специальной литературе нет однозначного определения данному понятию. Таким образом, становится очевидной необходимость изучения вопроса толкования данного термина.

Настоящая работа является попыткой обобщения имеющихся литературных данных о янтаре. Уже первые шаги в изучении данного вопроса позволили выяснить, что существует два основных мнения, касательно терминологии слова «янтарь». Так, в некоторой литературе данный термин используется для обозначения любых макроскопически различимых зёрен и желваков прозрачных или полупрозрачных ископаемых смол преимущественно жёлтого цвета. В иных же источниках смысловое содержание понятия «янтарь» сужается до обозначения ископаемой смолы, встречающейся исключительно на побережье Балтийского моря. Подобные расхождения в понятии одного термина могут повлечь за собой путаницу и дезинформацию при дальнейших исследованиях. Вследствие этого, представляется логичным необходимость не только определения самого термина, но и выявления признаков, по которым проводится классификация ископаемых смол.

### **Ключевые слова**

Янтарь, сукцинит, ископаемые смолы, терминология, классификация.

### **Теория**

Янтарь является одним из самых популярных ювелирно-поделочных материалов. Об этом камне написано немало научных трудов, но, несмотря на это, до сих пор нет единого мнения о том, какие же ископаемые смолы следует относить к янтарю. Подобная проблема нередко приводит к дальнейшей дезинформации и порождает всё большие расхождения среди исследователей. Вследствие этого, автор считает необходимым изучить и систематизировать представленные в научных трудах данные, которые связаны с проблематикой классификации ископаемых смол.

Проведён литературный обзор специальной геологической и минералогической литературы. Данное исследование было осложнено тем, что несмотря на наличие обширной литературы о янтаре, предметом большинства исследований являются так называемые «инклюдзы» - остатки флоры и фауны, заключённые в массе ископаемой смолы и представляющие большой интерес с палеонтологической точки зрения. При этом, самому понятию «янтарь» уделяется крайне мало внимания.

**Цель работы:** обобщить имеющиеся литературные данные о янтаре чтобы определить, по каким признакам исследователи относят те или иные ископаемые смолы к янтарю.

Издrevле янтарём называли ископаемую смолу, добываемую на берегах Балтийского и Северного морей. Долгое время основным признаком отнесения тех или иных ископаемых смол к янтарю являлись физические свойства, такие как цвет, горючесть, способность к электризации при трении. Таким образом, любые ископаемые смолы, по совокупности признаков похожие на янтарь, считались таковым. Этот принцип отражают работы Петрова В. С. [7], Юшкина Н. П. [15] и др.

В 1936 году Н. А. Орловым и В. А. Успенским [7] была предпринята попытка классифицировать ископаемые смолы – в основу классификации легло разделение смол по химическому составу. По этому признаку ископаемые смолы были разделены на три семейства:

1. Янтаря (сукцинит) и янтареподобных смол (румэнит, бирмит, симетит и др.) — тугоплавких, вязких, содержащих до 8% янтарной кислоты и широко применяющихся в ювелирном деле.

2. Ретинита (ретинит, геданит, чемавенит и др.) — хрупких ископаемых смол буроугольных пластов, мало применяемых в ювелирном деле, но используемых в химической и других отраслях промышленности.

3. Копалита (копал, амбрит) — четвертичных ископаемых смол сравнительно мягких и легкоплавких. Копалиты являются особой разновидностью ископаемых смол, среди которых по времени образования различают современный копал — твердую живицу, собираемую на стволах копалоносных деревьев (*Trachilobium*, *Hymenea*, *Agathis*); полуископаемый копал, находимый в почве современных тропических лесов, и ископаемый копал, встречающийся в четвертичных отложениях вне зоны тропических лесов.

Результаты данных исследований о химическом составе и физических свойствах ископаемых смол, находящихся применение в ювелирной промышленности, приведены в таблице 1.

В дальнейшем, многие авторы будут придерживаться принципа отнесения ископаемых смол к янтарю согласно физико-химическим свойствам. Например, в трудах Богдасарова М.А. отмечено: «Ископаемые смолы, не отвечающие по физическим и химическим свойствам сукциниту, не следует называть «янтарем», для них целесообразно использовать термин «янтареподобные смолы»» [1].

Таблица 1

Характеристики поделочных ископаемых смол

Наименование вида	Средний химический состав (%)				Цвет	Плотность г/см <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	t плавления С°	Содержание янтарной кислоты (%)	Примеры месторождений
	C	H	O	S						
Янтарь (Сукцинит)	79,75	10,35	9,60	0,3	Жёлтый, оранжевый, белый	1,05 - 1,09	2 - 2,5	340 - 360	3-8	Прибалтика, Украина
Румэнит	81,64	9,65	7,56	1,15	Красный, буровато-красный, коричневый	1,03 - 1,12	2,5 - 3,0	350 - 375	1-5	Карпаты Румыния

Бирмит	8 0, 0 5	11, 50	8, 43	0, 02	Коричнев о- красный, медовый, коричнев ый	1,03 - 1,09	2,5 - 3,0	340 - 350	нет	Бирма
Симетит	6 9, 4 8	9,2 4	20 ,7 6	0, 52	Красно- жёлтый, вишнево- красный	1,05 - 1,07	2 - 2,5	350 - 370	след ы	Сицилия, Вест- Индия
Чемавин ит (цедарит)	7 8, 5 0	9,9 3	11 ,2 5	0, 32	Жёлтый, оранжево - коричнев ый	1,05 - 1,08	2 - 2,5	340 - 350	нет	Канада

По прошествии времени, другие исследователи, такие как С.С. Савкевич [10], В.С. Трофимов [13] и др., поставят под сомнение корректность классификации ископаемых смол по химическому составу. Как отмечает В.С. Трофимов: «Ископаемые смолы имеют непостоянный элементарный состав, непрерывно меняющийся во времени в зависимости от продолжительности, условий захоронения и других причин. Свойства ископаемых смол (и янтаря) непостоянны не только для одного месторождения, но часто даже для одного куска. Ископаемые смолы (и янтарь) не имеют постоянного стехиометрического состава, характерного для образований неорганического происхождения» [13]. Таким образом, становится очевидным, что данный подход, по которому отнесение некоторых ископаемых смол к янтарям по такому признаку как химический состав является нецелесообразным.

В дальнейшем, относительно терминологии янтаря стало бытовать два мнения. В.С. Петров [7], Э. Франкей [14], Э.В. Мычко [6] и др. рассматривают янтарь как собирательный термин для различных ископаемых смол, вне зависимости от возраста, химического состава и места их нахождения. «Более правильно называть янтарём все вязкие тугоплавкие ископаемые смолы, хорошо поддающиеся механической обработке и использующиеся в ювелирно-камнерезном производстве. В этом случае, кроме сукцинита к янтарям следует относить <...> румэнит, бирмит, симетит и некоторые другие виды ископаемых смол» - как отмечает Киевленко [4]. Сторонники другого мнения, например В.И. Катинас [3], Б.И. Сребродольский [11], и др. относят к янтарю только балтийский сукцинит, рассматривая его как особый минеральный вид, характерный для определённых смол, встречающихся на побережье Балтийского моря.

К сожалению, вышеописанные принципы спецификации янтаря имеют свои изъяны: например, непостоянные физико-химические свойства, или же трудность определения месторождения образца в некоторых случаях. Вследствие этого, некоторые авторы предложили принципиально иную точку зрения на классификацию ископаемых смол. Согласно ей, в качестве основного признака типизации используется растительное происхождение ископаемых смол, то есть предлагается разделение их по виду растений, производными от которых они являются. Таким образом, в рамках данной классификации янтарь рассматривается как собирательный термин для всех разнородных по составу и свойствам ископаемых смол верхнемелового — эоценового возраста, связанных с полтавской, тургайской и родственными им флористическими областями. [13]

### **Выводы**

Проблематика терминологии янтаря насчитывает не одно десятилетие. Существует достаточное количество классификаций ископаемых смол, которые были составлены исследователями данного вопроса для определения термина «янтарь». В основе данных классификаций заложены абсолютно разные признаки соотнесения: так основные три классификации подразумевают разделение смол на группы по химическому составу, по географической принадлежности и по виду растений, от которых они были образованы. Как было описано выше, первая из предложенных классификаций является неоправданной, так как ископаемые смолы не обладают постоянным элементарным составом, а их физические свойства изменяются со временем. Группирование ископаемых смол в зависимости от их месторождения автор считает неоправданным, так как далеко не всегда месторождение образца является заранее известным, а определение географической принадлежности ископаемых смол довольно затруднительно. Таким образом, наиболее рациональной автору представляется разделение ископаемых смол по их принадлежности к определённому растительному виду. Следует отметить, что исследования в данной области ведутся и по сей день, поэтому не исключено, что данная классификация будет расширяться и дополняться.

### **Библиография**

1. Богдасаров М.А. Проблема образования янтаря и других ископаемых смол Геолого-минералогический вестник – 2006г. № 2 34 стр.
2. Захарович Я.А. Янтарь – Калининград, книжное изд-во, 1971. 127 с.
3. Катинас В.И. Условия образования и некоторые вопросы диагенеза янтаря. – Тр. Литовск. ин-та геологии, 1966, вып. 3, с 260 – 276.
4. Киевленко Е Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. 2-е изд., - М: Недра, 1983, 263с.
5. Манукян А.Р. Микромир янтаря. – Палеосистематика, №1 Калининград, 2019.
6. Мычко Э.В. Янтарный край: древнее сокровище в янтаре. - Природа 2020, 8стр.
7. Орлов Н.А., Успенский В.А. Минералогия каустобиолитов. М.: изд-во АН СССР, 1936, ч. 1, с 13 – 91.
8. Петров В.С. Драгоценные и цветные камни – М.: изд-во МГУ, 1963, 136с.
9. Райкин Б.Л. Янтарь – «Самоцветы», 1960 №1, с 55 – 65.
10. Савкевич С.С. Янтарь. – Ленинград: «Недра» 1970, 192 стр.
11. Сребродольский Б.И. Мир янтаря - Киев: Наукова думка, 1988 - с.143
12. Сребродольский Б.И. Янтарь. - М.: Наука, 1984.- 112 с., ил.
13. Трофимов В.С., Янтарь М. «Недра», 1974, 180 стр.
14. Франкей Э. Янтарь: пер. с англ. – М.: Мир, 1990 – 198с., ил.
15. Юшкин Н.П. Янтарь Антарктических областей - Сыктывкар, 1973 г., 46 стр.
16. С. Doelter Amber 1931 г. 126с.

*Особенности синтеза опала*

*Пустовалова М.С.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени  
Серго Орджоникидзе, MPustovalova@gmail.com),*

*Литвиненко А.К. (Российский государственный геологоразведочный университет имени  
Серго Орджоникидзе, akl1954@yandex.ru)*

**Аннотация**

Синтез опалов активно развивается с 1960-х годов, в том числе в исследовательских центрах СССР. С 1980-х годов синтетический опал активно поступает на рынок ювелирной продукции, при этом не всегда имеет достоверную информацию о методе синтеза. Целью данной работы является создание полноценного описания методов синтеза опала в мире, особенностей синтеза опала в России, формирование целостного описания диагностических свойств.

**Материалы и методы.** В работе были исследованы образцы эфиопского опала, а также синего и белого опала, синтезированного методом золь-гель с использованием пластификатора. Исследование опалов производилось с использованием спектрометра комбинационного рассеяния SENTERRA R 200-L фирмы BrukerRT104-175.

**Результаты.** Исследования в сфере синтеза опала в СССР и России привели к успешному созданию опалов, идентичных по физико-химическим показателям с природным благородным опалом, что позволило изготавливать ювелирные вставки, внешне схожие с природными благородными опалами благодаря отсутствию пятнистого и столбчатого распределения игры цветов, а также созданию фотонных кристаллов и наноплёнок.

**Ключевые слова**

Синтез, синтетический опал, благородный опал, диагностика, свойства.

**Теория**

**Развитие синтеза опала.** Синтез минералов - процесс создания человеком минералов искусственным путём. Синтез опала стал возможен после выявления структурных особенностей благородного опала при изучении австралийскими учёными природных образцов данного минералоида. Синтез опала развивался по причине малого распространения его промышленных месторождений, а также привлекательного внешнего вида и высокой стоимости, коррелирующей с редкостью [5].

Группы исследователей работали в рамках концепции создания глобул кремнезёма, их упорядочивания и закрепления в единую структуру. В патенте 1964 года А. Гаскина и П. Дарре синтез заключался в нагревании раствора натриевого силиката с ионообменными смолами с целью осаждения коллоидного кремнезёма и дальнейшем извлечении глобул необходимого размера. Далее раствор частично дегидратировали и скрепляли частицы нагреванием, после чего пропитывали полимерами структуры из глобул кремнезёма. В работах Р. Айлера и Г. Сире из компании «Дюпон де Немюр» рассмотрены особенности опалесценции в зависимости от размера глобул кремнезёма и плотности их расположения в слоях. Световые эффекты, характерные для благородного опала, проявлялись только после пропитки жидкостью (вода, бутиловый спирт). В последующих исследованиях австралийских специалистов описывается смена методики с использованием натриевого силиката на требующий меньшее количество времени метод с применением тетраэтилортосиликата кремния. В 1971-1973 году П. Жильсон синтезировал опалы по новой личной методике путём получения глобул кремнезёма из органических соединений кремния с последующим тщательным отбором глобул определённого размера и пропиткой цементирующим материалом [1, 10]. Данные работы относятся к исследованию благородного опала с целью создания синтетического аналога ювелирного камня для дальнейшего промышленного производства, однако с 1970-х годов известны исследования

свойств и методов получения опаловых фотонных кристаллов для создания логических элементов работы с сигналом в приборах фотоники [6].

**Методы синтеза опала.** В настоящее время опалы синтезируются с использованием методик, основанных на нескольких этапах: создание глобул кремнезёма определённого размера и содержания воды, осаждение и структуризация глобул, высушивание и спекание. Методы различаются исходными компонентами и способами получения из них частиц SiO<sub>2</sub>, способом структуризации и отбора подходящих по диаметру глобул, температурой, давлением, средой и временем осаждения, высушивания и запекания, материалом пропитки. Часть фирм скрывает точные условия синтеза опалов.

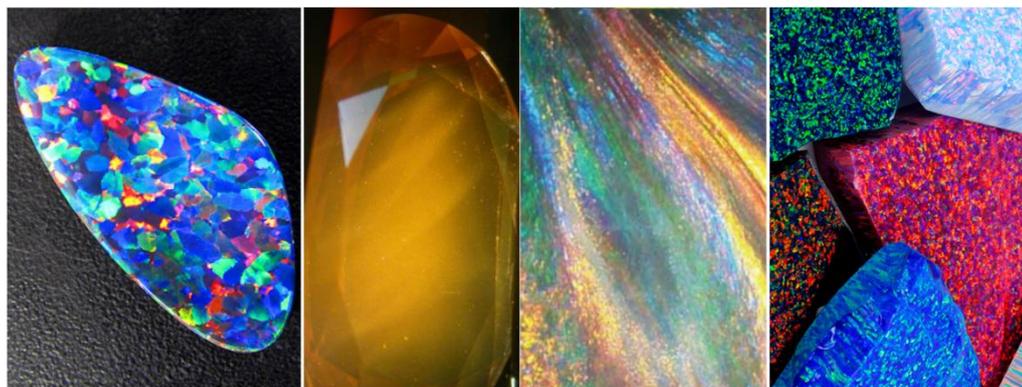


Рисунок 1. Синтетические опалы слева на право: опал Жильсона, MexiFire опал [9], опал российского производства [4], опалы Койцера (Япония) [9]

С 1973 года в Швейцарии производится промышленный синтез опала по технологии П. Жильсона. Процесс синтеза длится от 12 до 16 месяцев. В Мексике с 2007 года компанией RMC Gems Thai Co Ltd производятся синтетические огненные и голубые опалы под торговым названием "MexiFire" и "PeruBlu". Японская компания Куосера производит синтез опала с 1980-х годов. Ключевым отличием в процессе создания данного материала является пропитка синтезированного опала пластификатором для стабилизации и усиления эффекта игры цвета. Также в настоящее время данная компания производит опал Жильсона (Рисунок 1) [10]. В России с 1976 года в лаборатории гидротермального синтеза силикатов Института геологии, геофизики и минералогии СО РАН начались исследования по синтезу благородного опала. Первоначальные образцы имели схожий внешний вид с опалами Жильсона, однако к середине 1990-х годов был синтезирован опал, не отличимый по физико-химическим показателям от природного благородного опала. В ходе работ по изучению природных образцов опала было выявлено следующее: теория об образовании регулярной структуры опала в результате спонтанного осаждения монодисперсных сферических частиц кремнезёма и их механической укладки оказалась ошибочной, в действительности кристалло-подобная структура опала объясняется взаимодействием и последующей нанокристаллизацией отрицательно заряженных частиц кремнезёма, которые в жидкой среде окружает диффузное облако ионов с положительным зарядом. [3,4]. Также синтезом опаловых фотонных кристаллов и плёнок, объёмных структур методом золь-гель, в том числе с применением распыления суспензии коллоидных частиц диоксида кремния занимается ИФТТ РАН [2].

**Диагностика.** При диагностике первоначально производится визуальный анализ образца: характер и распределение игры цветов в объёме и на поверхности, включения. Далее измеряется плотность, показатель преломления, люминисценция и фосфоресценция, оценивается пористость. При необходимости снимается КР-спектр, определяющий наличие либо отсутствие пластификатора и нехарактерных включений, состав.

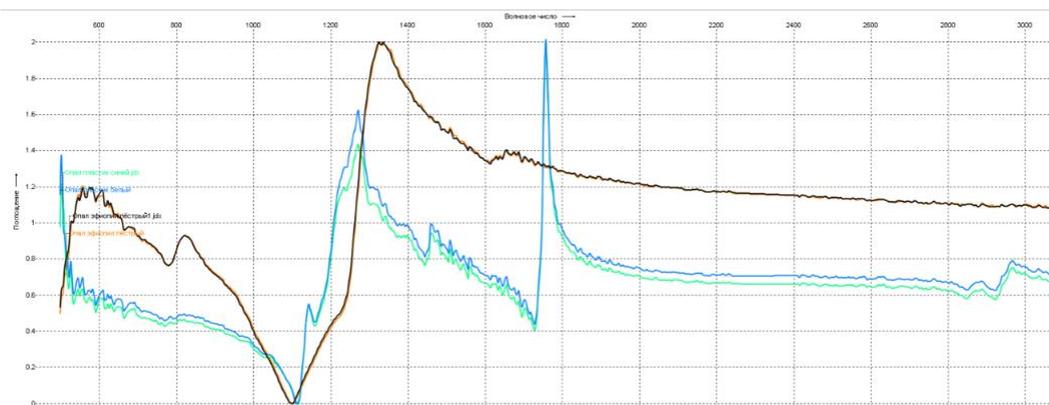


Рисунок 2. КР-спектр природных эфиопских опалов (оранжевый и чёрный графики) и синтетических золь-гель опалов (голубой и синий графики)

Синтетические опалы Жильсона имеют чёрную, белую, огненную окраску, показатель преломления 1,43–1,47, плотность: 1,97–2,20. Под увеличением: имеют сильную игру цветов с мозаичной структурой пятен «кожа змеи». При просмотре сбоку структура пятен выглядит волокнистой, столбчатой. Люминесценция у белых опалов слабая до сильной, голубая, голубовато-белая (SW), средняя голубовато-белая до жёлтой (LW), слабая фосфоресценция проявляется очень редко. Чёрные опалы имеют слабую до сильной жёлтую, желтовато-зеленую (SW), инертны в (LW). Оранжевые опалы инертны до средней голубовато-белой (SW), инертны до средней голубой или зелёной (LW) [7, 10].

У синтетических огненных и голубых опалов мексиканской компании RMC Gems Thai Co Ltd под торговым названием "MexiFire" и "PeruBlu" отсутствует игра цвета. Значения показателей преломления и плотности являются диагностическими - они ниже, чем у природных опалов месторождений Мексики и Перу. Показатель преломления: оранжевые 1,380–1,405, голубые 1,39. Плотность: оранжевые 1,57–1,77, голубые 1,79. Люминесценция отсутствует. В скрещенных фильтрах наблюдается аномальное двупреломление. При изучении с использованием геммологической лупы наблюдаются плотные облака мельчайших включений, рассеянные точечные включения, тонкая волнистая ростовая структура. В отдельных случаях присутствуют тонкие нитевидные включения, похожие на включения в природных камнях.

Синтетические опалы производства СО РАН не отличимы по физико-химическим показателям от природного благородного опала, однако при визуальном анализе возникает ощущение наличия мельчайших мерцающих включений, расположенных наподобие свилей. Игра цвета данных опалов создаёт ощущение не оптического эффекта в объёме камня и изменяющегося в зависимости от характера попадания света, а мерцающих цветных пятен из мелкодисперсных частиц в околоповерхностной зоне [8]. На рисунке 2 представлены КР-спектры синтетических золь-гель опалов российского производства (голубой и синий графики) и природного эфиопского опала (оранжевый и чёрный графики), демонстрирующие очевидную разницу спектров, т.е. состава образцов, говорящее о наличии пластификатора в пространстве между глобулами кремнезёма.

### **Выводы**

В результате более шестидесяти лет исследовательских работ учёными разных стран в сфере синтеза опала сырьё российского производства имеют свилеподобное распределение игры цвета, наиболее приближенное к внешнему виду природных опалов. В настоящее время диагностика синтетических опалов не является сложной задачей для геммологов. Для демонстрации различий состава природного и синтетического опалов произведён процесс

изучения состава российских синтетических золь-гель опалов и природных эфиопских опалов при помощи спектрометра комбинационного рассеяния на базе кафедры Минералогии и геммологии МГРИ.

### **Библиография**

1. В.С. Балицкий и др. Синтетические аналоги и имитации природных драгоценных камней. - М.: Недра, 1981, с. 111 - 116.
2. Л.В. Гастёнина, Э.В. Лапшин, В.Ф. Селиванов, Г.В. Таньков, Г.Г. Беликов. БУДУЩЕЕ ЗА СИНТЕТИЧЕСКИМ ОПАЛОМ/ Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»// 2010 г.
3. Д.В. Калинин, В.В. Сердобинцева, А. И. Плеханов. От драгоценного опала к наноплёнкам // Статья. Новости науки. 20.01.2007 г.
4. Д.В. Калинин, В.В. Сердобинцева От благородного опала к наноплёнкам [Электронный ресурс] // Статья. Новости науки. 17.09.2007 г.
5. Е.Я. Киевленко. Геология самоцветов // Издательство: М.: Земля, Экост. 2000 г. 582 с.
6. С.О. Климонский, А.А. Абрамова, А.С. Сеницкий, Ю.Д. Третьяков Синтез и особенности структуры фотонных кристаллов на основе опалов и инвертированных опалов // Статья. Успехи химии 80 (12) 2011 // Российская академия наук. Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского
7. А.К. Литвиненко, лекции по курсу «Промышленно-генетические типы месторождений алмаза, драгоценных, ювелирных и поделочных камней и металлов», 2020-2021г.
8. Е.И. Романова. Опал/ Методическое пособие// Москва - 7 с.
9. Опал синтетический. [Электронный ресурс] // Статья. Электронная энциклопедия Silver Lines. URL:<http://encyclopedia.silver-lines.ru/kamen/opal-sinteticeskij>
10. Dennis Elwell/Ellis Horwood Ltd., Publishers 1979 © перевод на русский язык, «Мир», 1981; исправления, «Мир», 1986.

*Применение аддитивных технологий в изготовлении защитного корыта ограночного  
станка*

*Брусов А.А.\* (МГРИ, brusovaa@mgi.ru)*

**Аннотация**

Описание технологии 3D печати и ее плюсы. Создание 3d модели защитного корыта для ограночного станка и последующая его печать на 3d принтере.

**Ключевые слова**

Аддитивные технологии, 3d моделирование, FDM печать, 3d принтер, пластик.

**Теория**

Технологий 3d моделирования активно используются на современных производствах. Это позволяет получить прототип готового изделия в кратчайшие сроки. Так же проработать технологические особенности конструкции и визуализировать модель в виртуальном пространстве. Последующая 3D печать позволяет получить готовый к использованию прототип. Метод основан на послойном «выращивании» будущего изделия.

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 [1].

Основных преимуществ использования 3D-печати и моделирования для создания прототипов:

**Быстрое создание прототипов:** 3D-печать позволяет быстро создавать прототипы, что может быть полезно для тестирования и доработки дизайна перед запуском в массовое производство.

**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 [2].

Лучше всего для создания геометрии подходят программ на основе NURBS - моделирования. Для создания 3d модели защитного корыта ограночного станка используется Rhinoceros (пробная версия программы).

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. Так же продумать как будут соединяться разборные детали, за счет пазовых соединений или магнитных фиксаторов.

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 [3].

Процесс моделирования занимает не более двух часов при учете заранее продуманной конструкции деталей. Учитывая размеры шпинделя с закрепленным на нем ограничным диском, делаются необходимый диаметр и толщина стенки корыта. На следующем этапе создаются технологические отверстия под слив воды и вырез под ограничное приспособление. Для упрощения процесса печати изделия разбивается на детали простой формы, что бы их можно было печатать без использования материала поддержки. Всего получается 4 отдельных детали: корыто, направляющая трубка слива воды, заглушка выреза под ограничное приспособление состоящая из 2 деталей.

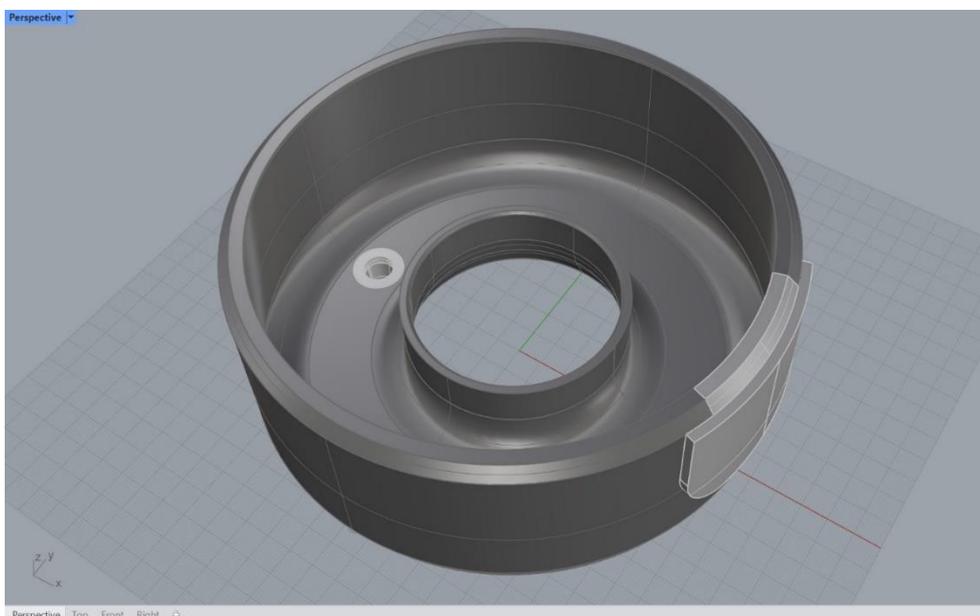


Рисунок 1. 3d модель защитного корыта ограничного станка

При 3D печати используется метод основанный на послойном «выращивании» будущего изделия, основная деталь корыта печатается плоским основанием к столу принтера. Для создания цельной конструкции производится склейка деталей. Детали где требуется точная состыковка и острый внутренний угол, делятся на отдельные элементы по стыку между двумя отдельными элементами формы. При печати острые углы детали, параллельные столу печати принтера, получаются закругленной формы. Это связано с особенностями технологии послойной печати.

Печать производится на 3d принтер Flyingbear ghost 5 с direct экструдером. Материал для печати пластик pet-g серого цвета. Он достаточно прочный и выдерживает удары и падения и не боится влаги. 3D-печатные детали из пластика не будут испытывать каких-либо технологических нагрузок, при использовании. В целом, пригодность того или иного материала для конкретного применения зависит от конкретных свойств и требований к детали.

В слайсере создается G-код с учетом параметров данной модели 3d принтера и свойств пластика: диаметр сопла 0.8 мм, температура сопла – 230°C, температура стола – 80°C, скорость

вентилятора – 0%, высота слоя 0.8, заполнение 35%, периметры – 5, сплошные слои низа и верха – 5, скорость печати 80 мм/с.

Для быстроты печать используется высота слоя 0.8 и сопло более большого размера чем для стандартной печати. Скорость печати увеличивается в 3 раза, а качество поверхности не влияет на дальнейшее использование изделия. Напечатанные детали имеют очень заметные следы свойственные технологии FDM печати, для придания гладкости поверхности, можно их зашлифовать наждачной бумагой и покрыть лаком.

На первых слоях печати важно следить за процессом, чтобы проконтролировать правильность настроек печати и избежать возможного брака. Печать основной детали занимает около 8 часов. При повышении скорости печати уменьшится время, но ухудшится качество. Возможные дефекты: искажения, пустоты в заполнении внешних периметров. После окончания печати 3d принтер выключается, ждем остывания рабочей зоны и аккуратно отрываем модель от стола.

Для магнитной фиксации заглушки в вырез в корыте под ограночное приспособление, по краям заглушки сверлятся 3 отверстия под диаметр магнитов. В корыте то же производится сверление на глубину толщины магнитов. Магниты вклеиваются в посадочные места сверхпрочным двухкомпонентным клеем. Важно правильно, нужным полюсом вклеить магниты, что бы появился эффект примагничивания заглушки к стенке корыта. Сверление углублений под магниты, а не 3D печать их, позволяет точнее состыковать детали.

### **Выводы**

Для создания простых моделей потребуются начальный уровень знания программного обеспечения для 3D-моделирования и основ конструирования. 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 важно учитывать специфические требования к изделию, так же необходимые размеры и допуски. Учитывать усадку пластика и погрешности при наплавлении слоев при печати. При необходимости возможна механическая обработка и шлифовка деталей для точной сборки прототипа изделия.

Таким образом, использование аддитивных технологий при производстве защитного корыта ограночного станка позволяет создать высококачественный и надежный продукт.

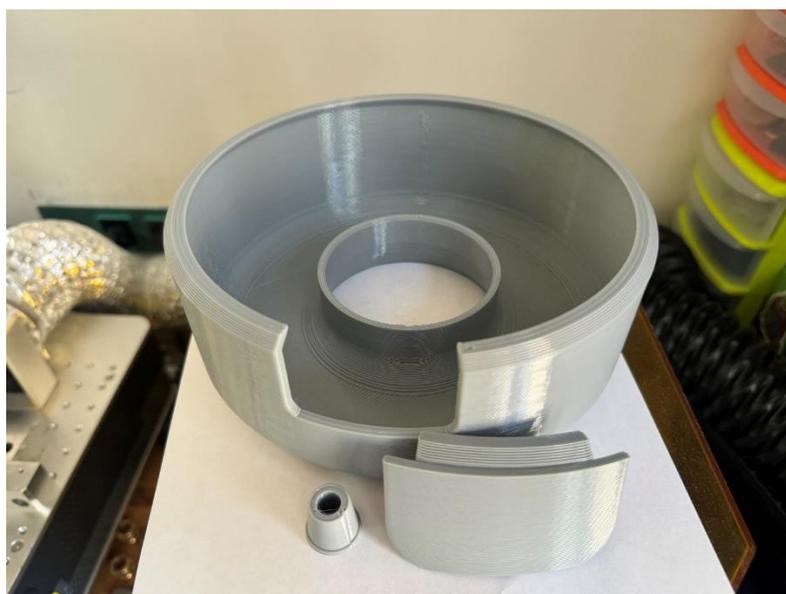


Рисунок 2. Напечатанные детали защитного корыта ограночного станка

**Библиография**

1. Згонников Артем, «Аддитивные технологии в производстве», Москва, CADmaster, №1(86) 2017.
2. Тарасова Татьяна Васильевна, «Аддитивное производство» учебное пособие, Москва, Инфра-М, 2022.
3. Элиания Розетти, «Дизайн ювелирных изделий в Rhinoceros», Омск, Дедал-Пресс, 2014.

***Возможности использования отвалов керна для учебных целей и изготовления  
художественных изделий***

***Хрисанкова Н.С. (МГРИ, [xriska02@gmail.com](mailto:xriska02@gmail.com)),  
Петроченков Д.А. (МГРИ, [petrochenkovda@mgri.ru](mailto:petrochenkovda@mgri.ru))***

**Аннотация**

В данной статье рассматривается эффективность и ценность керна как информативный объект изучения месторождений в образовательной деятельности.

В статье освещена проблематика отсутствия переработки керновых отвалов и их накопления на неподготовленных для этого территориях. Автор акцентирует внимание на том, что большое значение при бурении скважин и отборе проб имеет вторичная переработка материала, добытого данным способом. А также на ценности данных образцов в научной области при изучении минералогии региона, и использовании в качестве наглядных примеров при обучении студентов геологической сферы.

**Ключевые слова**

Керн, образец, вторичная отработка, научная коллекция.

**Теория**

При разведке, отработке и добыче полезных ископаемых производятся дорогостоящие буровые работы. С помощью этого процесса получают данные о точном геологическом строении и мощности пород изучаемого региона. Для этого при бурении полевые геологи отбирают пробы с каждой утвержденной глубины проходки. *Опробованием должны охватываться породы, находящиеся в области взаимодействия будущих горных выработок с геологической средой [3].* При бурении извлекают породу цилиндрической формы – это является керном. *Керновый материал всегда являлся ценнейшим источником геологической информации [1].* Керн – это важный объект исследования геологического строения территории. Прикрепляя к пробе данные о местоположении, номере скважины, глубины, эти образцы далее изучаются в лабораториях, а полученные данные используют при камеральной работе. Его складывают в последовательности заложения пород, тем самым составляя колонку скважины по её составу и мощности каждого элемента залегаемых пород.

Но не все добытые образцы керна забирают на лабораторные исследования, весь остальной добытый таким образом материал складывается там же, где и добывается или перевозится в шлаковый отходник. Такой керн теряет всю значимость и не может быть изучен повторно, т.к. не всегда сохраняется привязка к конкретной скважине и глубине заложения. Связи с этим происходит так, что большие объемы керна теряют свою научную ценность. Керны с нескольких скважин могут транспортироваться в один отвал, после чего породы становятся перемешаны между собой, и мы не имеем возможности точно утверждать о месте и глубине добычи данного образца (Рисунок 1). Таким образом, объект возможного исследования уничтожается и становится частью шлаковых отходов.

*С быстрым ростом индустриализации, возможность утилизации крупного количества шлаков снижается по всему миру [2].* Соответственно, стоимость данной процедуры растет с каждым днем. Эффект глобального загрязнения природы и природная экономия ресурсов – общие экологические темы наших современников. Поверхность земли завалена шлаковыми отходами. Они стали значительным источником загрязнения окружающей среды, такие как воздушное пространство, гидрологический баланс, состав воды, качество почв. Все это отражается на здоровье населения, животного мира и ухудшения состояния планеты в общем.



Рисунок 1. Отвал керна в посёлке Тэдино, Малиновараккское сельское поселение, Лоухский район, Республика Карелия. Является примером того, как важный объект исследования теряет свою значимость и загрязняет поверхность земли

Из-за большого количества загрязнений и более строгих требований экологических норм, переработка шлаковых отходов является привлекательной альтернативой для снижения затрат на утилизацию. *Каждый тип промышленных отходов имеет свою особенную технологию ликвидации, которые используются для обработки и повторного использования, либо обработки и ликвидации отдельных типов отходов [4].* Идеальная цель – развитие устойчивого системного цикла, при котором станет возможно вторично отрабатывать ресурсы, которые выбрасываются на свалку в виде отходов и преобразовывать их в полезные продукты. Таким образом мы сможем достичь полного оборота материала с минимальным количеством отходов.

Таким образом, керна, являющийся частью шлаковых отходов, также должен быть утилизирован или же переработан. Керна является малой долей отходов, а потому выделить его отдельно в качестве отработки не имеет смысла. Но если убрать его из числа отходов, то мы сможем уменьшить их количество, которое возможно повлияет на объемы захороняемого материала. Главная задача керновых образцов нести информацию о геологическом составе, а значит мы можем использовать его для пополнения научных коллекций и подробного изучения. При достаточном количестве образцов для исследований, о которых известны не только минеральный состав, но и их место добычи, глубина и полное геологическое содержание конкретной скважины, мы получим больше данных и материалов исследований, тем самым расширим свои знания о региональной геологии.

Несмотря на широкий объем имеющихся учебных и научных коллекций, продолжение их сбора не только важно с научной точки зрения – оно крайне необходимо. Перед нами все еще стоит огромная задача – дать полный отчет о разнообразии геологической структуры: зависимости пород от местоположения. Их химический структурный и текстурный состав. Так же надо позволить научным деятелям разных геологических направлений работать напрямую с такими образцами, изучать и описывать. Так мы расширим базу знаний о месторождениях и, вероятно, найдем новую информацию, позволяющую углубить исследования.

Образцы керна, оставшиеся после отработки месторождения и не имеющие научной ценности можно использовать в качестве полуфабрикатов для изготовления художественных и интерьерных изделий, так мы получаем огромное разнообразие возможных решений. Используя

различные текстуры пород, изделия могут иметь свой неповторимый узор. Учитывая форму керна, из него можно изготавливать такие изделия как: подсвечники, панно, картины, часы, столешницы, подставки, пепельницы и т.д. (рисунок 2). Благодаря тому, что kern уже имеет цилиндрическую форму, при производстве можно сэкономить время и ресурсы на заготовительных этапах: распиловка, профилирование, обдирка. Для изготовления сувениров остаётся просто распилить столбики керна на цилиндры и пластины необходимой толщины и обработать торцы.

Учитывая разнообразие материала из которого состоит kern, можно выделить главный минус его обработки – материал заметно различается по показателям твердости, хрупкости, пористости, а также содержанию тяжёлых, канцерогенных или радиоактивных элементов, а значит нужно проводить сортировку керна, т.к. не все породы можно использовать для изготовления изделий быта (пепельницы, посуда, столешницы). Хрупкие породы рассыпаются еще на начальных этапах изготовления, а пористые породы или неустойчивые под воздействием атмосферы или влаги могут терять свои декоративные свойства со временем.



Рисунок 2. Пепельница и настенное панно, выполненные из керна

Для украшения интерьеров используются предметы и приборы с подставками и корпусами из природного камня. Обычно подставки выполняются плоскими и, поэтому относятся к плоскогранным изделиям. Для создания подставок можно использовать kern, напильный плоскими слайсами. Изготовление таких заготовок будет производиться на отрезном станке с использованием отрезного круга, далее поверхность будет отшлифована на планшайбе и отполирована на полировальном круге.

### **Выводы**

Кern не должен являться частью отваловых шлаков и терять свои информативные данные. При добыче необходимого количества для исследований, оставшиеся объемы материала должны отправляться в научные коллекции. Перед нами все еще стоит огромная задача – дать полный отчет о разнообразии геологической структуры: зависимости пород от местоположения. Их химический, структурный и текстурный состав. Это поможет уменьшением объема отвалов и загрязнению окружающей среды, а также станет фундаментом для новых исследований в геологии.

Кern – это не только ценный научный ресурс, но и материал для изготовления изделий, несущих художественный характер. Этот факт можно использовать для вторичной отработки уже существующих отвалов керна, создавая изделия для сувенирной продажи, а также более серьезной ювелирно-художественной и камнерезной работы.

### **Благодарности**

Выражаю благодарность Петроченкову Д.А. и Литвиненко А.К. за терпение и качественное обучение, а также за ценные советы при планировании исследования и важные рекомендации по написанию статьи.

### **Библиография**

1. Алексеев А. «Зачем нефтяным компаниям нужны кернохранилища», Журнал "Коммерсантъ Наука" №19 от 15.09.2022, с.24
2. Рейтер М., Сяо Ю., Боин У. «Переработка и экологические проблемы металлургических шлаков и солевых флюсов», VII Международная конференция по расплавленным шлакам, флюсам и солям. Южноафриканский институт горного дела и металлургии, 2004 г. с. 349-356.
3. Методические указания по изучению массива горных пород для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 102 с.
4. Рахметова А.Е., Кутузова Е.И. Производственные отходы при бурении и буровой шлам, Молодой ученый - №3(189), 2018 г., с. 59-61.

*Нематериальное культурное наследие Китая: Резьба по нефриту — очарование  
технологии живой цепи*

*Чжу Шуань\* (МПГУ, 835619649@qq.com)*

**Аннотация**

Работы по китайской резьбе по нефриту пользуются высокой репутацией в мире. В 2008 году резьба по нефриту была включена во вторую группу национальных списков нематериального культурного наследия.

Технология живой цепочки для резьбы по нефриту, изысканное мастерство, ее сочетание со стоячей резьбой и полой резьбой по нефриту, подобно глазури на торте, отражают друг друга, так что артефакты демонстрируют жизненную силу. Как вид красивого декоративного искусства на устройстве для резьбы по нефриту, живая цепочка имеет долгое историческое происхождение и процесс эволюции. Изначально это должно было происходить от технологии бурения нефрита. В то время декоративные предметы, такие как нефритовые кольца, нефритовые браслеты и нефритовые украшения, нужно было сверлить и сверлить для удовольствия. Во времена династий Шан и Чжоу использование нефрита расширилось, и технология сверления стала применяться более широко. К периоду весенних и осенних воюющих царств появился процесс установки колец.

**Ключевые слова**

Китай, нефрит, "живая цепь", технология резьбы, камень, Нематериальное культурное наследие.

**Теория**

Технологическая схема резьбы «живой цепи» включает несколько этапов [1]:

1. Анализ сырья с точки зрения качества камня, отсутствия трещин, критических сколов, внутренних дефектов и возможных вкраплений и пустот.

2. Соответствие размера заготовки расчетной длине будущей «живой цепи», определение шага звеньев и их пропорций, контроль симметричности элементов будущего изделия.

3. Первым шагом является проектирование будущего изделия с разметкой нефрита. Для этого выполняется карандашом или фломастером чёткий контур цепи и других элементов. Затем фрезами вырезается цепь и подвеска с последующей шлифовкой и полировкой алмазными пастами (рисунок 1-3)

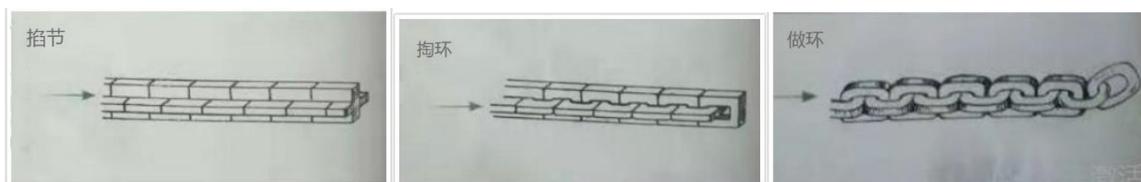


Рисунок 1

Рисунок 2

Рисунок 3

Рисунки 1-3. Технологическая схема резьбы «живой цепи»

Археологические раскопки часто приводят к неожиданным новым открытиям. Посмотрите на этот серийный нефритовый юэ с божественной эмблемой культуры Лянчжу (рис. 4). Оказывается, процесс вырезания живой цепи длится до 5000 лет [1].

Круглые резные фигурки людей Юйю, найденные в гробнице династии Шан в Океании, уезд Синань (рис. 5), имеют высоту 8,7 см, толщину спинки 1,4 см и длину трех колец 4,6 см. Она

коричнево-красная, с однородным цветом, гладкостью, восковым блеском, безупречная и непрозрачная. Все тело сидит на корточках боком, в основном с симметричными сторонами. Резная живая цепочка на макушке головы когда-то считалась самым ранним образцом искусства резьбы по нефриту в Китае [2].



Рисунок 4. Узор эмблемы Бога культуры Лянчжу Серийный Нефрит Юэ



Рисунок 5. Резная фигурка с элементами «живой цепи», создана в период династии Шан, 1600-1046 гг до н.э., музей провинции Цзянси

В период ранних воюющих государств (рис. 6) в Британском музее есть многосекционная нефритовая би, серия четырехсекционных нефритовых би с узорами в виде змей, фениксов и голов зверей [3] длиной 20,32 см, первоначально одна из коллекций великого британского коллекционера Джорджа Эвморфопулоса.



Рисунок 6. В ранний период воюющих государств существовало множество нефритовых нагрудников

Двойной нефрит воюющих государств [4], серия Vi в коллекции Гарвардского художественного музея (рис. 7-9), размеры 3,8 x ширина 9 x толщина 0,4 см, вес 26 грамм. Светло-серо-зеленый нефрит с коричневыми участками по краям. По краям добавлены не только двойные фениксы и полые резные драконы, но и двойные би соединены кольцом со спиральным узором, что чрезвычайно креативно.



Рисункок 7

Рисунок 8

Рисунок 9

Рисунки 7-9. Серийный номер VI периода воюющих государств

Во времена династии Восточная Чжоу серия резных нефритовых колец, найденных в гробнице Цзэнхоу И в период ранних воюющих царств, потрясла мир. (рис. 10-11). [5] Культурная реликвия национального достояния “Шестнадцать нефритовых украшений с драконами и фениксами”, музей провинции Хубэй, имеет длину 48 см, ширину 8,3 см. и толщиной 0,5 см. Он был раскопан в 1978 году. Все устройство использует метод разъемного резьбового соединения, при котором для разделения и резки используются 5 кусков нефритового материала, а затем они соединяются нефритовыми кольцами, образуя 16 секций, которые можно складывать и сворачивать в рулон. На нем изображены 37 драконов, 7 фениксов и 10 змей, в разных формах и полных жизненной силы. Он также украшен деформированными драконьими узорами, зернистыми узорами, муаровыми узорами, чешуйчатыми узорами, витыми шелковыми узорами, косыми узорами и т.д., со строгой планировкой и элегантной симметрией. Используя такие техники, как выдалбливание, тиснение и резьба по инь, в дополнение к неподвижным или подвижным кольцам, вырезанным из 5 кусков нефритового материала, кольца, соединяющие каждую секцию, дополнены 3 съемными шиповыми и врезными синтетическими подвижными кольцами и нефритовой булавкой. Дизайн оригинален и изыскан; мастерство исполнения изысканно и ни с чем не сравнимо, представляя собой высшее достижение мастерства резьбы по нефриту того времени.



Рисунок 10

Рисунок 11

Рисунки 10-11. Шестнадцать нефритовых украшений с драконами и фениксами, музей провинции Хубэй

После династий Мин и Цин технология живых цепей снова начала процветать.

Резные цветы из голубого и белого нефрита “Ваньшоу Фугуй” в горшке, династия Мин (1368-1644 гг. н.э.), голубой и белый нефрит. Восьмиугольная форма, с крышкой, верхняя часть крышки украшена пуговицами в виде драконов, а пуговицы в виде драконов соединены с длинной цепочкой, состоящей из тридцати девяти маленьких овальных колец, соединенных друг с другом. Горлышко горшка украшено узорами на спинке, на всем корпусе выгравирован узор в виде лотоса и лепестков лотоса, а крышка, шея и брюшко украшены барельефом со словами “Ваньшоу Фу Гуй” на янвэнь. Боковые стороны корпуса горшка украшены ручками, заглазывающими зверей, а между ними - узор в виде дракона чи. Этот горшок имеет высокую форму, превосходное качество нефрита, изысканный дизайн и изысканное украшение. Он сочетает в себе различные техники резьбы, такие как копание, резьба по дереву, барельеф и

резьба по инь. Общая высота составляет 36,5 см, длина горловины - 13,4 см, ширина горловины - 10 см, длина дна - 11,5 см, а ширина дна - 8 см. Этот артефакт первоначально был из старой коллекции дворца Цин и представляет уровень производства нефрита во дворце династии Мин. Это сокровище дворца династии Мин, нефритовый горшок (рис. 12)



Рисунок 12. Горшок с богатым узором Мин\*Ваньшоу - Национальный музей Китая



Рисунок 13. Нефритовая ручка феникса, удерживающая горшок

Горшок с ручкой нефритового феникса, прозрачный, высотой 22 см и диаметром 4,9-5,7 см. Нефрит в этом горшке чистый, а поверхность яркая. Корпус горшка плоский и высокий, с овальным горлышком, крышка и горлышко горшка вставляются друг в друга и плотно прилегают. Кнопка крышки полая в форме желаемого, с двумя подвижными кольцами, а под кнопкой украшен лепесток лотоса. Горлышко горшка украшено деформированным рисунком лотоса, а брюшко имеет овальное отверстие, внутри которого выпукло вырезаны такие узоры, как пион. Поток из горшка проглатывается зверем, а столб воды поднимается изо рта зверя. Ручка горшка выполнена в виде феникса целиком, а нижняя часть хвоста феникса покрыта живым кольцом. (рис. 13)

Изделие «живая цепь» изготавливается из монолитного куска нефритовой заготовки. При этом не допускается склеивания или соединения иным способом элементов изделия. Принципы создания «живой цепи» распространяются и на другие, схожие по методу резьбы, части композиций, например, «подвижные кольца», которые часто используются для украшения декоративных изделий или бытовых предметов, таких, как шары, вазы, чаши и другие сосуды. «Подвижные кольца», как правило, расположены с боков сосуда и симметричны друг другу.

Являясь частью нематериального культурного наследия Китая, резьба по нефриту очень необходима для наследования и развития. Мастерство изготовления цепочек в резьбе по нефриту - это высококвалифицированная техническая деятельность, и ей следует уделять больше внимания. Использование цепочек в каждой работе разное, и производимые эффекты различны. Бережное использование Рациональное использование - все это может сыграть определенную роль в повторении и оттенении основного дизайна моделирования, а также может увеличить объем работы и обогатить картину произведения, так что форма работы отражает эффект видения большого в малом и грандиозного в целом. тихий, дающий людям ощущение изысканности и изыска, прекрасной художественной концепции и изобретательности.

В современном обществе, благодаря появлению современного оборудования, эффективность работы значительно повысилась, поэтому также были созданы некоторые персонализированные работы, такие как (рис. 14-18).



Рисункок 14    Рисунок 15    Рисунок 16    Рисунок 17    Рисунок 18

Рисунки 14-18. Персонализированные работы в современном обществе

### **Выводы**

Резьба по нефриту, нематериальное культурное наследие Китая, Исследования культуры нефрита, получившие название «Теория Юйсюэ», подразумевают дискуссии в философской, теологической и эстетико-этической плоскостях знаний. Мы можем к перечисленным сферам знания добавить технологический аспект, где рассматриваются важнейшие детали производства изящных изделий. Изготовление ювелирного изделия в стиле «живой цепи» методом резьбы – это тонкая, высокоинтеллектуальная и технически сложная работа. Даже опытный мастер-резчик по нефриту каждый раз, приступая к изготовлению «живой цепи», сталкивается с многочисленными сложностями и рисками. Для более эффективного производства необходимо изучать технологии старых китайских мастеров и поддерживать древние традиции резьбы по камню.

### **Библиография**

1. URL:<https://wapbaike.baidu.com/tashuo/browse/> (дата обращения: 07.03.2024).
2. URL:<http://news.socang.com/2011/04/14/> (дата обращения: 07.03.2024).
3. URL:[https://www.sohu.com/a/408413797\\_661669](https://www.sohu.com/a/408413797_661669) (дата обращения: 07.03.2024).
4. URL:<https://www.guwantj.com/index>. (дата обращения: 07.03.2024).
5. URL:<https://artsandculture.google.com/asset/> (дата обращения: 07.03.2024).

*Декоративное нанесение китайской росписи цветов и птиц Гунби династии Сун на  
русскую керамику  
Шуань Ч.\* (МПГУ, 835619649@qq.com)*

**Аннотация**

Чрезвычайное процветание политического, экономического и культурного развития династии Сун в Китае привело к появлению великолепной картины. После династии Тан живопись цветами и птицами династии Сун была еще одним периодом развития в истории Китая. В истории китайской живописи это был художественный пик, и она отражала цветы, насекомых, растения и деревья природы и духовные эмоции людей по-своему. уникальный художественный язык и экспрессия. Он обладает сильным декоративным значением и привлекательностью пера и туши, а также заложил прочную основу для развития и инноваций современной живописи цветами и птицами.

Во время изучения русского росписья по керамике, мною наблюдался очень много прекрасных работ, которые впечатляли меня и так как я изучаю это и с каждым днем я с уверенности могу сказать, что русская культура и искусство мне все больше и больше нравится. Я также хочу и в дальнейшем передать традиционное китайское искусство своим русским друзьям, чтобы они могли понять некоторые традиционные китайские элементы. При росписи керамических тарелок, Я подумала о китайской династии Сун Гунби, рисующей наброски цветов и птиц, и попыталась выразить это.

**Ключевые слова**

Китайская династия Сун, тщательная роспись, русская керамика, декоративные аппликации.

**Теория**

Китайская живопись цветами и птицами Гунби династии Сун - важная школа живописи в истории китайской, с тонкими и точными техниками Гунби, изображающими цветы и птиц в качестве. В этот период, благодаря социально-экономическому развитию и культурному процветанию, живопись цветами и птицами Гунби получила широкое развитие и уважение.

Китайская живопись цветов и птиц Гунби династии Сун уделяла внимание точному выражению формы, стремясь к деликатному и изящному изображению, особенно уделяя внимание морфологической структуре и тонким изменениям цветов и птиц. Художники использовали яркие цвета, тонкие мазки кисти и точную композицию, чтобы создать реалистичные и живые изображения цветов и птиц.

Выберите подходящий размер керамической тарелки для рисования на белом фоне (как показано на рисунке 4) и краску для рисования на керамике (как показано на рисунке 2, 3), карандаш, кисть (как показано на рисунке 1), ластик, скребок, палитру, средство для мытья ручек, воду, глицерин и другие материалы, а также затем выберите свой любимый рисунок с изображением цветов и птиц династии Сун Гунби для второго творения (как показано на рисунке 4-15).



Рисунки 1-3. Малярные материалы



Рисунки 4-7. Керамическая роспись, размер 28 см в диаметре, высота: 5 см  
Стиль работы: Китайская живопись Гунби, название: Изображение спелых фруктов и птицы  
Время создания январь 2024 года [1]



Рисунки 8-9. Керамическая роспись, размер 28 см в диаметре, высота: 5 см  
Стиль работы: Китайская живопись Гунби, название: Фигура Фуонга  
Время создания январь 2024 года[2]



Рисунки 10-11. Керамическая роспись, размер 34 см в диаметре, высота: 8 см  
Стиль работы: Китайская живопись Гонгби, название: изображение насекомого на виноградной  
траве. Время создания январь 2024 года



Рисунки 12-15. Керамическая роспись, размер диаметр 21 см, высота: 3 см, (рис. 15) размер диаметр 18 см, высота: 2 см. [3]

Стиль работы: Китайская живопись Гунби, название: Картина с камелией Цзисюэ, картина с водяным гибискусом, картина с пионами Пинци, картина с гигантской бабочкой Цинфэн  
Время создания ноябрь 2023 года [4]

### **Выводы**

Творческий стиль живописи цветами и птицами, художественная концепция живописи и отношение художника династии Сун оказали чрезвычайно важное влияние на современную китайскую живопись цветами и птицами. Современные художники не могут ни отказаться от традиционной живописи, слепо стремиться к индивидуальности и быть нетрадиционными, ни просто унаследовать, а не развивать, и придерживаться древних. Мы должны впитать суть традиции и использовать современных людей восхваление традиций позволяет открывать и использовать их с новым видением, новыми идеями и новыми способами. Она должна разрабатываться на основе наследования традиций, сочетаться со временем и собственными личностными особенностями человека и соответствовать высшим эстетическим потребностям общества.

### **Библиография**

1. URL:<https://minghuaji.dpm.org.cn/article/detail?id=481> (Дата обращения 06.03.2024).
2. URL:<https://g2.ltfc.net/view/SUHA/6263d309bb1f831> (Дата обращения 06.03.2024).

3. URL:<https://g2.ltfc.net/view/SUHA/> (Дата обращения 06.03.2024).
4. URL:<http://www.360doc.com/content/19/1016/12/> (Дата обращения 06.03.2024).

*Генетические особенности образования андрадита (разн. демантоид) Среднего Урала:  
изотопно-геохимические данные  
Сорокина Е.С. \* (ГЕОХИ РАН, esorokina@geokhi.ru)*

**Аннотация**

In-situ U-Pb LA-ICP-MS датировки демантоида с экстремально низкими значениями U (нг/г) и высокими содержаниями обыкновенного Pb были выполнены на образцах из двух месторождений – Коркодинского и Полдневского -, обнаруженных в гипебазитах Среднего Урала. Полученные результаты показали 2 различных возраста образования этих месторождений –  $343 \pm 4$  млн лет и  $292 \pm 1$  млн лет. Данные возраста в широком смысле соответствуют возрастам коллизии Уральского орогенеза.

Демантоид образовался при гидротермально процессе при температурах  $< 300^\circ\text{C}$ . Однако выполненные геохимические анализы показали различный генезис демантоида из двух месторождений. Так, REE-спектры, нормализованные к хондриту, показали связь минерала из Коркодинского месторождения с породами сиенитового состава. Тогда как, данные REE-спектров распределения микропримесей, нормализованных к хондриту, для демантоида из Полдневского показали сходство со скарнами.

**Ключевые слова**

Демантоид, Коркодинский массив, LA-ICP-MS U-Pb геохронология, генезис.

**Источники финансирования**

Данные исследования были профинансированы госзаданием ГЕОХИ РАН и грантом Минобрнауки.

**Теория**

Демантоид является редкой Cr-содержащей разновидностью андрадита  $\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$ . Минерал исторически добывался на территории Среднего Урала. Однако его генезис и время образования оставались дискуссионными.

В рамках проведения данного исследования были отобраны пробы гранат (андрадит)-содержащих серпентинитов: 2 образца из Коркодинского месторождения и 4 образца из Полдневского месторождения. Оба объекта находятся в пределах Каркодинского гипербазитового массива. Сам массив площадью  $0.12 \text{ км}^2$  расположен в месте пересечения двух прогибов (Тагильского на севере и Магнитогорского на юге), сложенных вулканогенно-осадочными и интрузивными породами палеозойского возраста. Образование массива происходило ок. 400 млн лет и приурочено к процессам субдукции.



Рисунок 1. Исследованные образцы демантоида из месторождений Коркодинское и Полдневское Среднего Урала

К классическим геохронологическим методам, применяемые ранее к гранату, относятся исследования Sm-Nd системы, которые являются весьма затруднительными из-за неопределенностей в начальных отношениях изотопов Sm и Nd (Jamtveit and Hervig, 45 1994). В виду высокой температуры закрытия Pb, по разным оценкам, выше 850°C и относительно высокой концентрации урана в андрадите, до сотен  $\mu\text{g/g}$ , андрадит использовался для U-Pb геохронологии и ранее (Scheibner et al., 43 2007, Deng et al., 2017). Однако нами впервые было выполнено датирование по U-Pb системе *in situ* с помощью мультиколлекторной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией – LA-ICP-MS (аналитики Дрр. Аксель Гердес и Ричард Альберт) в Университете им. Гете г. Франкфурт (Германия). Дополнительно на этом оборудовании были проведены анализы микро-примесного состава данных проб.

Данные микро-примесного состава гранатов приведены в табл. 1. Для этого исследования было выполнено 37 измерений шести проб андрадитов. Значения Mg, Al, Ti и Mn показали аналогичное распределение во всех исследованных пробах с незначительными колебаниями (средние значения составляют 483 мкг/г Mg, 293 мкг/г Al, 212 мкг/г Ti и 110 мкг/г Mn). В то время как значения V, Cr и Zr были на порядок выше в образцах Полдневского месторождения (274 мкг/г V, 1660 мкг/г Cr, 0,2 мкг/г Zr), чем в пробах из Коркодинского месторождения (12,8 мкг/г V, 151 мкг/г Cr и 5,6 мкг/г Zr). Содержание урана во всех образцах находилось на уровне десятков нг/г, однако для гранатов Полдневского месторождения эти значения были выше (0,63–2,04 мкг/г), чем для гранатов Каркодинского месторождения (0,003–0,06 мкг/г). Содержание тория составило 0,003 – 0,10 мкг/г и 0,02 – 0,24 мкг/г для проб Коркодинского и Полдневского месторождений, соответственно. Отношение Th/U варьировало от 0,01 до 5,05. Для образцов Полдневского месторождения полученные содержания REE, нормализованные по хондриту, показали обогащение LREE по сравнению с HREE с отчетливыми положительными аномалиями Eu ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,54 - 1,19$ ). В отличие от них, отчетливых трендов в спектрах REE, нормализованные по хондриту, для андрадитов Коркодинского месторождения не наблюдалось, тем не менее, положительные аномалии Eu все еще могли быть обнаружены ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,26 - 5,96$ ).

Таблица 1

Химический состав андрадитов из месторождений Коркодинское и Полдневское

Элемент (мкг/г)/ Образец	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Zr	Pb	Th	U	
<b>Kr3</b>	1	369	410	40.9	9.17	334	190	0.526	6.66	0.106	0.021
	2	472	22.2	42.7	5.63	302	192	0.044	0.005	bdl	0.007
	3	323	14.2	19.4	6.59	60.9	185	0.024	0.005	bdl	0.005
	4	275	13.4	23.8	7.54	225	185	0.041	0.009	bdl	0.003
	5	446	22.4	44.4	6.51	234	194	0.010	0.010	bdl	0.005
<b>Kr4</b>	1	670	672	57.4	12.1	46.1	167	0.081	0.088	0.002	0.049
	2	298	162	19.8	11.8	24.3	140	0.226	0.029	0.001	0.028
	3	250	117	36.1	12.4	44.1	145	0.436	0.015	bdl	0.031
	4	583	635	178	33.3	135	168	0.699	0.027	0.003	0.066
	5	581	406	59.3	23.2	104	161	0.354	0.017	0.001	0.048
<b>Pn1a</b>	1	473	292	229	295	389	72.6	1.58	0.264	0.089	1.56
	2	471	338	318	305	435	71.0	1.69	0.256	0.124	1.56
	3	452	277	196	296	277	72.2	1.45	0.235	0.076	1.43
	4	387	264	132	260	481	70.1	1.17	0.206	0.059	1.16
	5	342	256	116	263	539	68.0	1.09	0.172	0.037	0.923
<b>Pn2a</b>	1	435	279	115	201	1330	67.5	1.14	0.163	0.052	1.01
	2	375	264	72.0	163	1820	65.0	0.78	0.123	0.030	0.756
	3	513	316	56.7	120	3180	63.1	0.38	0.141	0.024	0.633
	4	421	281	141	230	1500	68.7	1.37	0.183	0.065	1.15
	5	399	273	167	267	1460	70.3	1.73	0.204	0.071	1.20
	6	446	285	134	219	1290	68.6	1.18	0.206	0.064	1.07
<b>Pn2 b</b>	1	810	407	617	320	3730	101	9.95	0.318	0.233	2.04
	2	409	270	222	295	3360	93.2	7.09	0.167	0.058	0.908
	3	745	422	589	313	2260	99.7	9.04	0.380	0.273	1.93
	4	584	354	427	327	1320	93.5	13.01	0.255	0.142	1.52
	5	476	274	249	291	4150	98.0	7.74	0.201	0.084	1.20
<b>Pn3 b</b>	1	378	273	229	314	1650	90.2	8.53	0.139	0.043	0.831
	2	382	269	222	311	1600	91.8	8.03	0.153	0.050	0.854
	3	617	365	457	327	1470	94.5	12.0	0.282	0.151	1.63
	4	819	397	633	321	1500	101	10.1	0.316	0.236	2.08
	5	568	358	408	330	1370	92.7	12.6	0.263	0.130	1.49
	6	654	416	549	315	1480	96.2	10.9	0.288	0.238	1.68

\**Bdl*- ниже порога обнаружения

Для *in situ* U-Pb LA-ICP-MS датирования было выполнено 180 анализов. Из них 60 измерений, полученных по 2-м образцам андрадита из Коркодинского месторождения, показали  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  возраста по Конкордии около  $338 \pm 10$  млн лет ( $2\sigma$ , СКВО = 0,63, N=30) и  $345 \pm 5$  млн лет ( $2\sigma$ , СКВО = 1,01, N=30). При этом 120 измерений было выполнено по 4-м образцам андрадитов Полдневского месторождения. Полученные  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  возраста по Конкордии составили около  $290.2 \pm 1.5$  млн лет ( $2\sigma$ , СКВО = 0.50, N=30),  $290.9 \pm 1.5$  млн лет ( $2\sigma$ , СКВО = 0.71, M=30),  $292.4 \pm 1.6$  млн лет ( $2\sigma$ , СКВО = 0,39, N = 30) и  $291,1 \pm 1,6$  млн лет

### **Выводы**

Полученные данные отражают поли-стадийную тектоническую эволюцию пород в пределах Коркодинского гипербазитового массива Среднего Урала. Так, процессы субдукции, наблюдаемые на Среднем Урале привели к формированию первичных ультраосновных пород Коркодинского массива около 400 млн лет назад (Giuliani et al. 2017). Метамофическая переработка последних 396 – 354 млн лет назад (Zoloev et al., 2004), сопряженная с магматической реактивацией и индуцированием щелочных флюидов на Каркодинском массиве, привели к образованию андрадитовой минерализации с характерными REE спектрами сиенитов (Deng et al. 2017). Данные процессы проходили ок. 343±4 млн лет назад в районе Каркодического месторождения (рис. 2). Позднее 290 – 278 млн лет назад в результате последнего регионально-метаморфического этапа Уральского орогенеза, возникли более поздние расплавы, флюиды которых ок. 292±1 млн лет назад привели к образованию Полдневского месторождения с гранатовой минерализации скарного типа.

Таким образом, полученные результаты продемонстрировали важные особенности образования пород Коркодинского гипербазитового массива, включая ультраосновной протолит и магматическую реактивацию. Совокупность данных о возрасте и геохимии редких элементов андрадита позволяют предположить их формирование за счет гидротермальных растворов как щелочного, так и более кислого генезиса.

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

Др. А. Гердесу, др. Р. Альберту, проф. Р.Е. Ботчарникову, проф. Л.Н. Когарко.

### **Библиография**

1. Deng, X., Li, J., Luo, T., Wang, H., 2017. Dating magmatic and hydrothermal processes using andradite-rich garnet U–Pb geochronometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 172, 1–11.
2. Giuliani, G., Pignatelli, I., Fallick, A., Boyce, A., Andriamamonjy, A., Razafindratsimba, S., Khan, T., 2017. Gem andradite garnet deposits demantoid variety. *InColor* 36, 28 – 39.
3. Jamtveit, B., Hervig, R.L., 1994. Constraints on transport and kinetics in hydrothermal systems from zoned garnet crystals. *Science* 263, 505–508
4. Scheibner, B., Wörner, G., Civetta, L., Stosch, H.-G., Simon, K., Kronz, A., 2007. Rare earth element fractionation in magmatic Ca-rich garnets. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 154, 55–74.
5. Sorokina, E.S., Albert, R., Botcharnikov, R., Popov, M., Häger, T., Hofmeister, W., Gerdes, A., 2023. Origin of Uralian andradite (var. demantoid): Constrains from in situ U-Pb LA-ICP-MS dating and trace element analysis. *Lithos* 444 – 445, 107091.
6. Zoloev, K.K., Levin, V.Ya., Moremil, S.I., Shardakova, G.U., 2004. Minerageny and deposits of rare metals, molybdenum, wolfram of Urals. Institute of Geology UrRAS, Yekaterinburg.

*Подсекция 6.3. Общая геология и палеонтология*

*Квесты и мастер-классы по палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии в  
МГРИ*

*Кальбова П.И.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, pikalbova@mail.ru),  
Карташова О.П. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе olesyakartashova111@gmail.com),  
Царев Р.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, roman.tsarev.05@mail.ru)*

**Аннотация**

Приведены данные о квестах и мастер-классах по палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии, проводимых в геолого-палеонтологическом музее МГРИ в рамках интерактивного проекта “Университетские субботы в МГРИ”, дней открытых дверей, а также отдельных экскурсий для школьников Москвы и других городов. Отмечается, что квесты и мастер-классы являются востребованной формой работы с учащимися. Они создают условия для сознательного, активного участия школьников в творческой деятельности, мотивируют их познавательную активность.

В ходе проведения квестов и мастер-классов происходит развитие творческих способностей учащихся (что является важнейшей задачей современной школы), пробуждается инициативность и самостоятельность принимаемых решений, привычка к свободному креативному самовыражению, уверенность в себе, тренируются наблюдательность, сообразительность, зрительная память и речевая культура, расширяется кругозор. У школьников формируются устойчивый познавательный интерес, умения и навыки мыслительной деятельности и самостоятельности в поисках способов решения задач.

**Ключевые слова**

Квесты, мастер-классы, палеонтология, стратиграфия, историческая геология.

**Теория**

В последние годы сотрудники кафедры палеонтологии и региональной геологии провели много квестов и мастер-классов в геолого-палеонтологическом музее МГРИ в рамках интерактивного проекта “Университетские субботы в МГРИ”, дней открытых дверей, а также отдельных экскурсий для школьников Москвы и других городов [1].

Квесты и мастер-классы являются востребованной формой работы с учащимися, где каждый может научиться чему-то новому, интересному и полезному. Они создают условия для сознательного, активного участия школьников в творческой деятельности, приносящей радость преодоления, радость открытия, достижения поставленной цели, мотивируют их познавательную активность.

В ходе проведения квестов и мастер-классов происходит развитие творческих способностей учащихся (что является важнейшей задачей современной школы), пробуждается инициативность и самостоятельность принимаемых решений, привычка к свободному креативному самовыражению, уверенность в себе, тренируются наблюдательность, сообразительность, зрительная память и речевая культура, расширяется кругозор. У школьников формируются устойчивый познавательный интерес, умения и навыки мыслительной деятельности и самостоятельности в поисках способов решения задач.

Многие участники квестов были школьниками младших классов. Следует отдельно отметить, что младший школьный возраст – благоприятный и значимый период для выявления и развития творческого потенциала личности, так как в этом возрасте закладываются основы творческой и образовательной траектории, психологическая база продуктивной деятельности,

формируется комплекс ценностей, качеств, способностей, потребностей личности, лежащих в основе её творческого отношения к действительности.

Задачами проведённых квестов было познакомить школьников с различными возможностями и приёмами изучения геологического материала и развить интерес к этой науке.

В процессе выполнения квеста школьники активно обсуждали заданные темы и помогали друг другу. После каждого квеста проходил мастер–класс, в ходе которого преподаватели оценивали проведённую школьниками работу и путём комментированного показа необходимой последовательности методических подходов передавали свой опыт и советы в определении задач саморазвития школьников. Квесты всегда проходили в доброжелательной атмосфере. Все школьники награждались интересными окаменелостями, а наиболее отличившиеся – памятными подарками.

Сами испытания были весьма разнообразны, рассмотрим некоторые из них.

Квест № 1. Школьникам предлагается коллекция окаменелостей (10–25 образцов), которые необходимо разложить на группы, отвечающие определённым отрезкам геологической истории Земли. Школьникам младших классов надо определить палеозойские, мезозойские и кайнозойские формы. Старшеклассникам следует идентифицировать ископаемые остатки всех систем фанерозоя. В ходе анализа материала обсуждается проблема переотложения окаменелостей [2, 7].

Квест № 2. Юным палеонтологам предлагается коллекция окаменелостей (15–25 образцов), которые необходимо разложить на группы, отвечающие различным формам сохранности окаменелостей [6].

Квест № 3. Школьникам предлагается коллекция раковин ископаемых остатков (брахиопод, двустворок, гастропод) (30–50 образцов), которые, используя отличия в морфологии, необходимо разложить на группы, отвечающие различным видам.

Квест № 4. Участникам предлагается фрагмент раковины ископаемого организма. Используя графическую реконструкцию, необходимо установить исходный размер окаменелости.

Прежде чем приступить к изучению окаменелостей и их определению, в огромном большинстве случаев требуется провести их предварительную подготовку. Это первоочередная и необходимейшая задача, которую называют препарировкой.

В зависимости от характера окаменелостей, от состава горной породы применяются различные способы препарировки. Они основываются на использовании различий в физических и химических свойствах самих ископаемых остатков и включающих их горных пород.

Из различных способов препарировки, важнейшей является механическая препарировка.

Техническим приёмам механической препарировки окаменелостей посвящён квест № 5. От того, насколько качественно выполнена работа на этом этапе в значительной степени зависит успех палеонтологических исследований и ценность их результатов для практического применения в стратиграфических целях.

Школьникам предлагается образец горной породы, в котором находится ископаемый остаток. С помощью молотка, зубила и наковальни (с соблюдением всех требований правил техники безопасности) необходимо извлечь окаменелость.

Квест № 6 посвящён методам химического препарирования окаменелостей.

Вступая во взаимодействие с элементами горной породы, химические реактивы способствуют её разрыхлению. Химическая препарировка требует осторожности и большого внимания со стороны исследователя.

Для разрушения известковой породы применяются разведённые кислоты и, в случае, если окаменелость не карбонатная, а, например, замещена кремнезёмом или пиритом, её вытравливание легко достигается погружением всего образца в раствор. Однако, если и окаменелость также карбонатная, а это бывает значительно чаще, такой способ неприемлем.

Тогда разрыхление породы достигается опусканием в кислоту выступающих, удалённых от ископаемого остатка её участков, или нанесением кислоты по каплям, пипеткой или стеклянной палочкой, на нужные места. Оперировав вблизи окаменелости, можно, для предохранения, покрыть её обнаженные части шеллаком или тонким слоем воска, удаляя их затем спиртом или бензином. Рекомендуется применять 10%-ный раствор соляной кислоты.

В процессе исследования школьникам предлагаются образцы горной породы с окремнёнными [4] или пиритизированными окаменелостями, которые необходимо (с соблюдением всех требований правил техники безопасности) отпрепарировать с использованием 10%-ного раствора соляной кислоты.

Квест № 7. С целью изучения внутреннего строения окаменелостей и установления их систематической принадлежности школьникам предлагаются раковины нуммулитов и трубки-домики многощетинковых червей. Используя молоток и наковальню (с соблюдением всех требований правил техники безопасности) школьники получают поперечные сечения раковин нуммулитов и анализируют их морфологию (рис. 1). Поперечные сечения трубок-домиков полихет школьники изучают, пришлифовывая их на стекле с использованием абразивного порошка и воды [3].

Квест № 8 заключается в том, что каждый школьник получает фрагмент иглы морского ежа, который надо сломать. Сделать это очень легко руками, без использования каких-то специальных приспособлений. После этого анализируется скол игл по спайности кальцита, и обсуждаются состав и строение скелета иглокожих организмов.



Рисунок 1. Образцы нуммулитов *Nummulites distans* Deshayes, полученные в результате изучения внутреннего строения раковин; эоцен Горного Крыма. Длина масштабной линейки 1 см.

В рамках квеста № 9 обсуждаются возможности метода 3D-печати в палеонтологии. Метод 3D-печати, являющийся самой революционной, перспективной и динамично развивающейся технологией последних десятилетий, стал неотъемлемой составной частью самых различных областей производства, науки и быта. Аддитивные технологии заключаются в послойном построении физического объекта по его компьютерной 3D-модели – визуальному графическому образу, полученному с помощью бесконтактного сканирования или моделирования. Модель загружается в программу для печати и по алгоритму, задаваемому

компьютером, изготавливается на 3D– принтере. Школьникам демонстрируется ринхолит *Rhyncolites irinae* Komarov и его копия, выполненная из фотополимерной смолы серого цвета (Formlabs Grey Resin), которая была обработана 3D–сканером RangeVision Spectrum [5], работающим по принципу структурированного подсвета и оснащённым цветными камерами 3.1 Mpix, что позволило передать сложную геометрию и мельчайшие детали объекта с очень высоким 3D разрешением и точностью.

### **Выводы**

В ходе проведённых в МГРИ квестов и мастер–классов, школьникам были показаны возможности развития личного предметного и профессионального интереса к палеонтологии, стратиграфии и исторической геологии. В процессе работы происходит развитие творческих способностей учащихся, пробуждается самостоятельность принимаемых решений и привычка к свободному креативному самовыражению.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Карташова О.П., Царев Р.В., Комаров В.Н. Палеонтологические квесты и мастер–классы в МГРИ// Инновации. Наука. Образование. 2023. № 92. С. 204–218.
2. Комаров В.Н., Юшин К.И. Сом – “палеонтолог” // Природа. 2017. № 9. С. 79–81.
3. Конов А.П., Епифанов В.А., Комаров В.Н. О спирорбиде *Rotularia damesii* Noetling (Annelida, Polychaeta) из верхнеальбских отложений Юго–Западного Крыма // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 57. С. 6–15.
4. Митрофанова А.Д., Сёмина Р.И., Комаров В.Н. О результатах химической препарировки губки *Schizorabdus libycus* Zittel из нижнего маастрихта Горного Крыма // Инновации. Наука. Образование. 2023. № 79. С. 50–61.
5. Соловьев В.И., Игнатъев Н.С., Ерофеев А.В., Комаров В.Н. О первом опыте применения 3D–сканирования, моделирования и печати ринхолитов (Mollusca, Cephalopoda) // Проблемы региональной геологии Северной Евразии. Материалы конференции. М., МГРИ–РГГРУ. 2020. С. 104–107.
6. Чужанова А.П., Комаров В.Н. О коллекции форм сохранности окаменелостей кафедры палеонтологии и региональной геологии МГРИ и её учебно–методическом, научном и просветительском значении // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 20. С. 690–701.
7. Юшин К.И., Комаров В.Н. О новом типе переотложения ископаемых остатков // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 3. С. 52–55.

*Эпибионты на полипниках *Thamnopoera Rigida (Favositida)* из сирачойской свиты  
(верхнефранский подъярус) Южного Тимана*

*Короленко П.С.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, wxrtvoll@yandex.ru),*

*Миронова Д.Н. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, mirono.01@inbox.ru)*

**Аннотация**

Приведены данные о находках эпибионтов на фавозитидах *Thamnopoera rigida* Sokolov из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой). На долю полипников с мшанками приходится 30,0% от общего числа изученных образцов *Thamnopoera rigida*, а на долю полипников с микроконхидами – 22,3%, что свидетельствует об очень частом использовании мшанками и микроконхидами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

**Ключевые слова**

Эпибионты, мшанки, микроконхиды, фавозитиды, *Thamnopoera rigida* Sokolov, сирачойская свита, верхний фран, Южный Тиман.

**Теория**

Детальное изучение эпибионтов чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов, на что неоднократно указывалось в литературе [1–4].

Материалом для данного исследования послужила коллекция фавозитид *Thamnopoera rigida* Sokolov, 1955, численностью 121 экземпляр, находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран).

Кораллы представлены фрагментами ветвистых колоний хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 48 кораллитах *Thamnopoera rigida* (что составляет около 40,0% от общего числа) были найдены различные эпибионты – мшанки и микроконхиды [5]. На 16 кораллитах различные эпибионты были обнаружены совместно.

При детальном анализе имеющихся материалов на 36 экземплярах *Thamnopoera rigida* были найдены мшанки (рис. 1).

Среди мшанок нами были выявлены не менее трёх различных морфотипов. Для их точной диагностики необходимы прозрачные ориентированные шлифы и использование методов томографии.

Чаще всего нами наблюдались массивные обрастающие корковые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата. Подобные колонии обнаружены на 21 кораллите.

Подобные мшанки, по всей видимости, относятся к роду *Atactotoechus* (отряд *Trepotomida*).

Колонии рода *Atactotoechus* могут быть массивными или ветвистыми с прерывисто утолщёнными стенками. Акантопоры отсутствуют или очень редкие и мелкие.

Род *Atactotoechus* объединяет несколько видов, имеющих сравнительно широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода ограничено средним и верхним девоном.

На 14 кораллитах обнаружены колонии, вероятно принадлежащие роду *Leioclema* (отряд *Trepotomida*).

Колонии рода *Leioclema* могут быть разнообразными. Среди них преобладают ветвистые и обрастающие колонии с пятнами из крупных ячеек или мезопор. Устья угловатые или

округлые. Диафрагмы сплошные, редкие в ячейках и частые в многочисленных мезопорах. Акантопоры обычно крупные, обильные.

Все обнаруженные нами мшанки рода *Leioclema* прикреплялись к субстрату только начальной частью – стелющимся, обрастающим субстрат основанием, от которого, постепенно поднимаясь вверх, развивалась ветвистая колония.

Род *Leioclema* объединяет много видов, имеющих широкое географическое распространение. Стратиграфическое распространение рода охватывает интервал от ордовика до триаса.

На девяти образцах наблюдались ветвящиеся колонии, состоящие из однорядно расположенных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке, по архитектуре очень напоминающие род *Eridotrypa*, известный из ордовикских, силурийских и девонских отложений различных регионов мира.

На 19 образцах выявлена только одна колония мшанок. На 10 образцах наблюдалось две колонии, на трёх образцах – три колонии и на четырёх образцах – четыре колонии мшанок. Всего, таким образом, выявлено не менее 64 колоний мшанок.

Размеры мшанок варьируют от 0,5 мм до 46,0 мм, но обычно составляют порядка 3,0–15,0 мм. Обычно мшанки покрывают небольшие участки, но у четырёх экземпляров (длина 30,0; 35,0; 42,0; 46,0 мм соответственно) колония мшанок покрывает обломок кораллита на всю его длину. Возможно, данные колонии были и крупнее.

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – *Palaeoconchus cf. tenuis* (Sowerby, 1839). Трубки *Palaeoconchus cf. tenuis* обнаружены на 27 кораллитах. Всего обнаружено не менее 72 трубок палеоконхусов. Число трубок на кораллитах различно. Одна трубка наблюдалась у 14 образцов, две трубки – у шести образцов, три трубки – у пяти образцов. Иногда трубки очень обильны. На одном образце наблюдалось 12 трубок, а на другом сразу 19 трубок. Микроконхиды прикреплены к кораллитам хаотично, располагаясь без каких-то закономерностей в самых разных их местах. Обычно микроконхиды располагаются на расстоянии друг от друга. Однако часто трубки расположены очень тесно, почти соприкасаясь друг с другом. Крошечные трубки *Palaeoconchus cf. tenuis* примерно в равных пропорциях наблюдались как в чашках кораллитов (58%), так и в промежутках между ними на возвышениях (42%). Впоследствии, по мере роста, занимаемая ими площадь поверхности кораллита увеличивалась.

Среди *Palaeoconchus cf. tenuis* отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане. В совершенно равных пропорциях наблюдались как целые, так и в различной степени вскрытые трубки. Обычно вскрытыми оказались более крупные трубки.

Насколько можно судить по экземплярам хорошей сохранности, трубки характеризуются гладкой наружной поверхностью. У одного экземпляра на поверхности наблюдались линии роста, совпадающие с пережимами. Расстояние между пережимами составляет 0,14–0,3 мм.

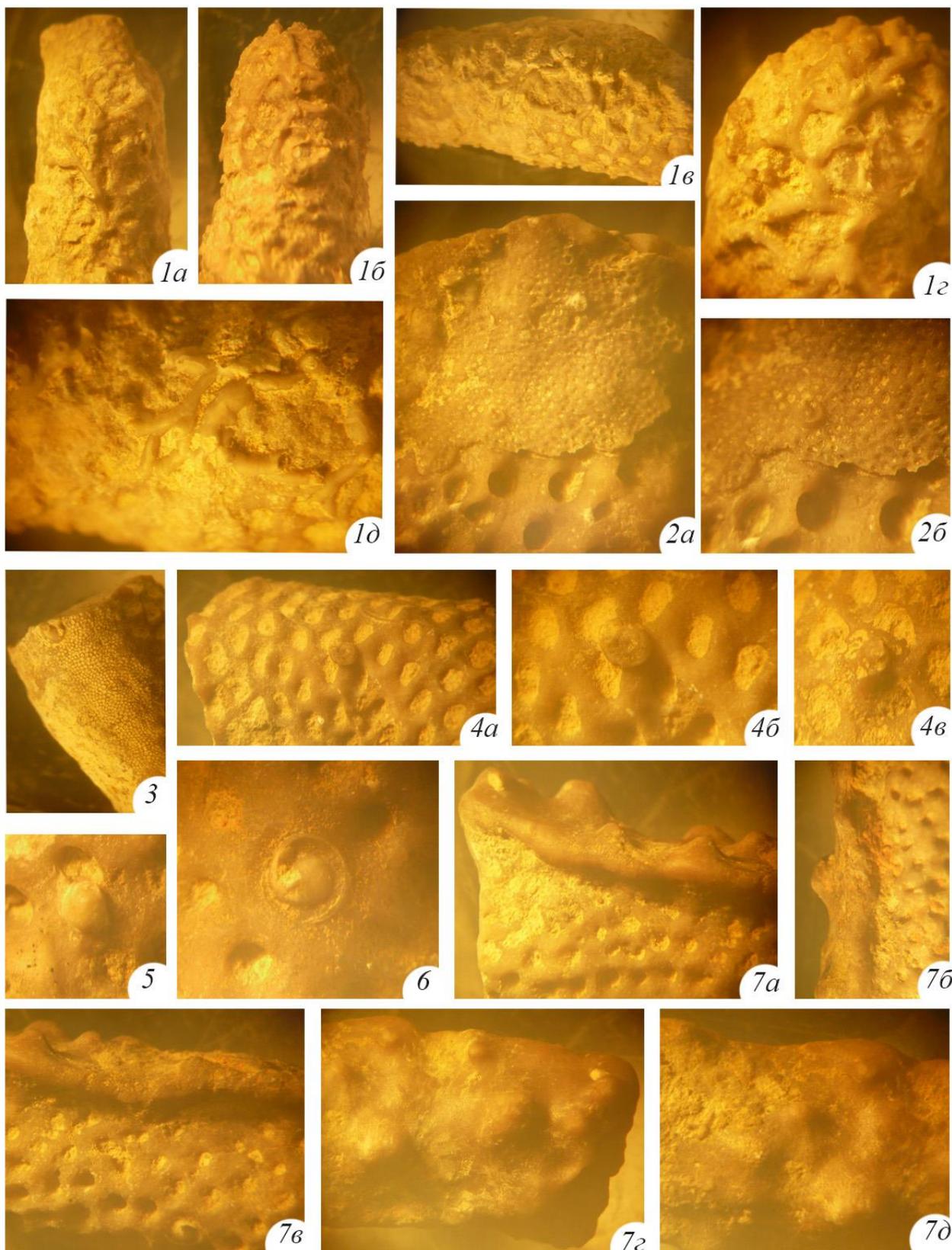


Рисунок 1. Мшанки и микроконхиды *Palaeosonchus* cf. *tenuis* на полипниках *Thamnopora rigida*.  
Верхний девон, верхнефранкий подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта  
(урочище Сирачой). Увеличено

Размеры наблюдаемых *Palaeosconchus cf. tenuis* варьируют от 0,1 до 2,8 мм, но обычно составляет около 0,1–1,3 мм в диаметре. В [6] размеры аналогичных раковин составляют 0,8–2,9 мм. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет порядка 0,6 мм, обычно он меньше.

Следует отметить, что часто на кораллитах одновременно наблюдались различные эпибионты: мшанки *Atactotoechus* и ветвящиеся колонии (два образца); мшанки *Atactotoechus* и *Leioclema* (четыре образца); мшанки *Atactotoechus* и *Leioclema* и микроконхиды (шесть образцов); ветвистые мшанки, *Atactotoechus* и микроконхиды (два образца); ветвистые мшанки, *Leioclema* и микроконхиды (два образца); мшанки *Atactotoechus* и микроконхиды (один образец); мшанки *Leioclema* и микроконхиды (четыре образца); ветвящиеся колонии мшанок и микроконхиды (один образец).

### **Выводы**

Прикрепление мшанок и микроконхид, по нашему мнению, было всегда посмертным. Живые кораллы препятствовали бы подобному поселению. Однозначным доказательством посмертного прикрепления микроконхид служит обнаружение их трубки на сколе кораллита.

На долю полипняков с мшанками приходится 30,0% от общего числа изученных образцов *Thamnopora rigida*, а на долю полипняков с микроконхидами – 22,3%, что свидетельствует об очень частом использовании мшанками и микроконхидами скелетов погибших кораллов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости мшанок и микроконхид в палеобиоценозах.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2022. 148 с.
2. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипняках *Tabulophyllum weberi* (*Tetracoralla*) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 77–91.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. **Девонские эпибионты**. М.: ООО «ТИИЦ», 2021. 82 с.
4. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. *Спирифериды* *Licharewia rugulata* и эпибиоз // *Природа*. 2023. № 8. С. 41–47.
5. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на полипняках *Thamnopora rigida* Sokolov (*Favositida*) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 41–56.
6. Vinn O., Wilson M.A. Microconchid-dominated hardground association from the Late Pridoli (Silurian) of Saaremaa, Estonia // *Palaeontologia Electronica*. 2010. No 13.2.9A. P. 1–12.

*О редкой находке ожелезнённой раковины нуммулита из эоценовых отложений Горного  
Крыма*

*Кувыкин А.С.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, akuvykin01@gmail.com),  
Царев Р.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, roman.tsarev.05@mail.ru)*

**Аннотация**

Приведены данные изучения интенсивно лимонитизированной раковины *Nummulites distans* Deshayes из нуммулитовых известняков симферопольской свиты (эоцен), относящейся к нуммулитовым зонам *Nummulites nemkovi*, *N. distans* и *N. polygyratus*. Лимонит выстилает боковые стенки раковины, инкрустирует септы и в очень редких случаях заполняет всё пустотное пространство между соседними септами. Возникновение лимонита, вероятно, связано с процессами разложения пирита в окислительных условиях. Единичные находки ожелезнённых раковин нуммулитов свидетельствуют о чрезвычайной редкости подходов для образования пирита локальных очагов восстановительных условий.

**Ключевые слова**

Лимонитизация, нуммулиты, симферопольская свита, эоцен, Горный Крым.

**Теория**

В последние годы сотрудники кафедры палеонтологии и региональной геологии провели много квестов и мастер–классов в геолого–палеонтологическом музее МГРИ в рамках интерактивного проекта “Университетские субботы в МГРИ”, дней открытых дверей, а также отдельных экскурсий для школьников Москвы и других городов.

Квесты и мастер–классы являются востребованной формой работы с учащимися, где каждый может научиться чему–то новому, интересному и полезному. Они создают условия для сознательного, активного участия школьников в творческой деятельности, приносящей радость преодоления, радость открытия, достижения поставленной цели, мотивируют их познавательную активность.

17 ноября 2023 г. в ходе подготовки к очередной встрече со школьниками в учебной коллекции нуммулитов была обнаружена сильно ожелезнённая с поверхности немного изогнутая раковина диаметром 2,8 см (рис. 1). В ходе учебной геологической практики в Крыму раковины подобной морфологии и размера студенты и преподаватели обычно определяют как *Nummulites distans* Deshayes. Вес раковины указывал на то, что и внутренняя её часть ожелезнена.

Раковина, вне всякого сомнения, происходит из нуммулитовых известняков симферопольской свиты [9], относящейся к нуммулитовым зонам *Nummulites nemkovi*, *N. distans* и *N. polygyratus*. Точное место обнаружения раковины, к сожалению, неизвестно. С очень высокой долей вероятности она была найдена в разрезе на г. Сувлу–Кая (рис. 2). Разрез здесь представлен известняками белыми, с лёгким желтоватым оттенком нуммулитовыми, органогенно–обломочными плотными, с яснокристаллическим кальцитовым цементом. В породе отмечается обилие глауконита (30–40%) [1, 5]. В рельефе отложения образуют отчётливо выраженный навес над обрывом, своеобразные формы выветривания в виде “каменных истуканов”, а также пологий ступенчатый склон “надыстуканной” части. Фация нуммулитовых известняков в Горном Крыму представляет собой нуммулитовую банку [5]. Отложения накапливались в открытом тепловодном бассейне с нормальной солёностью в пределах шельфовой равнины под воздействием донных течений [4].

Фоссилизация, представляющая собой процесс возникновения окаменелостей, характеризуется крайней сложностью, многоступенчатостью и длительностью. Физико–химические явления, включающие осаждение вещества из морской воды и многочисленные более поздние события, приводят к образованию в осадке агрегатов самых различных

аутигенных компонентов, которые могут принимать участие в заполнении пустот в скелете погибших организмов либо замене его исходного вещества. По первому пути идёт минерализация остатков, по второму – процесс замещения (метасоматоз). Минерализация и замещение часто начинаются сразу же после гибели организма и продолжаются на стадии формирования местонахождения в зоне седиментации и литификации осадка, а также в ходе его разрушения метаморфизмом, выветриванием и другими процессами. В конечном итоге, остатки, преобразованные фоссилирующими минералами и их соединениями, часто становятся псевдоморфозами.

Число аутигенных компонентов, которые могут принимать участие в заполнении пустот и в замещении вещества остатков организмов в карбонатных отложениях невелико. К основным из них относятся кальцит и доломит; подчинённую роль играют сульфатные минералы (гипс, ангидрит), кварц и другие минеральные формы кремнезёма, пирит, глауконит, окислы и гидроокислы железа [7]. Часть новообразованных компонентов появляется в осадке на стадии диагенеза в условиях изменчивости параметров физико–химических обстановок, причиной чего в значительной мере является жизнедеятельность бактерий. На этом этапе в процессе литификации осадка происходит, в том числе, выпадение вещества из поровых растворов и кристаллизация различных минералов в пустотах. В процессе диагенеза и катагенеза скелетные остатки могут быть также в различной степени замещены аутигенными компонентами – с частичным или полным нарушением первоначальной микроструктуры.

Главным аутигенным железистым минералом карбонатных отложений является пирит. Основная его масса образуется на ранних стадиях диагенетического перераспределения вещества в осадке – с этим связано присутствие прослоев и конкреций пирита среди известняков. Более поздние, катагенетические формы пирита чаще всего встречаются в отложениях нефтяных месторождений, где его образование происходит в присутствии серных бактерий, развивающихся за счёт углеводов [7]. Возможно образование пирита и при высокотемпературных гидротермальных глубинных процессах.

Псевдоморфозы пирита образуются в основном в результате замещения органического вещества, наиболее часто растительного происхождения. Пиритизация мягких частей захоронённых животных также довольно обычное явление. При данном процессе обычно происходит полное уничтожение любой структуры мягких тканей. Нередко у двустворчатых моллюсков на внутренней поверхности створок в местах прикрепления мускулов можно обнаружить кристаллы пирита, свидетельствующие о захоронении раковин вместе с остатками мягкого тела, по крайней мере, с фрагментами мускулов. Нередко пирит образуется и на поверхности скелетного остатка, когда внутри него сохранилось мягкое тело. Мелкие объекты выполняются и замещаются пиритом обычно целиком, а крупные лишь частично.

Ожелезнённые остатки нуммулитов в Горном Крыму встречаются крайне редко. Известна единственная находка пиритизированной раковины, которая была подробно описана в [2, 3].

Обычно в раковинах нуммулитов не наблюдается никакой минерализации (рис. 3, 4). Часто внутри раковин отмечается глауконит и небольшое количество лимонита. Мы неоднократно наблюдали это на лабораторных занятиях по основам палеонтологии, в ходе которых студенты для изучения строения нуммулитов в массовом количестве раскалывают их раковины, а также на встречах со школьниками.

Указания на то, что полости в раковинах нуммулитов нередко заполнены аутигенным глауконитом имеются и в [5, 6]. По устному сообщению Е.Ю. Закревской (Государственный геологический музей имени В.И. Вернадского) ей также приходилось наблюдать полости раковин нуммулитов, частично выполненные глауконитом и гидроокислами железа.

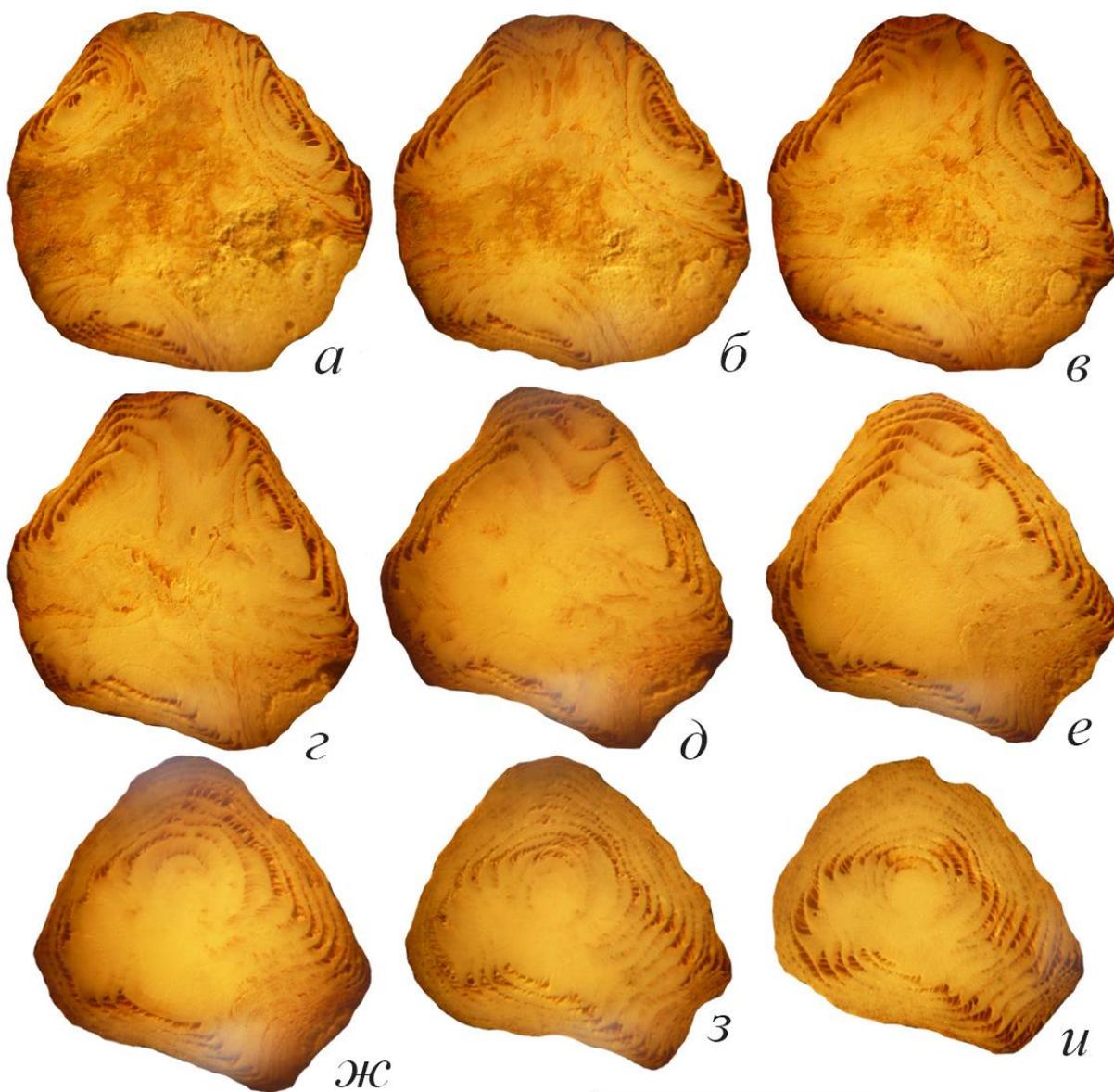


Рисунок 1. Последовательные поперечные сечения раковины *Nummulites distans* Deshayes. Средний палеоген, симферопольская свита; восточная часть Бахчисарайского района, южный склон г. Беш–Кош. Фотографии выполнены с помощью цифрового фотоаппарата Panasonic DMC–LS80 и бинокулярного микроскопа МБС–1. Длина масштабной линейки 2 см.

Для изучения внутреннего строения обнаруженной раковины нами была использована методика сериальных поперечных сечений [8]. Раковина вручную пришлифовывалась на стекле с помощью абразивного порошка. После промывки приполированная поверхность фотографировалась (рис. 1).

### **Выводы**

Проведённое исследование показало, что внутри раковины нет пирита. Наблюдается лимонит, возникновение которого, вероятно, связано с процессами разложения пирита в окислительных условиях. Интенсивность лимонитизации очень высокая и равномерная для разных частей раковины. Лимонит выстилает боковые стенки раковины, инкрустирует септы и в очень редких случаях заполняет всё пустотное пространство между соседними септами.

Единичные находки ожелезнённых раковин нуммулитов свидетельствуют о чрезвычайной редкости подходивших для образования пирита локальных очагов восстановительных условий.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Воронина А.А. Палеогеновая система // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма (стратиграфия кайнозоя, магматические, метаморфические и метасоматические образования). М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 4–36.
2. Комаров В.Н., Агафонова Г.В., Ковальчук Е.В. Как каменная монетка стала “золотой” // Природа. 2017. № 2. С. 61–65.
3. Комаров В.Н., Синкин П.Э., Агафонова Г.В., Ковальчук Е.В.. Первая находка фрамбоидального пирита в раковине нуммулита из симферопольской свиты (эоцен) Горного Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 6. С. 13–21.
4. Копаевич Л.Ф., Лыгина Е.А., Никишин А.М., Яковишина Е.В. Крымская эоценовая нуммулитовая банка // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2008. № 3. С. 64–66.
5. Лыгина Е.А., Копаевич Л.Ф., Никишин А.М., Шалимов И.В., Яковишина Е.В. Нижне-среднеэоценовые отложения Крымского полуострова: фациальные особенности и условия осадконакопления // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2010. № 6. С. 11–22.
6. Портная Е.Л. Палеоэкологические исследования пограничных горизонтов симферопольских и бодракских отложений Бахчисарайского района Крыма (район учебной практики МГРИ) // Известия вузов. Геология и разведка. 1979. № 6. С. 19–22.
7. Фортунатова Н.К., Карцева О.А., Баранова А.В., Агафонова Г.В., Офман И.П. Атлас структурных компонентов карбонатных пород М.: ВНИГНИ, 2005. 440 с.
8. Царев Р.В., Кувыкин А.С., Комаров В.Н. О новой находке ожелезнённой раковины нуммулита из симферопольской свиты (эоцен) Горного Крыма // Инновации. Наука. Образование. 2023. № 92. С. 195–203.
9. Цейслер В.М., Караулов В.Б., Туров А.В., Комаров В.Н. О местных стратиграфических подразделениях в восточной части Бахчисарайского района Крыма // Известия вузов. Геология и разведка. 1999. № 6. С. 8–18.

*Микроконхиды на полипниках четырёхлучевых кораллов *Tabulophyllum weberi* из  
сирачойской свиты (верхний фран) Южного Тимана  
Лебеядцева В.Я.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, vika3581@yandex.ru)*

**Аннотация**

Приведены данные о находках микроконхид на четырёхлучевых кораллах *Tabulophyllum weberi* (Leb.) из сирачойской свиты (верхний фран) на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой). На долю образцов с микроконхидами приходится 18,0% от общего числа изученных кораллов, что свидетельствует о частом использовании микроконхидами кораллитов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости микроконхид в палеобиоценозах.

**Ключевые слова**

Эпибионты, микроконхиды, четырёхлучевые кораллы, *Tabulophyllum weberi* (Leb.), сирачойская свита, верхний фран, Южный Тиман.

**Теория**

Детальное изучение эпибионтии чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов, на что неоднократно указывалось в научной литературе [1–11].

Материалом для данного исследования послужила коллекция четырёхлучевых кораллов *Tabulophyllum weberi* (Leb.), находящаяся на хранении на кафедре палеонтологии и региональной геологии МГРИ. Коллекция, численностью 1231 экземпляр, была собрана сотрудниками Палеонтологического Бюро на Южном Тимане на р. Ухта (урочище Сирачой) в стратотипическом разрезе сирачойской свиты (верхний фран).

Кораллы из коллекции представлены фрагментами ветвистых колоний хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 237 образцах *Tabulophyllum weberi* (что составляет 19,3% от их общего числа) были найдены различные эпибионты – микроконхиды и мшанки.

Среди микроконхид нами предварительно установлен один вид – *Palaeosonchus cf. tenuis* (Sowerby, 1839). У нас не вызывает никакого сомнения то, что систематический состав обнаруженных микроконхид шире указанного. Для их точной диагностики необходимо использование сканирующего электронного микроскопа.

Трубки *Palaeosonchus cf. tenuis* обнаружены на 222 кораллитах (рис. 1). Всего выявлено не менее 1145 трубок палеоконхусов.

Расположение трубок различно. Когда к кораллиту прикреплена одна трубка, она, естественно, располагается с какой-то одной его стороны. Когда к кораллиту прикреплены две трубки, они уже могут быть расположены, как с одной, так и с двух разных сторон. Анализ показывает, что ровно у половины изученных образцов трубки расположены только с одной стороны кораллита. У другой половины экземпляров трубки расположены со всех сторон – это особенно хорошо заметно, когда на кораллитах развито много мелких трубок.

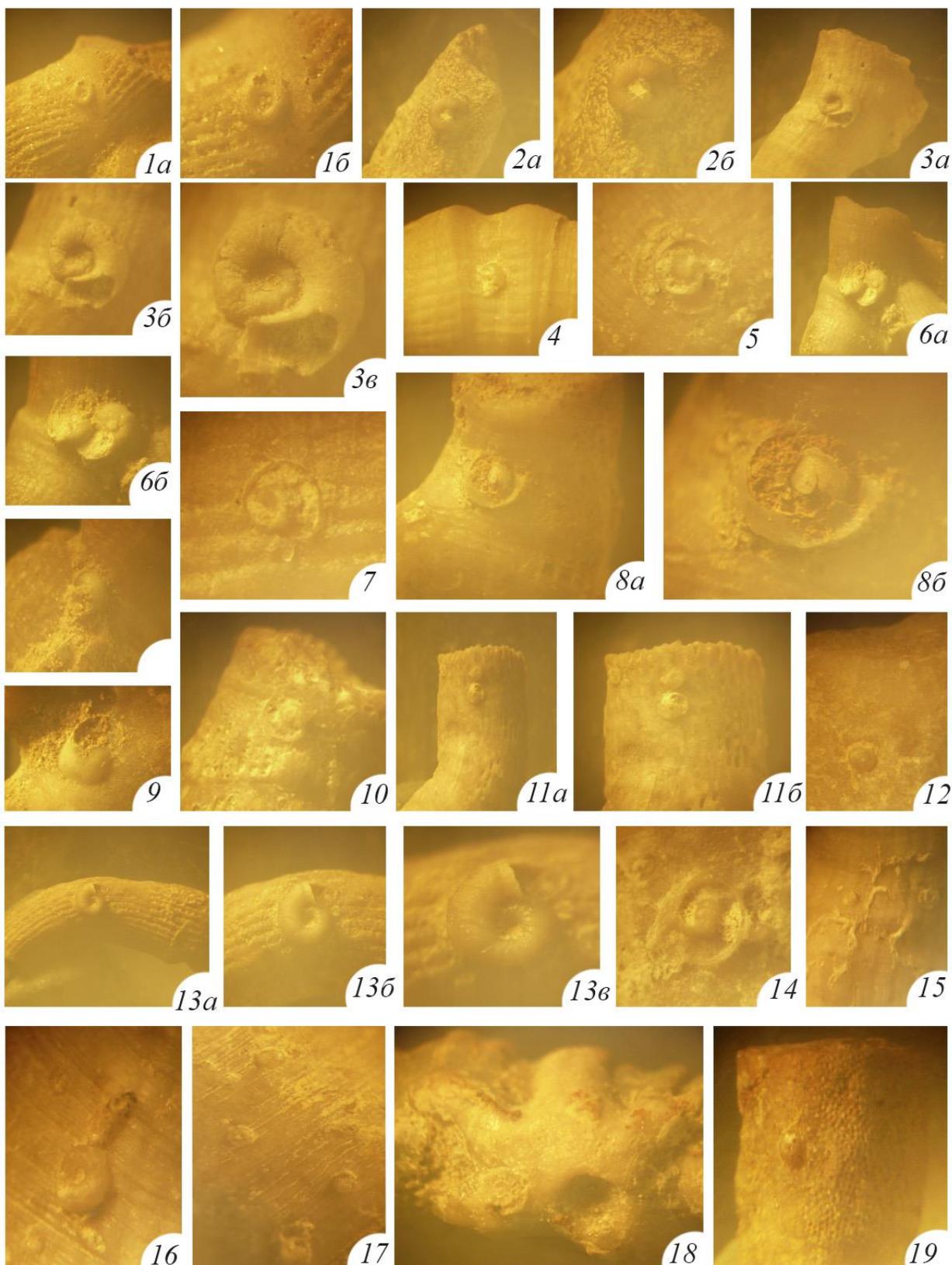


Рисунок 1. Микроконхиды *Palaeosonchus cf. tenuis* (Sowerby) на кораллитах *Tabulophyllum weberi*. Верхний девон, верхнефранкий подъярус, сирачойская свита; Южный Тиман, р. Ухта (урочище Сирачой). Увеличено

Микроконхиды, как правило, необычайно обильны. Максимальное их число на одном кораллите – 40 экземпляров.

Обычно трубки располагаются на расстоянии друг от друга. Однако нередко они могут примыкать на створках друг к другу очень тесно. Трубки могут соприкасаться или даже нарастать друг на друга.

Как уже было отмечено, кораллы *Tabulophyllum weberi* характеризуются продольной ребристостью. Крошечные (менее 0,1 мм) трубки *Palaeosonchus cf. tenuis* примерно в равных пропорциях изначально поселялись как на пониженных, так и на возвышенных участках поверхности кораллитов. Впоследствии, по мере увеличения размера трубок, они занимали всё большую площадь.

Среди *Palaeosonchus cf. tenuis* отмечены лишь спиральные округлые трубки. Тем не менее, следует отметить, что сохранность большинства *Palaeosonchus* недостаточно хорошая и потенциально имевшиеся распрямлённые части трубок, возможно, могли быть обломаны.

Часто полые трубки *Palaeosonchus cf. tenuis* частично или полностью вскрыты. Внутренняя поверхность трубок иногда ожелезнена. Целые трубки наблюдаются несколько реже. Трубки обычно характеризуются гладкой наружной поверхностью.

У четырёх крупных (2,0 мм, 2,1 мм, 2,6 мм, 3,2 мм) экземпляров хорошей сохранности наблюдались отчётливые следы нарастания, расстояние между которыми составило 0,09 мм, 0,14 мм, 0,23 мм и 0,11 мм соответственно. Следы нарастаний на поверхности трубок выглядят как пережимы, придающие им чётковидное строение.

Размеры изученных *Palaeosonchus cf. tenuis* очень небольшие. На долю трубок, размер которых менее 0,1 мм, приходится 44,5% от общего числа палеоконхусов, а на долю трубок, размер которых варьирует от 0,1 мм до 1,3 мм, приходится 48,8%. И лишь 6,7% от общего числа составляют трубки, размер которых – 1,4–3,2 мм.

У самого крупного палеоконхуса (3,2 мм) измеренный диаметр трубки в области апертуры составляет около 1,0 мм. У других экземпляров эти размеры меньше.

### **Выводы**

Прикрепление изученных микроконхид могло быть как прижизненным, так и посмертным.

В пользу прижизненного прикрепления трубок говорит их расположение на кораллитах хорошей сохранности (с сохранившейся эпитекой), а также частое (50% от общего числа образцов) расположение на всей площади кораллитов. Это хорошо заметно, когда на кораллитах развито много мелких трубок.

Частое наличие на кораллитах спиралей разного размера может свидетельствовать о последовательном поселении микроконхид в несколько этапов. На некоторых кораллитах наблюдаются трубки одинакового размера. Это говорит о том, что их прикрепление было одновременным. В пользу прижизненного прикрепления микроконхид может свидетельствовать их расположение у края чашки кораллита, при этом в самой чашке трубок не наблюдается.

В пользу посмертного прикрепления говорит расположение палеоконхусов на кораллитах с разрушенной внешней стенкой, а также прикрепление трубок только с одной стороны кораллитов.

На 24 кораллитах наблюдалось совместное нахождение микроконхид и мшанок. В двух случаях было зафиксировано прикрепление раковины микроконхиды к корковым колониям мшанок. У одного из образцов на звёздчатой колонии мшанок размером 10,0 мм было отмечено поселение двух микроконхид размером 1,3 и 1,8 мм соответственно.

На долю образцов с микроконхидами приходится 18,0% от общего числа изученных кораллов, что свидетельствует о частом использовании микроконхидами кораллитов в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о массовости микроконхид в палеобиоценозах.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лещук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2022. 148 с.
2. Вайтиева Ю.А., Волкова Е.А., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах продуктид *Aulosteges horrescens* (Verneuil) (Brachiopoda) из байтуганских слоёв (нижнеказанский подъярус) окрестностей села Байтуган (Самарская область) // *Инновации. Наука. Образование*. 2022. № 71. С. 270–282.
3. Вайтиева Ю.А., Царев Р.В., Комаров В.Н. О находках эпибионтов и следов жизнедеятельности сверлильщиков на раковинах атрипид *Iowatrypa timanica* (Markovsky) (Brachiopoda) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2023. № 89. С. 41–55.
4. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипниках *Tabulophyllum weberi* (Tetracoralla) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 77–91.
5. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. **Девонские эпибионты**. М.: ООО «ТИИЦ», 2021. 82 с.
6. Комаров В.Н., Самохвалов С.А., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Датские рожницы: крымские кранииды – взгляд из глубины времён // *Природа*. 2023. № 1. С. 42–49.
7. Комаров В.Н., Волкова Е.А., Качалина М.Д. Брахиоподы *Estonirhynchia estonica* острова Сааремаа // *Природа*. 2023. № 4. С. 60–65.
8. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. *Спирифериды* *Licharewia rugulata* и эпибиоз // *Природа*. 2023. № 8. С. 41–47.
9. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на полипниках *Thamnopora rigida* Sokolov (Favositida) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 41–56.
10. Сёмина Р.И., Вайтиева Ю.А., Комаров В.Н. О находках микроконхид на раковинах атрипид *Iowatrypa timanica* (Markovsky) (Brachiopoda) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2023. № 89. С. 56–70.
11. Ширяева П.В., Монгуш А.Э., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах спириферид *Cyrtina praecedens* Kozłowski и *Howellella angustiplicatus* Kozłowski (Brachiopoda) из борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 61–76.

*Отложения юрского возраста в районе Гжельского глиняного карьера  
Лещук С.Э. \*(РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [svyatoslav142003@gmail.com](mailto:svyatoslav142003@gmail.com)),  
Ульянова Д.В. (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, [ulyanova.fmm@gmail.com](mailto:ulyanova.fmm@gmail.com)),  
Румянцев Н.Д. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [runidmy1111@gmail.com](mailto:runidmy1111@gmail.com))*

#### **Аннотация**

В работе описаны обнаруженные в стенке нового Коняшинского глиняного карьера отложения среднеюрского возраста, сделан краткий обзор палинологии и реконструкций среднеюрских палеообстановок Подмосковья и сделаны предположения о палеообстановках в микрорегионе на период средней юры.

#### **Ключевые слова**

Средняя юра в Гжели, палеообстановки Подмосковья, байосс, бат, келловей.

#### **Теория**

В ходе подмосковной практики 2023 года в новом Коняшинском глиняном карьере были обнаружены среднеюрские отложения, залегающие на породах каменноугольного возраста, которые были описаны в другом докладе. В связи с проведением активных вскрышных работ на участке развития данных отложений и их локальным их распространением, было принято решение задокументировать все доступные на данный момент объекты, для чего было проведено несколько выездов на карьер уже вне времени подмосковной практики.

Как уже было указано во вступительном абзаце, юрские отложения залегают на карбоновых. Контакт не ровный, местами маркируется тёмным прослоем, предположительно палеопочвой (рис. 1), что согласуется с литературными данными [1], так же местами маркером границы служат выходы подземных вод. Так же в нижней части юрских отложений присутствуют прослои, содержащие доломитовый песок (рис. 2.2), предположительно являющийся продуктом действия оловых процессов на нижележащую щёлковскую толщу.



Рисунок 1. Контакт юры и карбона в южной стенке карьера, маркируемый палеопочвой, для большей наглядности палеопочва выделена красным контуром

Непосредственно сами юрские отложения представлены коричнево-серыми глинами, местами ожелезнёнными и имеющими явную слоистость (рис. 2), которая представлена прослоями самой глины, прослоями богатыми битумоподобной органикой (рис. 2.1) и прослоями с доломитовым песком. Предполагается, что такая слоистость обусловлена сезонными изменениями осадконакопления в обстановке приморских болот, вероятно мангровых, что

согласуется с данными литературы [2]. Данные палеообстановки позволяют причислить отложения к келловейским так, как именно в этот период наблюдается обширная морская трансгрессия.

Однако богатые органикой глины характерны и для более древних байос-батских отложений, соответствующих биому пойменных болот [1, 4, 5], где ритмичность отложений формируется под влиянием сезонных колебаний стока реки. Дабы минимизировать вероятность ошибки в интерпретации данных, будет проведён палинологический анализ образцов, предпосылкой к проведению которого является наличие сведений [4, 5] о значительной разнице растительных сообществ байоса-бата и келловея, так основными возрастными маркерами могут являться динофлагелляты, свидетельствующие о морских обстановках осадконакопления, и пыльца *Classopollis*, получивших широкое распространение именно в келловее, при отсутствии таковых (с учётом успешного проведения анализа), будет сделан вывод о принадлежности отложений к байосу-бату.

Отдельного необходимо упомянуть, что в данном районе уже описывались отложения именно келловейского яруса [3], так же литературные данные [6] свидетельствуют о наличии между отложениями бата и келловея небольшого перерыва в осадконакоплении, что не наблюдается в нашем случае, а следовательно, более вероятно, что описываемые отложения накапливались только в один из описанных периодов.



Рисунок 2. Юрские отложения, демонстрирующие наличие ритмичной слоистости: 1 – обогащённая органикой глина; 2 – прослой, содержащий доломитовый песок; 3 – общий вид, включающий закопашку

Говоря о верхней границе юры (рис. 3), необходимо отметить, что она крайне неровная, сильно ожелезнена и маркируется переотложенным доломитовым песком, согласно Арешину [1], оловым. Вышележащие отложения носят явный флювиогляциальный характер (пески от мелких до крупных, с небольшим количеством грубообломочного материала, слабосортированные). В целом, как уже было сказано в самом начале, данные отложения представлены весьма локально, что хорошо заметно на общей фотографии стенки карьера (рис. 4).



Рисунок 3. Контакт юрских и флювиогляциальных отложений южной стенке карьера, маркированный доломитовым песком



Рисунок 4. Юрские отложения в юго-восточной стенке карьера, для большей наглядности выделены красным контуром

Так же необходимо упомянуть, что в отложениях, подвергшихся сильному техногенному воздействию, литология которых указывает на их юрское происхождение, были обнаружены фрагменты углефицированной древесины, пиритизация, кварцевая галька и светло-серые дроблёные, слабоокатанные, так бы вдавленные, кремни (рис. 5).



Рисунок 5. Образцы из юрских отложений, подвергшихся техногенному (бульдозеры) воздействию: 1-2 – углефицированная древесина; 2-3 – пиритизация; 4 – глина с галькой; 5 – кремний

### **Выводы**

Подводя итог выше сказанному, можно заключить – основными целями данного исследования были: документация новообнаруженных юрских отложений и уточнение данных о палеообстановках в микрорегионе, что в дальнейшем может послужить основой для характеристики более молодых отложений и выделения основных особенностей осадконакопления в исследуемом районе (Коняшинский карьер).

### **Благодарности**

Выражаем благодарность доценту кафедры общей геологии и геологического картирования РГГРУ им. Серго Орджоникидзе Погребс Наталье Анатольевне, а также сотруднику Минералогического музея им. А.Е.Ферсмана Марии Александровне Комагоровой.

### **Библиография**

1. Арешин, А. В. Палеопочвы и опыт реконструкции палеоландшафтов мезозоя Московского региона : специальность 03.02.13 "Почвоведение" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Арешин Александр Викторович. – Москва, 2011. – 25 с. – EDN QHRLSP.
2. Новиков, И. А. Батские коры выветривания Московской области / И. А. Новиков ; Новиков И. А.; Российский гос. геологоразведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе. – Москва : Реал Тайм, 2011. – 55 с. – ISBN 978-5-903025-37-4. – EDN QKJZHN.
3. 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. 1 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. – М. :Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023. – С. 79-82. – ISBN 978-5-907594-12-8 (Том 1) – ISBN 978-5-907594-11-1
4. Ростовцева, Ю. И. Новые данные к палинологической характеристике среднеюрских отложений на северо-западе Москвы2 / Ю. И. Ростовцева // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2011. – № 5. – С. 48-53. – EDN ОКМКМЛ.
5. Ростовцева, Ю. И. Палинологическая характеристика кудиновской свиты (средняя юра) Подмосковья / Ю. И. Ростовцева // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2013. – Т. 88, № 5. – С. 15-21. – EDN TYNZCR.
6. Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Шестое Всероссийское совещание. 15-20 сентября 2015 г., Махачкала. Научные материалы / В.А. Захаров (отв. ред.), М.А. Рогов, А.П. Ипполитов (редколлегия). Махачкала: АЛЕФ, 2015. 340 с.

*Обзор специфических толщ доломитов, перекрывающих глины шелковской свиты в районе  
Гжельского глиняного карьера.*

*Лукин Д.С.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, daniluhin25@gmail.com),  
Сафаров А. И. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, aminsafarov635@gmail.com),  
Ульянова Д.В. (Минералогический Музей им. А.Е. Ферсмана РАН, uyanova.fmm@gmail.com)*

**Аннотация**

Приведены результаты изучения отложений Коняшинского карьера, перекрывающих шёлковскую толщу, представленную цветными глинами, и стратиграфически соответствующих амерьевской свите гжельского яруса верхнего карбона.

Опираясь на палеонтологические особенности и характерное залегание пород сделаны выводы о палеоклиматической и палеогеографической обстановке в регионе. Эти исследования в последствии могут быть использованы для характеристики более молодых отложений, а также для выделения особенностей осадконакопления в изучаемом районе (Коняшинский карьер).

**Ключевые слова**

Гжельский ярус, амерьевская свита, Коняшинский карьер, верхний карбон Московской синеклизы.

**Теория**

В ходе подмосковной практики 2023 года в новом Коняшинском карьере были обнаружены отложения, перекрывающие глины шелковской толщи. Так как на месте развития этих отложений, а оно весьма локально, происходили активные вскрышные работы, было принято решение задокументировать все доступные для наблюдения объекты на данный момент, для чего было проведено несколько выездов на карьер уже вне времени проведения практики.

По литературным данным, [1], исследуемые нами отложения стратиграфически соответствует амерьевской свите гжельского яруса верхнего карбона. Они перекрывают шелковскую толщу, представленную цветными глинами, именно это геологическое образование является главной причиной существования, изучаемого нами карьера. Отложения представлены [1] доломитовыми песками и песчаниками частично переработанными эоловыми процессами, в нашей части разреза это соответствует нижним серо—зеленым доломитам (слой 2). Вверх по разрезу доломитовые песчаники сменяются органогенными и органогенно-детритовыми известняками, в нашей части разреза это соответствует желтым доломитам с многочисленными фаунистическими остатками (слой 3). В работе предыдущих авторов указывается, что были встречены представители родов *Schezodus* и *Praemyonia* и отмечается, что современные представители этих групп организмов могут существовать в пресноводных бассейнах.

Во время проведенных группой выездов было выявлено, что южном борту карьера обнажаются снизу вверх (рисунок 1, 2):

Слой 1: глины шелковской толщи серо-зеленоватые, видимая мощность в уступе 35 см.

Слой 2: доломиты серо-зеленые плотные, в нижней части рыхлые. Фауны не обнаружено, граница с нижележащей глиной определяется по разгрузке воды. Мощность 0,5 м.

Слой 3: доломиты белые, желтые до темно желтых кремовые кавернозные хрупкие с многочисленными фаунистическими остатками. Сохранность фауны – отпечатки и ядра, кальцитовые скелетные элементы выщелочены. Граница с нижележащими доломитами градиентная по цвету и по мелкой кавернозности, мощность около 15 см. Верхняя граница неровная, со слоем дезинтегрированных доломитов около 10-15 см. Мощность 1,8 м, по латерали слой выклинивается через 30 м в западном направлении. В этих доломитах наблюдаются следы ожелезнения по вертикально фильтрующимся грунтовым водам.

Далее наблюдаются размытая граница предположительно с юрскими отложениями, слой неравномерный, представлен глинами, доломитовой мукой, обломками доломитов (более подробно речь о вышележащих отложениях пойдет в отдельном докладе).

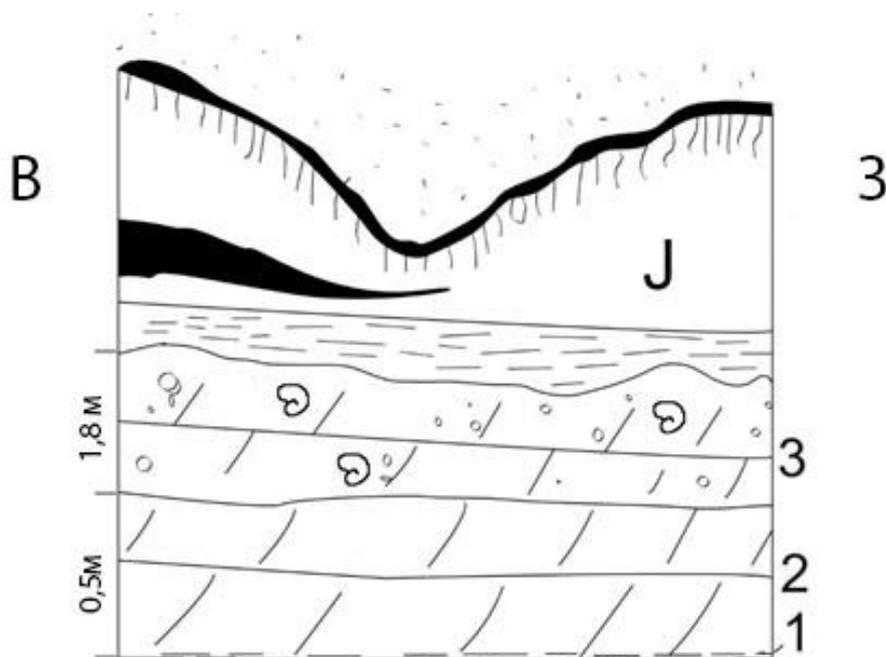


Рисунок 1. Разрез изучаемой толщи в южной стенке карьера



Рисунок 2. Обнажение доломитов в южной стенке карьера

Были отобраны и изучены образцы фауны (рисунок 3) многочисленных гастропод, брахиопод, двустворок, небольшое количество иглокожих. При доломитизации раковины и

скелетные элементы растворились и сохранились только ядра фауны, что затрудняет определение.



Рисунок 3. Часть собранной на разрезе фауны. 1 – *Praemyonia* sp. (?), 2 – *Soleniscus* sp., 3 – *Amaurotoma* sp. (?), 4 – *Admoskovia* sp., 5 – *Bellerophon* sp., 6 – наутилоидея

Также были найдены редкие пластинки *Archaeocidaris* sp., единичные *Siringopora* sp., множество *Dentalium* sp., один пигидий трилобита, все это в комплексе - характерные организмы для верхнего каменноугольного периода [2, 3].

Ожелезненные слои, встречающиеся в кровле доломитов, могут говорить о том, что в этих зонах развивались коры выветривания, т.е. во времена образования этих структур исследуемая территория могла испытывать коротковременное, относительно геологической истории Земли, поднятие из-за чего как раз и возникли условия для образования кор выветривания, предположительно эти отложения можно отнести к группе отложений, описанных литературе [4].

### **Выводы**

Судя по многочисленности и разнообразию фаунистических остатков, здесь в верхнем карбоне было весьма продуктивное морское сообщество, соленость воды близка к нормальной, но некоторое опреснение все же присутствовало, гидродинамика спокойная. Многочисленные зарывающиеся двустворки (2) а также небольшое количество встреченных кораллов (3) говорят о том, что накопление ила было довольно интенсивным, а разные размеры особей одного вида говорят о том, что останки не были принесены, а жили здесь же. Вывод о спокойной гидродинамике мы делаем на основании хорошей сохранности ядер организмов с тонкими раковинами. Вывод о солености делается на основании присутствия небольшого количества иглокожих и кораллов.

Таким образом, мы можем предположить, что по окончании формирования шелковской толщи интенсивный сток, формировавший ее, прекратился или значительно снизился

(переходный период характеризуют серые доломиты второго слоя) и вследствие трансгрессии установились благоприятные прибрежно-морские обстановки при довольно теплом климате и несколько опресненных водах. К сожалению, мы не можем установить, до какого времени они продолжались, так как верхняя часть разреза размыта и перекрывается юрскими отложениями, о которых будет следующий доклад.

#### **Благодарности:**

Особую благодарность выражаем участникам выездов на Коняшинский карьер, Лешуку Святославу, Кравцову Максиму, Заблудовской Алене, Румянцеву Никите, нашим научным руководителям Марии Александровне Комагоровой и Дарье Валентиновне Ульяновой, которые организовывали выезды, а также кафедре региональной геологии и палеонтологии РГГРУ-МГРИ им. Серго Орджоникидзе.

#### **Библиография**

1. Арешин А.В., Ганжара Н.Ф., Ефимов О.Е., ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОЛАНДШАФТОВ ПОЗДНЕГО КАРБОНА ПОДМОСКОВЬЯ (на примере геолого-ландшафтного полигона «Гжель») Известия ТСХА, выпуск 4, 2009 с.43-51
2. Стародубцева И.А., Сенников А.Г., Сорока И.Л., Голубев В.К., Гордиенко Н.В., Геологическая история Подмосковья в коллекциях естественнонаучных музеев РАН, Москва Наука 2008.
3. Шиманский В.Н., КАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ORTHOCERATIDA, ONCOCERATIDA, АСТINOCERATIDA И ВАСТРИТИДА, Издательство «Наука», Москва 1968
4. Щербакова М.Н., Событийные и другие стратиграфические границы (на примере отложений карбона Москвы и Подмосковья), Тезисы научной конференции ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ 2004 года, Секция ГЕОЛОГИЯ, навстречу 250-летию Московского университета, Подсекция: Литология и морская геология.

*О комплексах моллюсков в береговых выбросах Азовского моря  
Лукин Д.С.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, daniluhin25@gmail.com),  
Карташова О.П. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, olesyakartashova111@gmail.com)*

### **Аннотация**

Приведены результаты изучения систематического и численного состава раковин моллюсков в трёх пробах, отобранных в береговых выбросах Азовского моря. Общими особенностями всех проб является бедность систематического состава комплексов моллюсков, особенно брюхоногих. Бедность видового разнообразия компенсируется высоким количественным содержанием доминантных двустворок. Состав комплексов моллюсков в береговых выбросах, вероятно, зависит от изрезанности береговой линии бассейна. Ассоциации моллюсков в береговых выбросах, сформированных на закрытых участках побережья, более точно отражают разнообразие и численный состав моллюсков в биоценозах.

### **Ключевые слова**

Двустворчатые моллюски, брюхоногие моллюски, виды-вселенцы, биоценоз, береговые выбросы, гидрологический режим, Азовское море.

### **Теория**

Азовское море является самым маленьким и самым мелководным морем в мире, которое можно рассматривать как причерноморский лиман, образованный р. Дон. Солёность Азовского моря составляет порядка 13,5–14 ‰ и возрастает с востока (от приустьевых участков Дона и Кубани) на запад к Арабатской Стрелке и на юг к Керченскому проливу. Гидрологический режим Азовского моря отражается на составе его фауны: резкие колебания температуры обуславливают преобладание наиболее эвритермных видов; мелководность – доминирование стенобатно-прибрежных и полное отсутствие более или менее глубоководных организмов; наконец, малая и местами непостоянная солёность остаётся наиболее существенным фактором, определяющим отбор солоноватоводных и наиболее эвригалинных морских организмов. В итоге, к виду, обитающему в Азовском море, предъявляются весьма непростые требования: он должен быть одновременно эвритермным, эвригалинным и стенобатно-мелководным, то есть эврибионтным [2]. Этим объясняется бедность видового состава азовского бентоса, по сравнению с составом бентоса Чёрного моря. Бедность разнообразия компенсируется высоким количественным развитием бентосных организмов.

Моллюски являются ведущей группой зообентоса Азовского моря и представляют собой важное звено в цепи трансформации энергии и вещества внутри гидробиоценозов. Это разнообразная таксономически, экологически пластическая и широко распространенная группа гидробионтов, роль которых в жизни экосистемы связана с разнообразием способов и объектов питания [1]. К настоящему времени видовой состав моллюсков Азовского моря насчитывает 96 видов, из которых 70 принадлежат классу *Gastropoda*, а 26 – классу *Bivalvia* [2]. Основу малакофауны составляют примерно 15–18 видов, среди которых не более 10 видов двустворчатых и брюхоногих моллюсков являются ценозообразующими [3].

Отбор видов моллюсков из черноморской фауны, которая представляет собой уже ранее отобранную фауну Средиземного моря, обусловлен упомянутым ранее своеобразным гидрологическим режимом Азовского моря. Некоторые средиземноморские формы нашли в Азовском море благоприятные условия для своего развития и формируют большие скопления.

В зоне береговых выбросов Азовского моря были отобраны три пробы раковин моллюсков [5]. Две из них были взяты на побережье Казантипского залива, в непосредственной близости от гостевого дома “Альбатрос” (окрестности посёлка Новоотрадное). Расстояние между этими пробами составило 50 м. Третья проба была отобрана на Генеральских пляжах в 9,6 км к

северо-востоку от гостевого дома “Альбатрос”. Каждая проба была собрана вручную на участке пляжа площадью 1 м<sup>2</sup> и до глубины примерно 0,1 м. Полученный материал, представленный почти исключительно изолированными створками, был тщательно проанализирован. Выяснен систематический и численный состав моллюсков. Определение видовой принадлежности моллюсков было традиционно основано на изучении и сопоставлении внешних признаков их раковины. В первую очередь, это размеры и форма раковины, окраска, наружная скульптура, форма и характер оборотов.

Таблица I

Название вида	Проба 1 (гостевой дом “Альбатрос”)	Проба 2 (гостевой дом “Альбатрос”)	Проба 3 (Генеральские пляжи)
<i>Tritia modesta (Milaschewitsch)</i>	15 (0,2%)	25 (0,3%)	1 (0,1 %)
<i>Anadara (Scapharca) inaequalvis (Brugulère)</i>	555 (6,4%)	646 (7,3%)	527 (71,5%)
<i>Ostrea lamellosa Brocchi</i>	---	1 (0,01%)	---
<i>Mytilus galloprovincialis Lamarck</i>	22 (0,3%)	30 (0,3%)	4 (0,5%)
<i>Cerastoderma umbonatum (Wood)</i>	7909 (91,6%)	8063 (90,8%)	120 (16,2%)
<i>Chamelea gallina (Linnaeus)</i>	71 (0,8%)	87 (1%)	83 (11,2%)
<i>Solen vagina Linnaeus</i>	1 (0,01%)	1 (0,01%)	---
<i>Mya arenaria Linnaeus</i>	60 (0,7%)	26 (0,3%)	4 (0,5%)
Всего экземпляров	8633	8878	739

Результаты проведённого исследования отражены на рисунке 1 и в таблице I, в которой указаны названия видов, число собранных экземпляров, процентные соотношения (в скобках), а также общее число экземпляров моллюсков в пробе. Изученные пробы были отобраны на расстоянии всего лишь 9,6 км друг от друга. На таком небольшом расстоянии ассоциации моллюсков, обитающих в море, безусловно, должны быть идентичными. Одинаковыми, очевидно, должны быть и их комплексы в береговых выбросах. Тем не менее, оказалось, что ассоциации раковин моллюсков на пляже могут серьёзным образом отличаться от биоценозов, обитающих в море.

Пробы, отобранные в районе посёлка Новоотрадное, оказались практически идентичными (таблица I). Они включают шесть и семь видов моллюсков соответственно (рис. 1).

Основу комплексов составляют двусторки вида *Cerastoderma umbonatum*, на долю которых приходится более 90% всех собранных экземпляров. На втором месте располагаются двусторки *Anadara (Scapharca) inaequalvis*, число которых варьирует от 6,4% до 7,3%. Остальные виды являются фоновыми. Их число в пробах крайне невелико и практически одинаково.

Проба, взятая на Генеральских пляжах, выглядит иначе. Она отличается самым бедным систематическим составом (шесть видов). В ней, в отличие от предыдущих проб, резко преобладает вид *Anadara (Scapharca) inaequalvis*, на долю которого приходится 71,5%.

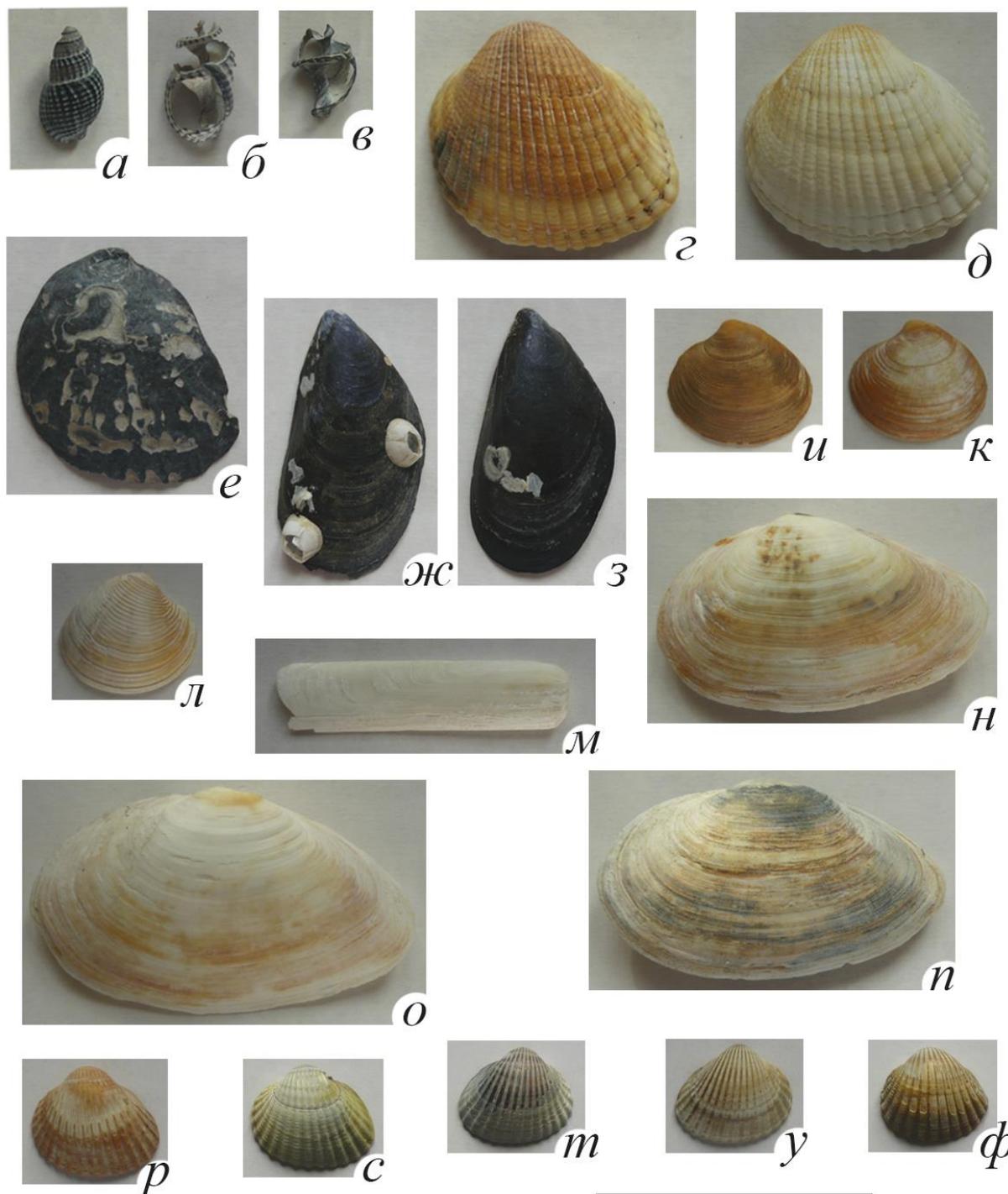


Рисунок 1. Изученные моллюски: а–в – *Tritia modesta* (Milaschewitsch, 1909); г–д – *Anadara* (*Scapharca*) *inaequivalvis* (Brugulère, 1789); е – *Ostrea lamellosa* Brocchi, 1814; ж–з – *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819; и–л – *Chamelea gallina* (Linnaeus, 1758); м – *Solen vagina* Linnaeus, 1758; н–п – *Mya arenaria* Linnaeus, 1758; р–ф – *Cerastoderma umbonatum* (Wood, 1850). Азовское море, Казантипский залив, окрестности посёлка Новоотрадное и Генеральские пляжи. Длина масштабной линейки 5 см

Второе место занимают виды *Cerastoderma umbonatum* и *Chamelea gallina* (16,2% и 11,2% соответственно). Остальные таксоны являются фоновыми. Следует отметить, что общее число

образцов, отобранных в третьей пробе, на порядок меньше, чем в предыдущих пробах. Бедность видового разнообразия компенсируется высоким количественным содержанием доминантных двустворок. Причины отличия изученных проб, возможно, следует искать в различном положении мест отбора материала. Пробы 1 и 2 были взяты на побережье крупного залива, в какой-то мере ограничивающего ударное волновое воздействие волн. Третья проба была отобрана на выровненном участке побережья, не защищенном от активного волнового воздействия. По всей видимости, именно активная гидродинамическая деятельность приводит к специфической (отличной от более спокойных, более закрытых участков побережья) сортировке раковин в береговых выбросах, а также к аккумуляции на многих участках Генеральских пляжей невероятных по обилию скоплений крупных раковин двустворок.

### **Выводы**

Состав комплексов моллюсков в береговых выбросах зависит, как минимум, от изрезанности береговой линии бассейна. Можно предположить, что комплексы моллюсков в береговых выбросах, сформированных на закрытых участках побережья, более точно отражают разнообразие и численный состав моллюсков в биоценозах. Со временем из береговых раковинных выбросов и пляжных осадков потенциально могут сформироваться осадочные горные породы. Похожие неогеновые известняки-ракушечники были описаны в изучаемом районе в [4, 6]. Следует учитывать, что в некоторых из этих пород разнообразие и численный состав моллюсков будут резко отличаться от характеристик комплексов этих организмов, обитавших ранее в море.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Анистратенко В.В. Определитель гребнежаберных моллюсков (Gastropoda Rostinibranchia) фауны Украины. Часть 1. Морские и солоноватоводные // Вестн. зоологии. 1998. Отд. выпуск. № 8. С. 3–65.
2. Анистратенко В.В., Халиман И.А., Анистратенко О.Ю. Моллюски Азовского моря. Киев: Наукова думка. 2011. 183 с.
3. Воробьев В.П. Бентос Азовского моря // Тр. Азово-Черномор. НИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии. 1949. Вып. 13. С. 1–193.
4. Горячев И.А., Думнова А.А., Комаров В.Н. Разрез четвертичных отложений “Альбатрос” (Казантипский залив, окрестности посёлка Новоотрадное) // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 67. С. 6–22.
5. Карташова О.П., Лукин Д.С., Комаров В.Н. О комплексах моллюсков в береговых выбросах и их связи с биоценозами (на примере Азовского моря) // Инновации. Наука. Образование. 2023. № 89. С. 71–86.
6. Комаров В.Н., Вайтиева Ю.А., Горячев И.А., Думнова А.А. Разрез четвертичных отложений “Альбатрос” // Природа. 2023. № 3. С. 64–68.

*Анализ спутниковых снимков с использованием регрессионного анализа для выделения  
новых участков минерализации*

*Махмуд Х.А\* (hamza.elmansy94@gmail.com),  
Дьяконов В.В (diakonovvv@mgri.com),  
Марков В.Е (markov-ve@rudn.ru)*

**Аннотация**

ASTER – это датчик, фиксированный в спутнике для получения различных спектров и предоставления данных в виде изображений с разными значениями спектра в каждом пикселе этого изображения. Различие в спектрах происходит от взрыва света на поверхности земных объектов, поскольку объекты могут отражать и/или поглощать эту взрывающуюся энергию. Используя данные, которые были сохранены в изображениях, мы можем извлечь полезную информацию о распределении минералов. Регрессионный анализ является одним из методов, которые были использованы для выполнения процесса интерпретации, поскольку мы используем поэтапный анализ регрессии, который принимает эти различные слои изображения в качестве ввода и тренирует их, чтобы найти более эффективный слой, который будет добавлен к уравнению. Результатом уравнения в нашем случае будет медь. В результате этого процесса мы обнаружили, что поэтапный регрессионный анализ не дает перспективных результатов для дальнейшего использования и прогнозирования.

**Ключевые слова**

Спектральный диапазон, регрессионный анализ, множественная линейная регрессия, геохимический анализ.

**Теория**

Дистанционное зондирование является широко используемым инструментом в разведке полезных ископаемых, поскольку оно заменило физический подход к обнаружению месторождений. Физический подход требовал больших затрат времени, сил и денег на поиск геологических исследований [1]. Основная идея заключается в том, что все на Земле имеет свою уникальную спектральную сигнатуру, которая обеспечивает возможность идентифицировать особенности или абстрактную информацию о том, что отображается на поверхности Земли [2].

Геостатистика позволяет картографировать переменные окружающей среды с использованием различных методов [4]. В нашем исследовании мы использовали ступенчатый регрессионный анализ, который являются традиционными многомерными методологиями контролируемой классификации, которые широко используются при разведке полезных ископаемых [5]. регрессионный анализ упомянутых ранее, используется для создания модели, которая использовалась для определения вероятности залегания полезных ископаемых с использованием значений данных АСТЕР. Многомерные методы принимают независимые переменные (данные АСТЕР) в качестве входных данных и зависимую переменную (медное значение) в качестве выходных данных, на которые влияют входные данные.

**Геология месторождения**

Исследуемая площадь административно относится к Аягозскому району Абайской области и располагается в 35 км к юго-западу от города Аягоз. Данная территория является частью Восточного Казахстана, ограниченной с запада и востока каледонидами Чингиза и Горного Алтая, соответственно. Формирование её происходило преимущественно в герцинскую эпоху.

Жиланды-Айгызская подзона Предчингизской зоны, в пределах которой находится рассматриваемая площадь, имеет вытянутую к северо-западу дугообразную форму протяжённостью около 300 км при ширине 20-40 км. На северо-востоке эта зона примыкает к

структурам Чингиз-Тарбагатайского синклиория, занимая место на сочленении фундаментов Чингиз-Тарбагатайского и Баканасского типов.

Формирование поверхности этой зоны происходило до среднего олигоцена в ходе денудационных процессов, образовавших коры толщиной до 100 м и сгладивших местный рельеф, который сменяется на ступенчатый на склонах, осложнённых разломами. Геологическое строение гранитных массивов Окпекты и Джаксы-Кызылтас определяет ориентацию этих рельефов. Чехол делювиальных отложений покрывает плавные изгибы рельефов, имеющих высоту до 300 м. Река Аягоз и её притоки формируют отрицательные формы рельефа в зоне поднятия хребта Западного Тарбагатая.

Формирование рельефа Восточного Казахстана подразделяется на три основных этапа. В ходе первого развивались поверхности выравнивания, характеризующиеся отсутствием тектонической активности. Второй дал начало орогенезу, на фоне слабых тектонических процессов. Для третьего этапа характерны интенсивные тектонические движения, сформировавшие горный рельеф. В антропогенный этап рельефообразования продолжается воздымание гор на данной территории, сопровождаемый разнообразными проявлениями денудационных процессов, постепенно расчленяющих рельеф отчётливее.

### **Материалы и методы**

#### **АСТЕР**

Спектральный диапазон в АСТЕР состоит из трех основных подсистем с общим количеством 14 каналов. Видимый ближний инфракрасный (VNIR), коротковолновый инфракрасный (SWIR) и тепловой инфракрасный (TIR) содержат 3, 6 и 5 диапазонов соответственно с различными диапазонами длин волн. В подсистеме ВНИР диапазоны различаются (от 0,52 до 0,86 мкм) с пространственным разрешением 15 м. В то время как диапазон полос подсистемы SWIR различается (от 1,6 до 2,43 мкм) с пространственным разрешением 30 м. Последняя подсистема TIR имеет диапазон полос (от 0,1,6 до 2,43 мкм) с пространственным разрешением 90 м [3]. Спектральные диапазоны SWIR были разработаны для идентификации отраженного излучения с целью различения особенностей поглощения Al-OH, Fe, Mg-OH, Si-O-H и CO<sub>3</sub> [6].

#### **Регрессионный анализ**

Регрессионный анализ является широко используемым методом в различных областях исследований [7]. Регрессионный анализ - это набор статистических процессов для оценки взаимосвязи между зависимой переменной и одной или несколькими независимыми переменными. Наиболее распространенной формой регрессионного анализа является линейная регрессия, которая находит наилучшую линейную комбинацию независимых переменных (предикторов) для прогнозирования зависимой переменной (отклика) (рис. 1).

$$y_i = a + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \varepsilon_i$$

- $y_i$  зависимая переменная (отклик)
- $a$  свободный член
- $b_i$  коэффициенты регрессии
- $x_i$  независимые переменные (предикторы)
- $\varepsilon_i$  ошибка
- $n$  количество независимых переменных.

Рисунок 1. Модель множественной линейной регрессии

Пошаговый линейный регрессионный анализ позволяет выбрать из множества независимых переменных, измеренных на объектах, те, которые наилучшим образом предсказывают зависимую переменную. Алгоритмы линейной регрессии оценивают параметры  $a$  и  $b$  (Рис. 1). Для решения уравнения, чтобы получить значение  $S_u$  в различных пикселях и нанести их на карту, мы использовали 14 полос изображений ASTER в качестве входных данных

(независимых переменных) в уравнении, чтобы получить значение Cu в каждом пикселе и нанести его на карту. Затем мы использовали геохимические данные меди для нанесения значений Cu на карту и сравнили результаты.

### Выводы

В многомерном регрессионном анализе предсказываются отношения между независимыми и зависимыми переменными для анализа влияния независимых переменных на зависимые переменные. В данном исследовании была построена регрессионная модель и дискриминантная функция с использованием значений пикселей из данных спутника ASTER в качестве независимых переменных и карты геохимических значений Cu в качестве зависимых переменных. Результаты пошаговой регрессии приведены в таблице 1, а полученная карта показана на рисунке 3-Б.

Таблица 1

Результат пошагового регрессионного анализа

Итоги регрессии для зависимой переменной: Cu (ASTER_fro						
R= .47500727 R2= .22563191 Скоррект. R2= .22258561						
F(5,1271)=74.068 p<0.0000 Станд. ошибка оценки: 15.441						
N=1277	БЕТА	Ст.Ош. БЕТА	В	Ст.Ош. В	t(1271)	p-знач.
<b>Св.член</b>			-774.955	109.2360	-7.09432	0.000000
ub2	0.173389	0.040421	141.511	32.9895	4.28957	0.000019
ub3	-0.190619	0.051547	-137.316	37.1329	-3.69798	0.000227
ub4	-0.289991	0.034265	-242.566	28.6611	-8.46324	0.000000
ub11	1.027170	0.122861	10.771	1.2883	8.36044	0.000000
ub14	-0.833967	0.128546	-7.808	1.2036	-6.48768	0.000000

На основании результатов, представленных в (табл. 1), основными предикторами для прогнозирования содержания Cu являются значения в диапазонах 2, 3, 4, 11 и 14 каналов сенсора ASTER. Существует значимая корреляция между содержанием меди и интенсивностью отраженных электромагнитных волн: коэффициент множественной корреляции  $R = .47500727$  на уровне значимости  $p \ll 0,05$ . При этом доля дисперсии, "объясняемая" полученным уравнением регрессии ( $R^2$  - коэффициент детерминации), составляет всего ~22%, а стандартная ошибка регрессии 26%.

На (рис. 2-А) показана карта распределения Cu, полученная методом регрессионного анализа, в сравнении с картой, полученной в результате геохимического анализа (рис. 2-Б). Это ясно показано на рисунке 6, различная интенсивность распределения Cu между двумя картами, так как есть некоторые более высокие значения, были проигнорированы методом регрессии и могут быть видны на карте геохимического распределения Cu.

Сравнивая наши результаты с картой геохимического распределения, мы пришли к выводу, что пошаговый регрессионный анализ не является подходящим методом для дальнейших расчетов по прогнозированию и выделению новых участков минерализации.

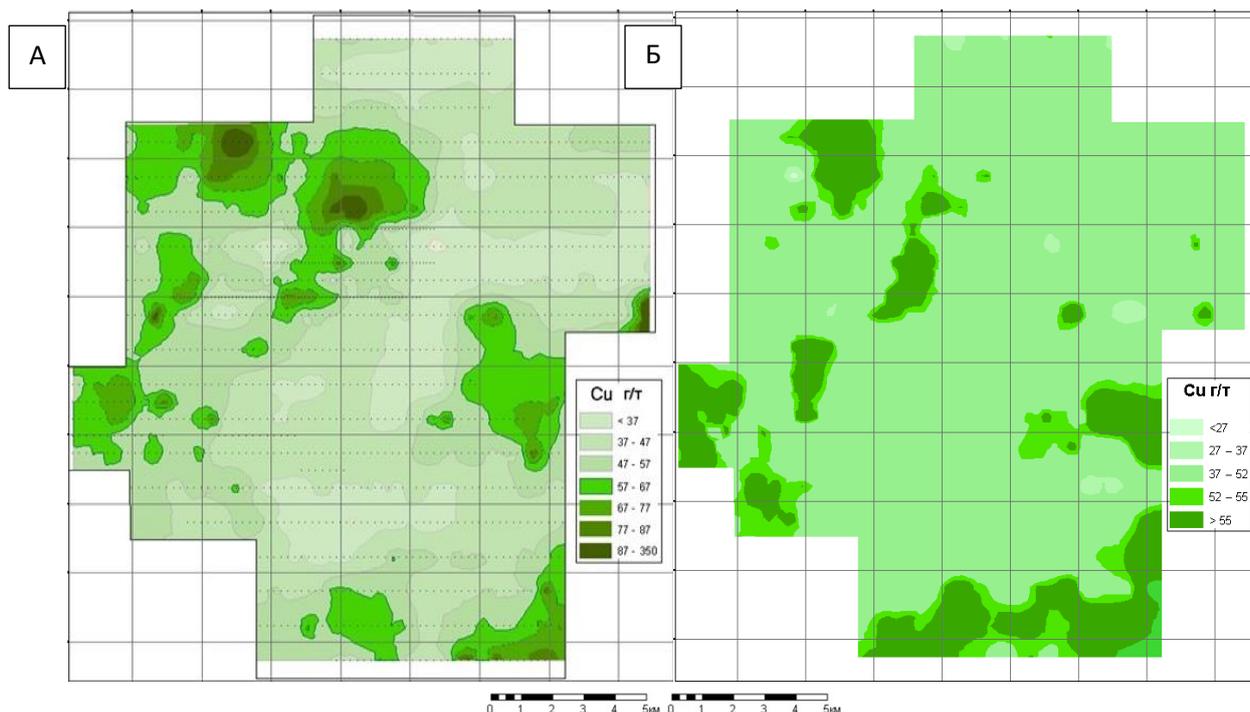


Рисунок 2. А) Карта распределения меди, полученная из геохимического анализа (Котельников А.Е., 2016), Б) Карта распределения меди, полученная из уравнения регрессионного анализа

### **Библиография**

1. Swapan H. Mineral exploration principles and applications. 2018; 2nd ed., p. 48-50.
2. Yong G., Xining Z., Peter M.A., Alfred S., Lianfa L. Geoscience-aware deep learning: A new paradigm for remote sensing. *Science Of Remote Sensing*. 2022; DOI: 10.1016/j.srs.2022.100047.
3. Di Tommaso, I., and Rubinstein, N. Hydrothermal Alteration Mapping Using ASTER Data in the Infiernillo Porphyry Deposit, Argentina. *Ore Geology Reviews*. 2007; 32, 275-290. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2006.05.004>.
4. Lowell, J.D. and Guilbert, J.M. Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. *Economic Geology*. 1970; 65, 373-408
5. Granian, H., Tabatabaei, S. H., Asadi, H. H., and Carranza, E. J. M., 2015. Multivariate regression analysis of litho-geochemical data to model subsurface mineralization: a case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, NW Iran, *J. Geochem. Explor.*, 148, 249–258.
6. Abrams, M. and Hook, S.J. Simulated ASTER Data for Geologic Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1995; 33, 692-699. <https://doi.org/10.1109/36.387584>.
7. Templ M., Filzmoser P., Reimann C., 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities, *Applied Geochemistry*, 23(8):2198-2213 DOI:10.1016/j.apgeochem.2008.03.004.

*Эпибионты на раковинах спириферид *Cyrtina praecedens* и *Howellella angustiplicatus* из  
борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии*

*Ширяева П.В.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, polsha0000000@gmail.com),*

*Монгуш А.Э. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, mo.al00@inbox.ru)*

**Аннотация**

Приведены данные о находках эпибионтов на раковинах спириферид *Cyrtina praecedens* Kozłowski и *Howellella angustiplicatus* Kozłowski из борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии. На долю раковин с микроконхидами приходится 5,5% от общего числа изученных *Cyrtina praecedens*, на долю раковин с корнулитами – 2,3%, на долю обросших мшанками раковин – 8,6%. Полученные цифры свидетельствуют о редком использовании обрастателями раковин *Cyrtina praecedens* в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о редкости микроконхид, корнулитид и мшанок в палеобиоценозах. Похожие данные получены и в процессе изучения спириферид *Howellella angustiplicatus*. На долю обросших мшанками раковин *Howellella angustiplicatus* приходится лишь 2,4% от общего их числа.

**Ключевые слова**

Эпибионты, микроконхиды, *Cornulites*, мшанки, брахиоподы, спирифериды, *Cyrtina praecedens* Kozłowski, *Howellella angustiplicatus* Kozłowski, борщовский горизонт, лохковский ярус, Подолия.

**Теория**

Изучение эпибионтии чрезвычайно важно при комплексном изучении самых различных ископаемых донных организмов, на что неоднократно указывалось в литературе [1–5]. Материалом для данного исследования послужила коллекция спириферид *Cyrtina praecedens* Kozłowski (128 экземпляров) и *Howellella angustiplicatus* Kozłowski (42 экземпляра). Брахиоподы происходят из борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии и представлены целыми раковинами хорошей сохранности.

При детальном анализе имеющихся материалов на 19 раковинах спириферид (что составляет 11,2% от общего числа) были найдены различные эпибионты [6]. Поселенцы обнаружены на 17 раковинах *Cyrtina praecedens* и на одной раковине *Howellella angustiplicatus*.

Среди микроконхид нами установлен один вид – *Palaeosconchus cf. tenuis* (Sowerby) (рис. 1). Трубки *Palaeosconchus cf. tenuis* выявлены на семи раковинах *Cyrtina praecedens*. Всего обнаружено 13 трубок (11 на брюшных створках и две на спинных створках). Расположение трубок различно. У некоторых экземпляров они приурочены только к синусу раковины брахиопод, располагаясь в нём в различных местах – у переднего края, в центральной части или вблизи макушки. Некоторые палеоконхусы расположены на боковых частях створок. Часть трубок прикреплена и самого края комиссуры. Палеоконхусы почти всегда наблюдаются в понижениях – либо в вентральном синусе, либо в межрёберных промежутках (по мере роста постепенно выходя за их пределы).

Среди *Palaeosconchus cf. tenuis* отмечены лишь спиральные трубки, округлые в плане. Все трубки целые, хорошей сохранности, характеризуются гладкой наружной поверхностью. Размеры наблюдаемых *Palaeosconchus cf. tenuis* варьируют от 0,5 до 1,3 мм. В [7] размеры аналогичных раковин составляют 0,8–2,9 мм. Максимальный замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет 0,8 мм, обычно он меньше.

Корнулитесы были обнаружены на трёх раковинах *Cyrtina praecedens*. У двух экземпляров наблюдался только один корнулит (либо на брюшной, либо на спинной створке). У одного экземпляра на брюшной створке обнаружено пять корнулитов, а на спинной два. Всего выявлено девять трубок (шесть на брюшных створках и три на спинных створках).

Трубки корнулитов всегда располагаются внешними концами вблизи передней или боковой комиссур и иногда ограничены ей.

Трубки конической формы, в различной мере изогнутые, быстро расширяющиеся, стелющиеся по поверхности створок. В двух случаях зафиксировано ветвление трубок. Все трубки целые, хорошей сохранности, характеризуются гладкой наружной поверхностью.

Длина изученных *Cornulites* варьирует от 1,4 до 4,9 мм. Преобладание трубок какой-то определённой величины не отмечено. Максимальный размер (4,0 мм и 4,9 мм) имеют трубки, расположенные на спинной створке. Наибольший замеренный диаметр трубки в области апертуры составляет 1,5 мм, обычно он меньше.

У двух экземпляров корнулитов наблюдалось чётковидное строение трубок – с характерными пережимами, расположенными примерно через 0,4 мм. По всей видимости, такое строение является следами роста трубок.

При детальном анализе имеющихся материалов на 11 экземплярах *Cyrtina praecedens* были найдены мшанки.

Среди мшанок нами были выявлены не менее трёх различных морфотипов.

Чаще всего нами наблюдались массивные обрастающие корковые колонии, прикрепляющиеся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата. Подобные колонии обнаружены на семи раковинах. На наш взгляд данные колонии могут быть определены как *Eostenopora subprimiformis* Astrova и *Lioclema gloria* Astrova. На трёх образцах наблюдались колонии *Lioclema netshlavense* Astrova в виде относительно толстых массивных ветвей. На одном экземпляре обнаружена тонкая ветвящаяся колония, состоящая из однорядно расположенных ячеек, сильно суженных в проксимальном участке. Следует отметить, что мшанки рода *Lioclema* характеризуются большой пластичностью и изменчивостью своих колоний, способных приспосабливаться к разным условиям обитания.

У нас не вызывает никакого сомнения то, что систематический состав обнаруженных мшанок, шире указанного. Для их точной диагностики необходимы прозрачные ориентированные шлифы и использование методов томографии. У 10 раковин *Cyrtina praecedens* выявлена только одна колония мшанок (на семи брюшных и трёх спинных створках). На одной раковине мшанки обнаружены как на брюшной, так и на спинной створке.

Размеры мшанок варьируют от 0,6 мм до 10,0 мм, но обычно составляют порядка 2,0–6,0 мм. Размеры колоний на спинной створке (2,1 мм, 2,2 мм, 4,1 мм, 4,5 мм) меньше, чем на брюшной створке. Обычно мшанки покрывают небольшие участки створок, но у двух экземпляров они инкрустируют почти всю правую часть либо брюшной, либо спинной створок.

Как уже было указано ранее, эпибионты были обнаружены и на двух раковинах *Howellella angustiplicatus*. Вблизи макушки брюшной створки одного экземпляра выявлена округлая клубневидная массивная обрастающая корковая колония *Lioclema gloria* Astrova, прикрепляющаяся к субстрату всей нижней поверхностью и повторяющие форму обрастаемого субстрата. Диаметр колонии 0,9 мм.

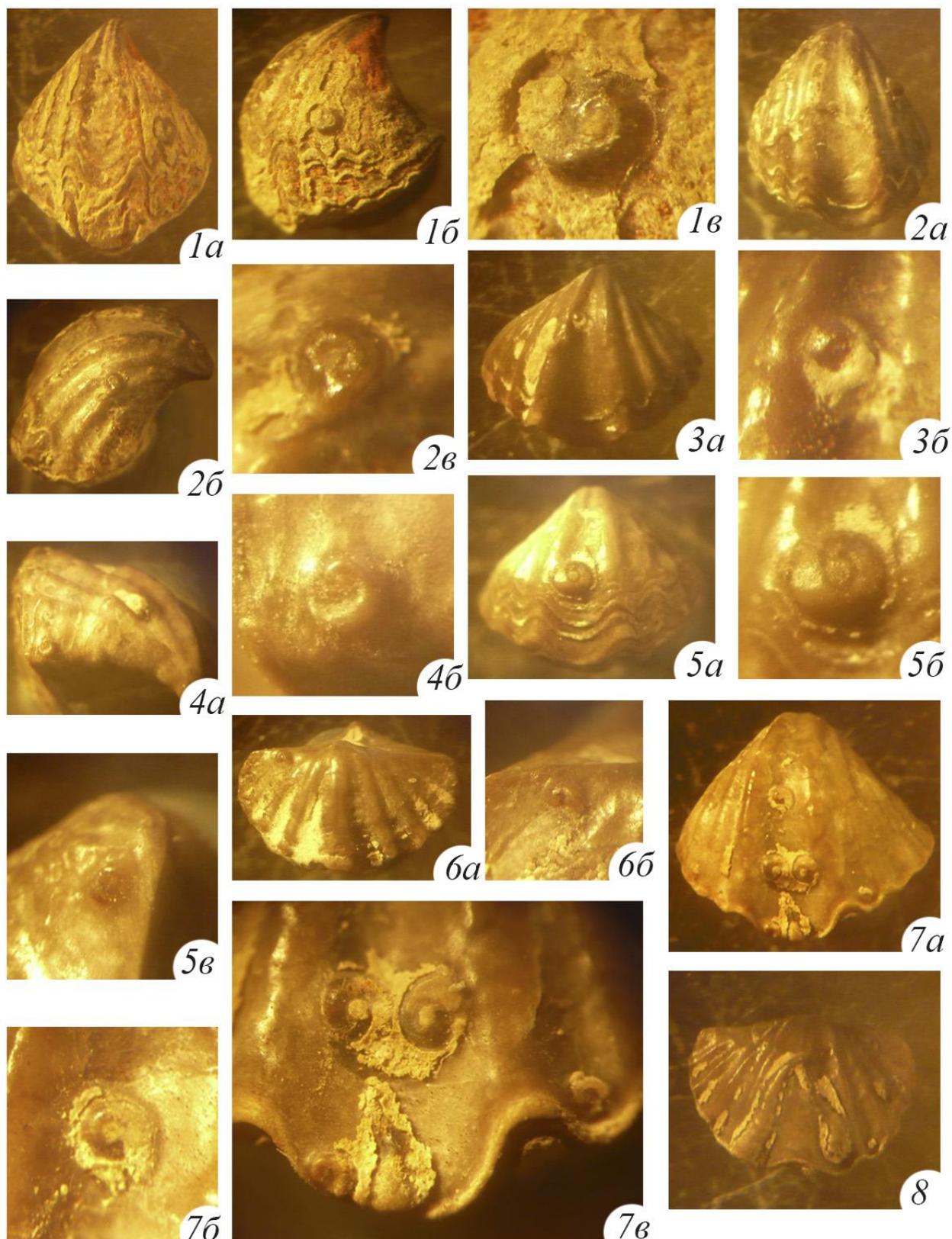


Рисунок 1. Эпивионты на раковинах спириферид: 1–7 – микроконхиды *Palaeoconchus* cf. *tenuis* (Sowerby); 8 – корнулитиды *Cornulites* Schlotheim. Увеличено

### **Выводы**

Прикрепление изученных эпибионтов могло быть как прижизненным, так и посмертным. В пользу прижизненного прикрепления свидетельствует расположение многих из них у самого края комиссуры или только на одной створке спириферид. Поселение вдоль периферии створок брахиопод–хозяек связано с выгодой, которую эпибионты получали именно вблизи комиссуры, когда обновление воды за счёт находившихся в постоянном движении ресничек лофофора брахиоподы было практически для питания, дыхания и, возможно, очищения от ненужных частичек донных отложений. Вне всякого сомнения, о прижизненном прикреплении корнулитов свидетельствует расположение их трубок, направленных устьем к лобному краю раковин. В пользу посмертного прикрепления может говорить расположение обрастателей на обеих створках брахиопод. На долю раковин с микроконхидами приходится 5,5% от общего числа изученных *Cyrtina praecedens*, на долю раковин с корнулитами – 2,3%, на долю обросших мшанками раковин – 8,6%. Полученные цифры свидетельствуют о редком использовании обрастателями раковин *Cyrtina praecedens* в качестве субстрата. Это, в свою очередь, может говорить и о редкости микроконхид, корнулитид и мшанок в палеобиоценозах. Похожие данные получены и в процессе изучения спириферид *Howellella angustiplicatus*. На долю обросших мшанками раковин *Howellella angustiplicatus* приходится лишь 2,4% от общего их числа.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность доценту В.Н. Комарову за предоставленный материал и научное руководство работой.

### **Библиография**

1. Азарных А.В., Вайтиева Ю.А., Верба Т.И., Волкова Е.А., Епифанов В.А., Качалина М.Д., Конов А.П., Костюкевич С.А., Лешук С.Э., Николаева П.А., Пинских Ю.С., Плотникова А.А., Ченина Е.А., Шаров И.А., Комаров В.Н. Колонизаторы брахиопод. М.: ООО ТИИЦ, 2022. 148 с.
2. Вологина А.С., Молодова В.Д., Комаров В.Н. О находках мшанок на полипниках *Tabulophyllum weberi* (*Tetracoralla*) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 77–91.
3. Измайлова А.А., Головастов Д.А., Вайтиева Ю.А., Павлидис С.Б., Гончарова Е.И., Локтионов А.Д., Комаров В.Н. **Девонские эпибионты**. М.: ООО «ТИИЦ», 2021. 82 с.
4. Комаров В.Н., Верба Т.И., Вайтиева Ю.А. *Спирифериды* *Licharewia rugulata* и эпибиоз // *Природа*. 2023. № 8. С. 41–47.
5. Короленко П.С., Миронова Д.Н., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на полипниках *Thamnopora rigida* Sokolov (*Favositida*) из сирачойской свиты (верхнефранский подъярус) Южного Тимана // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 41–56.
6. Ширяева П.В., Монгуш А.Э., Комаров В.Н. О находках эпибионтов на раковинах спириферид *Cyrtina praecedens* Kozłowski и *Howellella angustiplicatus* Kozłowski (*Brachiopoda*) из борщовского горизонта (лохковский ярус) Подолии // *Инновации. Наука. Образование*. 2024. № 96. С. 61–76.
7. Vinn O., Wilson M.A. Microconchid-dominated hardground association from the Late Pridoli (Silurian) of Saaremaa, Estonia // *Palaeontologia Electronica*. 2010. No 13.2.9A. P. 1–12.

*Характер симметрии четырёхлучевых кораллов из среднего девона живецкого яруса  
(D2zv) Курской и Воронежской области*

*Докладчик Яцкин Д.А. (Воронежский госуниверситет, denisackin@gmail.com),  
соавтор Раскатова М.Г. (Воронежский госуниверситет, mgraskatova@yandex.ru)*

**Аннотация**

В процессе двух геологических экскурсий был получен палеонтологический материал (коллекция колониальных четырёхлучевых кораллов) из живецких отложений среднего девона Павловского карьера Воронежская область (Раскатова, 2004) и Михайловского карьера Курская область.

Удалось установить их систематическую принадлежность разным родам и видам: *Tabulophyllum* sp., *Thamnophyllum pedderi* McLean, *Eridophyllum seriale* M-Edw.et Haime, *Marisastrum sedgwicki* M.-Edwarjset J. Haime, *Hexagonaria bulvankerae* (Soshkina), а также установить палеогеографическую обстановку изученных территорий и её характер по признакам симметрии кораллов.

**Ключевые слова**

Средний девон, кораллы, симметрия, условия обитания.

**Теория**

**Стратиграфическое и палеогеографическое значение ругоз**

Кораллы являются важными организмами для корреляции и расчленения разрезов, они постоянно используются в стратиграфических целях вместе с другими группами ископаемых, хотя и в значительно меньшей степени, чем брахиоподы или фораминиферы. Роль ругоз как руководящих ископаемых снижена неодинаковыми и неравномерными темами эволюции различных ее представителей и их общей повышенной стенотопностью. Иными словами, они могут быть хорошо использованы в геологических целях как дополнительный материал при руководящей роли, например, брахиопод или других групп фауны.

Девонские рифы с ругозами распространены значительно шире, чем силурийские и занимали еще более широкую экваториальную зону. Раннедевонские рифовые массивы барьерного типа, рост которых начался в силуре, прослеживаются вдоль восточного склона Урала. На основе исследования кораллов может производиться с большой точностью экологическое районирование, в частности могут быть констатированы биомы.

**Значения симметрии в развитии кораллитов**

В соответствии с универсальным принципом П.Кюри можно полагать, что симметрия кораллового полипа, запрограммированная в его генотипе, и симметрия внешней среды образуют фенотип, сохраняющий в биогеохимическом и морфологическом выражении (топологическом плане расположения известывыделяющих клеток у склерактиний) только элементы, совпадающие друг с другом. Оценка таксономического значения симметрии фенотипа претерпела по мере изучения значительные изменения. В последние годы утверждается взгляд на таксономическую разнокачественность симметрии кораллов и ее двойственную природу, с одной стороны, обусловленную геномом, а с другой – модифицируемую в процессе взаимодействия организма с окружающей средой в онтогенезе. Многие зоологи в целом для *Anthozoa* исходную форму симметрии усматривают в неопределенной многолучевой. Ее прототипом считается симметрия одиночных аулопорид – примитивных табулят с небольшим числом слабо выраженных септ. Общая тенденция возникновения билатеральной симметрии у кораллов обычно рассматривается в связи с появлением сплюсненной глотки полипа как приспособление ее к роли своеобразного клапана, препятствовавшего быстрому выходу воды и

пищевых частиц из гастровакулярной полости при сокращении мускулатуры тела (Рожнов, 2013).

Очень часто структура колонии имела четырехлучевую симметрию, из-за которой ругозы и стали называться четырехлучевыми кораллами. Данная структура возникала из-за особенностей деления коралловых полипов, которые сначала делились на две половинки, а затем ещё делились, образуя четырехлучевую симметрию.

Заложение септ изучено у многих ругоз, и, несмотря на разнообразие септального аппарата у ругоз, септы формируются в определённом порядке. После прикрепления планулы сначала развивается маленький асептальный кубок. Затем появляются две большие септы – главная на стороне кубка с рубцом прикрепления, и противоположная. Эти септы могут слиться в одну осевую септу, которая маркирует плоскость симметрии кораллита. Через некоторое время рядом с периферической частью главной части появляется симметрично расположенная следующая пара больших септ, которые называют боковыми, или алярными. Одной стороной они упираются в стенку кораллита, а другой примыкают к осевой септе. В это же время закладывается пара септ с противоположной стороны. Эти первые шесть септ называются протосептами. Иногда после их образования наступает перерыв в появлении новых септ, после которого появляются следующие крупные септы – метасепты.

#### **Изучение характера симметричности четырехлучевых кораллов**

Расчёты проводились путём измерения примерной площади кораллита, и измерения частей симметрии, получившихся после проведённых осей симметрии (чёрные обозначают оси двусторонней симметрии, красные - дополнительные оси для радиальной симметрии, если таковая имелась).

Для проведения расчётов были проведены измерения диаметров углов между септами кораллитов, а затем высчитывалась площадь сторон симметрии (рис1.)

*Hexagonaria bulvankerae* (Soshkina) – Примерная площадь данного вида кораллита равна произведению числа  $\pi$  и радиуса в квадрате. Радиусы большинства кораллитов равняются 1, 1,5 и 2мм, а углы между осями симметрии составляют 180 при двулучевой и 100 и 80 градусов при радиальной с двумя осями симметрии.

S кораллита при радиусе 2 мм (в дальнейшем  $S_2$ ) =  $3,14 * 2^2 = 12,56\text{мм}^2$ ,  $S_{1,5}=7,06\text{мм}^2$ ,  $S_1=3,14\text{мм}^2$ .

S сектора кораллита равна произведению квадрата радиуса, числа  $\pi$  и угла сектора, делённому на 360 градусов. S сектора для коралла радиусом 2 мм и углом сектора 180 градусов в среднем равна  $(\pi * 2^2 * 180) / 360 = 6,28 \text{мм}^2$ , аналогично рассчитываем для кораллитов этого вида с радиусом другого размера:  $S_{1,5}=3,53\text{мм}^2$  и  $S_1=1,57\text{мм}^2$ .

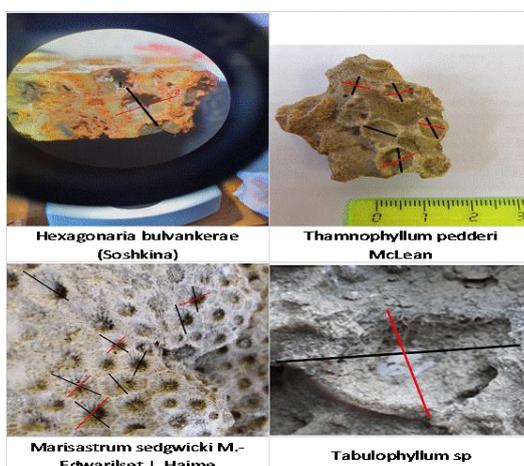


Рисунок 1. Оси симметрии у кораллитов различных родов ругоз

Ниже в случаях с аналогичными расчётами будут приведены таблицы.

Таблица 1

Угол сектора/ R	2	1,5	1
100 градусов	3,49	1,96	0,87
80 градусов	2,7	1,57	0,7

*Marisastrum sedgwicki* M.-Edwarjset J. Haime – расчёт площади участков кораллитов этого вида отличается от остальных, так как в разрезе он больше схож с шестиугольником, чем с кругом.  $S = (3\sqrt{3} * R^2)/2$ , у данного вида большинство кораллитов имеют радиус 3 или 4 мм.  $S_3 = 23,4\text{мм}^2$ ,  $S_4 = 41,6\text{мм}^2$ .

Расчёт частей (секторов) *Marisastrum* производится как у равнобедренного треугольника для радиальной симметрии и как у суммы треугольников у двусторонней симметрии.

Таблица 2

Длина радиуса	4мм	3мм
S при 180°(двусторонняя симметрия)	21	12
S при 115°	14	7,8
S при 65°	7,25	4

*Thamnophyllum pedderi* McLean: R=2 -2,5 мм,

Таблица 3

Длина радиуса	2,5мм	2мм
Площадь кораллита	19,6	12,56
Площадь сектора:		
S при 180°(двусторонняя симметрия)	9,8	6,28
S при 100°	5,45	3,5
S при 80°	4,36	2,7

*Tabulophyllum* sp, у данного вида только один кораллит имеет видную для вычисления симметрии чашечку - R=6мм,  $S=3,14*6^2=113,04\text{мм}^2$ , Площадь сектора двусторонней симметрии=56,5 мм<sup>2</sup>, Площади секторов радиальной симметрии с углами 80 и 100 градусов равны 25,1мм<sup>2</sup> и 31,4мм<sup>2</sup> соответственно.

Теперь высчитаем отношения сторон симметрии у разных видов кораллов, чтобы понять, где палеогеографическая обстановка была более благоприятной для ругоз.

*Hexagonaria bulvankerae* (Soshkina): при двусторонней симметрии=5\6, при радиальной 12\10.

*Marisastrum sedgwicki* M.-Edwarjset J. Haime: при двусторонней = 2\3, радиальной = 19\10

*Thamnophyllum pedderi* McLean: при двусторонней = 6\7, радиальной = 12\10 (при радиусе 2,5мм) и 16\10 (при 2мм) – наблюдается увеличение симметричности с увеличением размера кораллита.

*Tabulophyllum* sp.: при двусторонней =5\6, радиальной 3\2.

### **Выводы**

В данной работе удалось установить степень двусторонней и радиальной симметричности кораллитов колониальных ругоз из коллекции, составленной в процессе изучения среднедевонских отложений в разрезах двух карьеров (Павловского и Михайловского). Кораллы из изученных разрезов имеют симметрию, близкую к эталонной, что свидетельствует о благоприятных температурных, световых и химических условиях, а также спокойной гидродинамике бассейна в зоне развития биогерма. Однако симметричность кораллитов из Михайловского карьера проявляется отчетливее, чем у кораллитов из Павловского. Это можно связать с тем, что среда обитания для ругоз в среднем девоне на месте Михайловского карьера были более благоприятной, чем на территории Павловского карьера. Удалось также установить, что симметрия у вида *Marisastrum sedgwicki* M.-Edwards et J. Haime может иметь не только 2 оси симметрии, но и у некоторых кораллитов было 3 оси, по которым их поперечные разрезы приближались к идеально симметричному шестиугольнику. В дальнейшем предполагается построение схемы структуры и динамики двух палеоэкосистем под воздействием экологических факторов, основанные на более детальном изучении симметрии кораллитов различных родов ругоз (Лиёпа, 1982).

### **Библиография**

1. Венюков П.Н. Фауна девонской системы северо-западной и центральной России // Тр. Спб. об-ва естеств. Т. XVII. 1886. С. 10–25.
2. Лиёпа И.Я. К математическому моделированию в экологии. Сб. научн. Тру.: Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. ЛГУ им. П.Стучки, Рига, 1982, с.3-41
3. Раскатова М.Г. Миоспоровая зональность средне-верхнедевонских отложений юго-восточной части Воронежской антеклизы (Павловский карьер) // Вестник ВГУ, Серия Геология, 2004, №2. С. 89-98
4. Рожнов С.В. Двусторонняя симметрия в онтогенезе и при регенерации у ругоз (Cnidaria; палеозой). Морфогенез в индивидуальном и историческом развитии: симметрия и асимметрия // Серия «Гео-биологические системы в прошлом». М.: ПИН РАН, 2013. С. 125-144.

*Characteristics of talc ore and its fine products in the Tan Son area, Phu Tho, Viet Nam  
Nguyen Thi Thanh Thao (Doctor, Faculty of Geosciences and Geology Engineering, Hanoi  
University of Mining and Geology, Vietnam; Email: nguyenthithanhthao@humg.edu.vn),  
Nguyen Duy Hung (Graduate student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological  
Prospecting, Russia; email: ndhung.tktd@gmail.com)*

### **Annotation**

The results suggest that the Tan Son area in Phu Tho, Vietnam harbors promising talc deposits capable of meeting the demands of various industries. Based on the ore characteristics, a mineral processing for talc ore has been proposed. Initial products demonstrate a significant increase in talc content, reaching up to 94%, accompanied by reduced levels of associated minerals. The MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents closely approximate those of single-mineral talc theoretically. Moreover, the total iron content has been effectively reduced below permissible limits. However, to further enhance the quality of talc ore in the studied region, further studies are required to eliminate or minimize the presence of harmful substances in the talc concentrate. These preliminary findings provide investors with valuable insights into the quality and potential utilization of talc resources within the area.

### **Key words**

Talc deposits, paints, ceramics, fertilizer, talc ore formation, Paleoproterozoic, iron hydroxide, adjacent, mineral composition.

### **Theory**

Talc, with the chemical formula Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>, is an industrial mineral belonging to the group of hydrous magnesium silicate minerals. Talc is widely used in various industries such as ceramics, paints, paper, roofing materials, plastics, cosmetics, and pharmaceuticals, due to its unique optical, thermal, chemical, and physical properties [1,2]. In Vietnam, there is a significant demand for talc, primarily in the fertilizer and ceramic industries. Therefore, evaluating the quality of talc in various mines is of great importance. This article assesses the characteristics of talc ore formation and the quality of processed talc in the Tan Son area, Phu Tho province, Vietnam. The results contribute to providing a rational and effective basis for utilization to serve the socio-economic development of the research area.

The research area mainly comprises rocks of the paleoproterozoic Suoi Chieng formation, consisting of two units. Unit 1 covers approximately 10% of the exploration area, located towards the northeast of the exploration area. It primarily consists of gray-brown biotite gneiss and thin layers of quartzite, biotite quartzite, and biotite schist with garnet. Unit 2, which occupies about 90% of the exploration area, extends from the northwest to the southeast. The characteristic components of Unit 2 include plagiogneiss amphibolite, plagiogneiss amphibolite-biotite, amphibolite, and sericitic quartz schist [3,4].

The talc ore bodies are in vein-like formations, elongated in a northwest-southeast direction. They vary in length from 180 to 460 meters, with thickness ranging from 4.5 to 13.9 meters, averaging 8.0 meters. The ore bodies exhibit a single inclined plunge towards the northeast, with an inclination angle of approximately 30 to 40 degrees. The ore bodies are closely associated with the surrounding rocks, and the boundary between the ore and the surrounding rocks is distinct. The surrounding rocks consist mainly of schist containing sparse biotite flakes, sericitic quartz schist, and quartzite, and in some places, the talc ore bodies are adjacent to granite. Talc ore typically occurs in platy form, exhibiting gray or grayish-green color with various streaks and white bands. It appears as fine grains or flakes, smooth to the touch.

Methods: To assess the quality of talc in the research area, several analysis methods are used, including thin section analysis, X-ray diffraction analysis (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), and Inductively Coupled Plasma Mass

Spectrometry (ICP-MS), X-ray fluorescence analysis (XRF), and others. Statistical methods are used to evaluate the distribution of chemical composition. [5]

### Characteristics of Talc Ore:

Mineral composition: Thin-section analysis of the talc ore samples reveals the mineral composition consisting primarily of talc, chlorite, kaolinite, and quartz. Talc occurs in small flaky aggregates, forming elongated or contorted bands, creating a foliated structure. Talc is colorless, with some iron hydroxide impurities imparting a faint brown hue, exhibiting a birefringence of 2-3. Quartz appears as irregularly shaped fragmented grains with sizes ranging widely from (0.1x0.15)-(0.8x1)mm, evenly distributed throughout the sample. Colorless quartz has a clean surface and exhibits first-order gray interference. Chlorite occurs in flaky forms, forming small aggregates or nests, interspersed within talc bands. Chlorite has a pale green color, showing unusual purple-gray interference. Kaolinite appears as fine aggregates, opaque white in color, resulting from the alteration of feldspar in the host rock. Iron hydroxide occurs as reddish-brown adhesive masses, elongated along certain orientations.

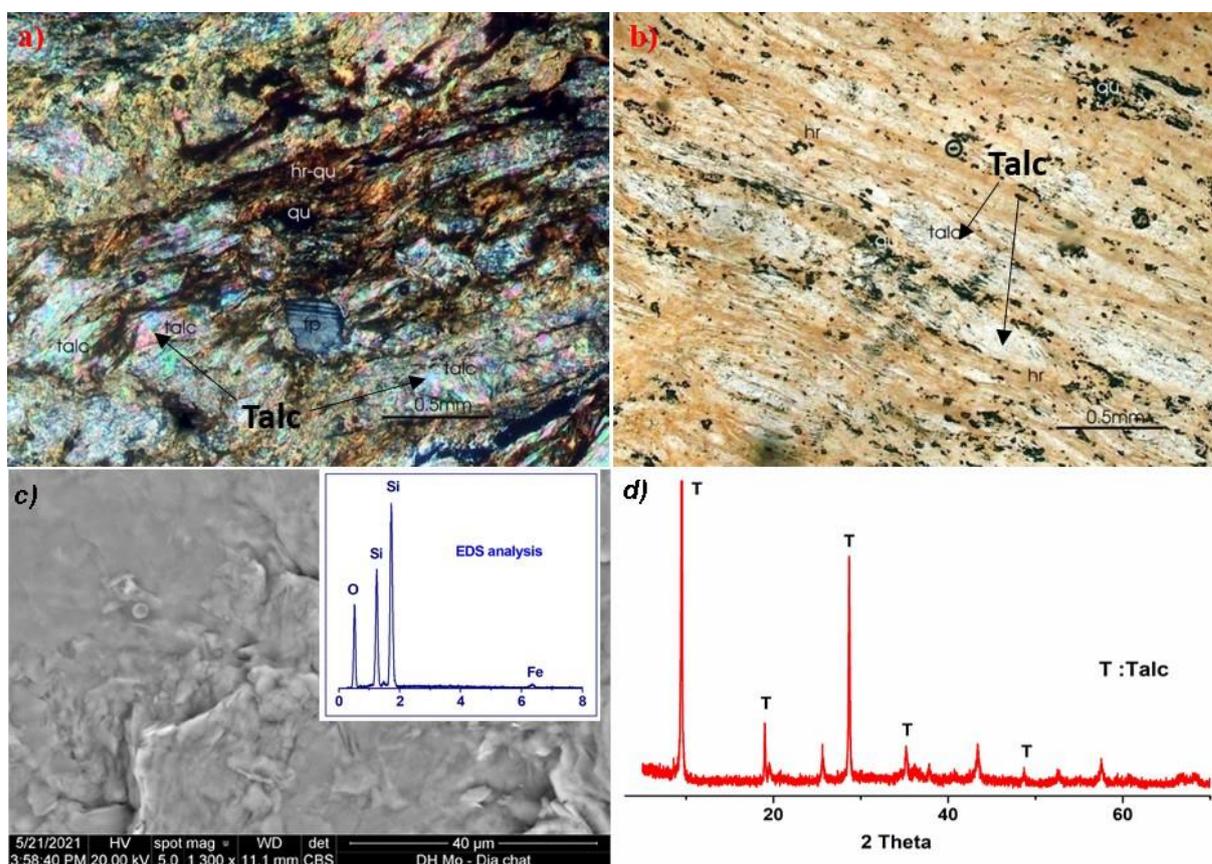


Figure 1. a). Chlorite occurs in flaky forms, forming small aggregates or nests, interspersed within talc bands, and quartz appears as irregularly shaped fragmented grains. b). Talc occurs in elongated foliated or contorted bands, with some iron impurities imparting a brown or faint brown color, exhibiting birefringence of 2-3. SEM-EDS (c) and XRD (d) result for talc ore in the study area

Chemical composition: Basic chemical analysis results for the talc ore in the research area show a relatively high content of MgO and total iron, belonging to uniformly altered and very uniformly altered types (Table 1).

Table 1

Statistical calculation results of basic chemical samples of talc ore in the study area

No.	Factor	Chemical composition (%)			Variation Coefficient (%)
		Minimum	Maximum	Average	
1	SiO <sub>2</sub>	42.64	61.88	52.73	7
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25	7.79	2.88	60
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.20	7.52	5.15	17
4	CaO	0.14	2.94	1.29	55
5	MgO	20.70	31.90	29.51	5
6	LOI	3.61	10.31	6.91	20

Note. LOI - Loss on ignition

**Radioactivity characteristics:** The results of radiation intensity measurements show that the talc ore in the exploration area has radiation intensity ranging from 9.50 to 12.40  $\mu\text{R/h}$ , with an average of 11.07  $\mu\text{R/h}$ . The potassium content varies from 0.29 to 0.40%, with an average of 0.35%; uranium content varies from 3.40 to 4.90 ppm, with an average of 4.26 ppm; thorium content varies from 9.70 to 12.80 ppm, with an average of 11.44 ppm. These values are below the permissible limits many times over and have no adverse effects on the environment and human health [6].

**Whiteness and oil absorption characteristics:** The talc ore in the research area has high natural whiteness (ranging from 78.9% to 97.5%) and low oil absorption (ranging from 23.40% to 23.70%).

**Flow-shear for mineral processing:** Based on the analysis results of talc ore and experimental research, the proposed ore processing diagram for talc ore in the study area is as follows:

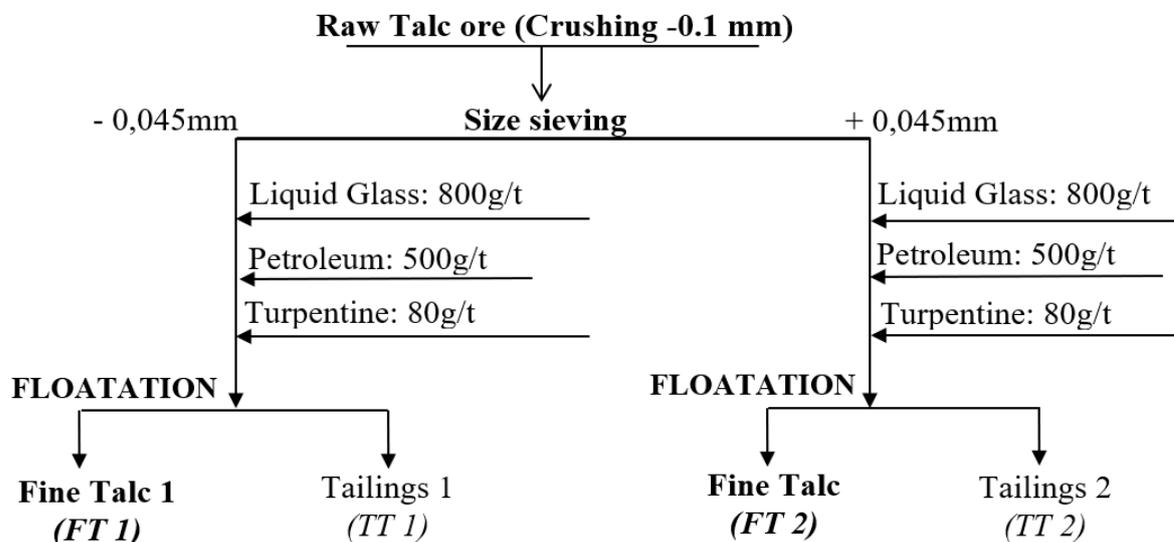


Figure 2. Flow-sheet for mineral processing for the talc in the study area

**Characteristics of the fine talc ore:** Mineral and chemical compositions of the fine talc products are shown in Table 2 - 4.

Table 2

Chemical compositions of the products according to Figure 2

Products	Chemical composition (%)					
	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>LOI</i>
<i>FT 1</i>	61.85	0.32	0.88	0.58	30.55	5.09
<i>FT 2</i>	61.96	0.46	0.56	0.32	31.05	5.02

Table 3

Elemental contents according to ICP-MS analysis results

Products	Elemental contents (ppm)					
	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Sb</i>
<i>FT 1</i>	28.2	< 2	35.2	< 5	16.2	< 10
<i>FT 2</i>	41.7	< 2	31.5	< 5	19.6	< 10

Table 4

Mineral compositions of the products

Products	Mineral composition (%)				
	<i>Mica</i>	<i>Talc</i>	<i>Clorite</i>	<i>Amphibole</i>	<i>Other</i>
<i>FT 1</i>	-	91 - 93	4 - 6	-	< 3
<i>FT 2</i>	-	92 - 94	3 - 5	-	< 3

### Conclusions

The study area shows potential for talc ore with relatively high MgO content and satisfactory basic technical characteristics. However, talc is mainly in veinlets, intermingled with other minerals such as chlorite, quartz, iron hydroxide, etc. Experimental beneficiation schemes demonstrate that the products after mineral processing have increased talc mineral content (91-94%) and reduced chlorite content (3-6%). The MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contents are nearly equivalent to single-mineral talc theoretically (according to theoretical calculations, talc mineral contains MgO = 29.09-30.08%; SiO<sub>2</sub> = 61.71-62.69%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.03-0.50%). The total iron content is significantly reduced. The obtained products meet the initial requirements for certain specific applications. However, further research is needed to develop beneficiation methods to remove or minimize harmful substances (As, Pb, Hg) to enhance the quality of talc ore and expand its applications in pharmaceutical, cosmetic, and other industries.

### Bibliography

1. Pi-Puig, T.; Animas-Torices, D.Y.; Solé, J., (2020). Mineralogical and Geochemical Characterization of Talc from Two Mexican Ore Deposits (Oaxaca and Puebla) and Nine Talcs Marketed in Mexico: Evaluation of Its Cosmetic Uses. *Minerals*, 10, 388.
2. Nkoumbou, C.; Villiéras, F.; Njopwouo, D.; Nguone, C.Y.; Barres, O.; Pelletier, M.; Razafitianamaharavo, A.; Yvon, J., (2008). Physicochemical properties of talc ore from three deposits of Lamal Pougue area (Yaounde Pan-African Belt, Cameroon), in relation to industrial uses. *Appl. Clay Sci.*, 41, 113–132
3. Hoang Quang Nam et. al., (2017). Report on the results of talc mine exploration in Long Coc and Van Luong communes, Tan Son district, Phu Tho province. Geological Archives, Hanoi (*in Vietnamese*).

4. Pham Ngoc Thach et. al., (2014). Report on talc exploration results in My Thuan area, Tan Son district, Phu Tho province. Geological Archives, Hanoi (*in Vietnamese*).
5. Ersoy, B.; Dikmen, S.; Yildiz, A.; Gören, R.; Elitok, O., (2013). Mineralogical and physicochemical properties of talc from Emirdağ, Afyonkarahisar, Turkey, Turk. J. Earth Sci. 2013, 22, 632–644
6. Joint Committee on Radiation Protection (JCRP) - <https://www.icrp.org>.

*Геоэкологическое состояние торфяных месторождений на примере севера Архангельской области*

*Арт Лилу Евгеньевна (АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ДЕТЕЙ ДЕТСКО-ПОДРОСТКОВЫЙ ЦЕНТР  
"ГЕОЛОГ", Архангельск. E-mail: galzonok555@mail.ru)*

**Аннотация:** Территория Архангельской области характеризуется значительной заболоченностью (не менее 18,8% ее площади региона), при этом степень изученности торфов, которыми представлены болотные отложения, крайне низкая [1]. Основные исследования по торфам Архангельской области ведутся в направлении их химического состава, ботанического определения, но не геоэкологического состояния.

В рамках работы автором лично было изучено 4 торфяных месторождения в разных районах севера Архангельской области, на каждом из объектов описывались торфяные отложения, была дана их визуальная характеристика, оценено текущее состояние.

Существуют различные подходы к оценке геоэкологического состояния заболоченных территорий, и одним из них является анализ данных дистанционного зондирования. Загрязнение болотных массивов происходит преимущественно за счет атмосферного переноса, поэтому при помощи программы Nupslit [2], опубликованной в общем доступе, были построены карты-схемы территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферы близи торфяных месторождений – объектов изучения.

Для оценки процессов, происходящих в болотных массивах под воздействием как антропогенных, так и естественных факторов, автором предлагается сравнить снимки GoogleEarth разных лет в пределах территорий – объектов изучения. Исходя из изученных данных, использование данных дистанционных снимков позволяет отследить тренды состояния торфяных месторождений, отличать ситуации с увеличением площади топких участков или развитием озер, что соответствует целям геоэкологического мониторинга.

Проведенные в данной работе комплексные исследования могут лечь в основу создания такой системы.

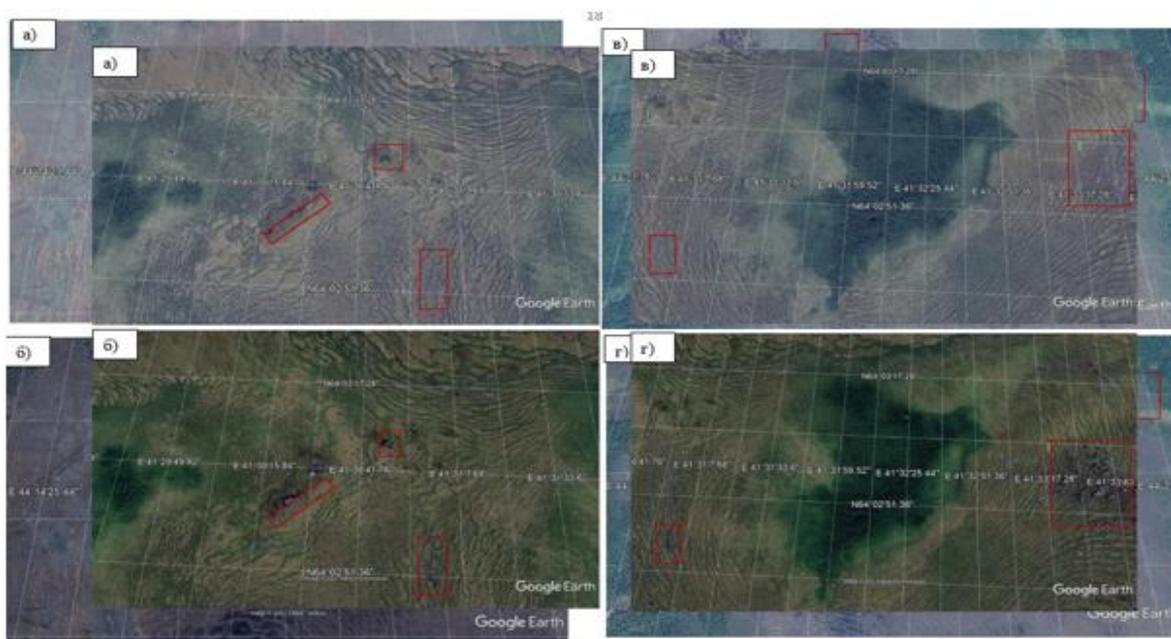


Рисунок 9 – Трофимовское месторождение, сравнение изменений: а, в – июль 2013 г.; б, г – август 2019 г.

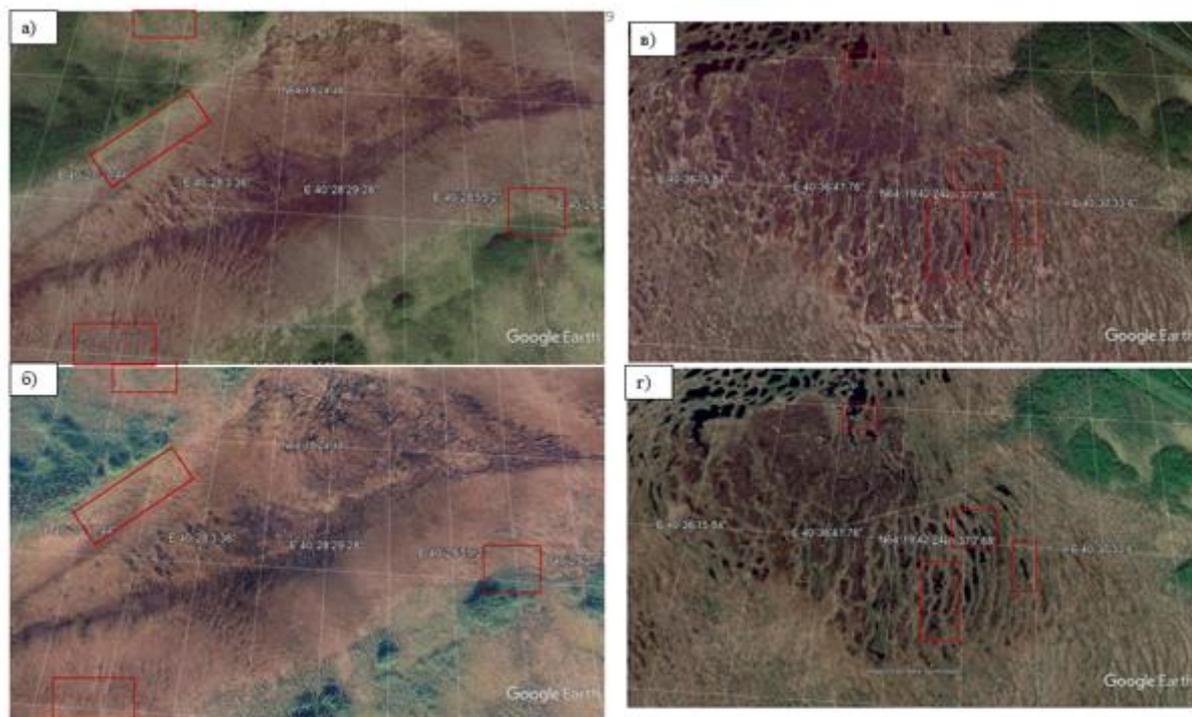


Рисунок 10 – Дикое месторождение, сравнение изменений: а, в – июль 2013 г.; б, г – август 2020 г.

Рисунок 11 – Брусовица, сравнение изменений: а, в – август 2011 г., б, г – сентябрь 2020 г.

### **Ключевые слова**

Архангельская область, ресурсы торфяных месторождений, антропогенное воздействие, мониторинг состояния болот, экосистемы.

### **Теория**

Разработка торфяных месторождений региона не ведется, и основное их применение связано со сбором дикоросов местными жителями, в связи, с чем необходимо понимать степень загрязнения болотных массивов и влияние на здоровье людей, в чем заключается важность формирования регионального геоэкологического мониторинга.

По мнению автора, наиболее эффективной геоэкологический мониторинг за состоянием болотных массивов должен состоять из четырех основных компонент:

- полевых выездов с целью отбора проб на исследования и визуального изучения состояния массивов;
- изучения результатов лабораторных исследований по химическому составу болотных вод, анализ геохимических особенностей распределения элементов по разрезу торфяника (например, в пределах 1 м);
- установления основных источников загрязнений болотных массивов;
- дистанционного наблюдения за состоянием болотных массивов.

Работа дает оценку антропогенного воздействия на торфяные отложения севера Архангельской области.

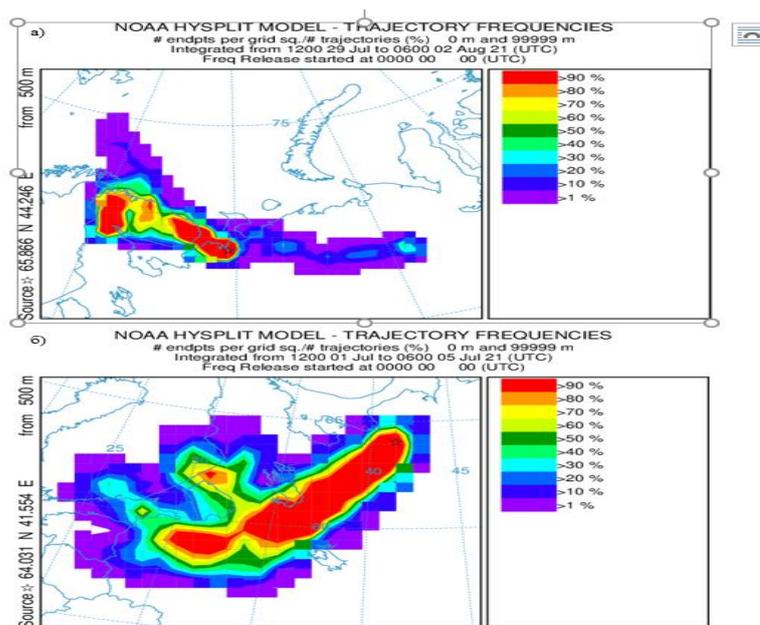


Рисунок 8 – Карты-схемы территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферы вблизи а) Трофимовского; б) Дикого месторождений (за июль 2021 г. – время наблюдений), построены по данным [19]

### Выводы

Торф Архангельской области – это недоизученный и недооцененный ресурс, имеющий значительное распространение на территории региона (не менее 18% от площади области).

Болотные массивы, являясь водным объектом, находятся практически вне региональных наблюдений, согласно ежегодным докладам о «Состоянии окружающей среды Архангельской области». Учитывая роль болот в поддержании состава атмосферного воздуха, их влияния на формирование теплового баланса территории [2], необходимость формирования системы регионального мониторинга за состоянием болотных массивов не вызывает сомнений. При этом основное применение болотных массивов населением области является сбор дикоросов, и ввиду этого, важно знать их степень загрязнения и влияние на здоровье людей.

По мнению автора, наиболее эффективной геоэкологической мониторинг за состоянием болотных массивов должен состоять из четырех основных компонент:

- полевых выездов с целью отбора проб на исследования и визуального изучения состояния массивов;
- изучения результатов лабораторных исследований по химическому составу болотных вод, анализ геохимических особенностей распределения элементов по разрезу торфяника (например, в пределах 1 м);
- установления основных источников загрязнений болотных массивов;
- дистанционного наблюдения за состоянием болотных массивов.

Проведенные в данной работе исследования могут лечь в основу создания такой системы: были рассмотрены примеры работы с дистанционным наблюдением, позволив таким экспресс-методом оценить состояние объектов изучения, проведены полевые выезды для визуальной оценки состояния объектов изучения, рассмотрена антропогенная нагрузка на изучаемые болотные массивы. Абсолютно не затронутой осталась лишь тема лабораторных исследований химического состава как наиболее изученная специалистами, но при добавлении таких данных будет сформирована полная картина состояния болотных массивов. Но именно комплексный подход необходим для геоэкологической оценки такой экосистемы, как болота – предмета изучения большого числа научных дисциплин.

### **Библиография**

1. Михайлов, А.В. Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки горного института. - 2013. - Т. 200. - с. 226–230.
2. Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, Bull. Amer. Meteor. Soc., 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

*Морские лилии нижнего и среднего отдела каменноугольной системы и их условия  
обитания*

*Докладчик: Кондратьева Анастасия Андреевна (МБУ ДО ДЮЦ «Спектр»,  
kondrateva.anastasiya.04@bk.ru)*

**Аннотация**

Летом 2019-2021 годов автором были проведены полевые сборы образцов криноидей с трех обнажений Губахинского района: Карьер Широковский, Мариинский лог, Виадук. Летом 2020 автором произведен сбор образцов на территории Пророко-Ильинской копи Челябинской области. Всего было описано 297 образцов фрагментов морских лилий. Согласно научным исследованиям Г.А. Стукалиной были определены морфофункциональные типы развития стеблей криноидей. Определение родовой принадлежности производилось согласно классификации Р.С. Елтышевой. Для рода *Cyclocyclicus* характерна округлая форма осевого канала и членика, для *Ellipsoelipticus* овальная форма осевого канала и членика, для *Cycloelipticus* овальная форма членика и округлая форма осевого канала, для *Pentagonocyclicus* округлая форма членика и пятиугольная форма осевого канала. В работу включены исследования по изучению строения криноидей, а именно: подробно изучены дихотомирование, частота и ширина ребер, изучена морфология легаментного поля: его глубина, занятая поверхность, произведено деление на молодых и старых члеников на основании высоты и скульптуры.

**Ключевые слова**

Леваментное поле, Осевои канал, Цирры, Ребра, Базальные таблички, Брахиоли (руки), Брахиальные таблички, Инфрабазальные таблички, Радиальные таблички.

**Теория**

Обнажение Виадук находится в Пермском крае, Губахинском районе. На расстоянии 500 метров по азимуту СЗ 300° от ОАО «Коксохима». И в 1 км по азимуту СВ 64° от вершины горы Крестовой. Верхняя часть обнажения представлена скальным выходом известняков. А у подножья находится осыпь, представленная глыбами и щебнем.

На обнажении Виадук были выявлены следующие рода: *Cyclocyclicus*, *Ellipsoelipticus*, *Cycloelipticus*.



Рисунок 1

Криноидеи, отобранные с обнажений Виадук принадлежат черепецкому горизонту турнейского яруса нижнего отдела каменноугольной системы. Для них характерно присутствие четко выраженных ребер, отсутствие легаментного поля и широкие осевые каналы. Вероятно, в черепецкое время на данной территории происходило тектоническое поднятие морского дна, и потребность в более плотном прикреплении члеников исчезла. Данные криноидеи можно отнести ко второму морфофункциональному типу развития стеблей.

Второй морфофункциональный тип характеризуется развитием функции движения у стеблей. Вследствие чего происходит уменьшение высоты члеников и увеличение их числа в стебле. В результате достигается наибольший угол наклона при незначительном угле расхождения стеблевых члеников. Конечная стадия развития стеблей этого направления, вероятно, приводит к атрофии стебля и появлению плавающих бесстебельных форм.

Скальные обнажения, в которых были отобраны образцы с включениями криноидей находятся в одном из карьеров Мариинского лога, который находится на расстоянии 6 км по Аз СВ 24° от вершины горы Крестовой и на расстоянии 5 км по Аз СВ 20° от автомобильного моста федеральной трассы через реку Косьву.

Карьер сложен светло-серыми известняками каменноугольной системы нижнего отдела – серпуховского и среднего - башкирского и московского ярусов с прослоями доломитов, глинистых пород и брекчий.

На обнажении Мариинского лога: *Cyclocyclicus* и *Moscovicrinus*.



Рисунок 2

Строение криноидей обнажения рода *Cyclocyclicus* схоже по строению с образцами обнажения Виадук. Соответственно представлен второй морфофункциональный тип.

К сожалению, на данном обнажении в слоях московского яруса был встречен лишь один образец рода *Moscovicrinus*, представленный в виде чашечки и брахиолей.

Обнажение, с которого были отобраны членики криноидей находится на расстоянии 1 км по Аз С 360° от ЛЭП и на расстоянии 2 км по Аз СЗ 291° от Широковской ГЭС. В правой части обнажения находится выход коренных пород, состоящий из темно-серого, битуминозного, кремнистого известняка. У подножия обнажения находится осыпь, сложенная обломками доломитизированного известняка размерами от 2 до 20 см, задернована. Верхняя часть обнажения сложена переслаиванием плотных светло-серых доломитизированных известняков. На «Широковском» обнажении: *Cyclocyclicus*, *Pentagonocyclicus*.

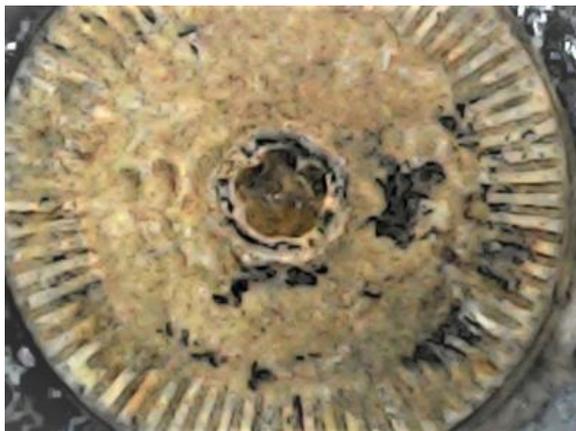


Рисунок 3

Криноидеи «Широковского» обнажения принадлежат малевскому и упинскому горизонтам турнейского яруса нижнего отдела каменноугольной системы. У криноидей присутствуют четко выраженные легаментные поля, необходимые для более плотного прилегания члеников друг к другу. Вероятно, в малевское и упинское время на данной территории происходило тектоническое опускание дна моря, соответственно криноидеи находились на большой глубине, что вызывало эволюцию в строении стебля. Согласно Г.А. Стукалиной, развитие морских лилий проходило по третьей стадии морфогенеза.



Рисунок 4

Третий морфофункциональный тип является наиболее сложным по отношению к остальным. Этот тип определяется появлением и развитием нового типа соединительных связей. Они развивались не в суживающейся полости осевого канала, а в пределах сочленовных фасеток. Функция осевого канала в этом случае сводится к помещению лишь нервных тяжей и кровеносных сосудов.

Челябинская область. Образцы были отобраны с обнажения известняков. Известняки серого цвета, мелкозернистые, плотные, кварцитовидные. Пегматитовые жилы, пересекающие известняки, полностью сканолитизированы. Порода была подвержена диффузионному метасоматозу. Обнажение находится в Челябинской области, на территории, административно подчиненной городу Пласт, на 7 км Юго-Восточнее села Борисовка, близ Пророко-ильинской копи. Возраст-С1.

### **Выводы**

В ходе изучения морских лилий Губахинского района были выявлены пять родов ископаемых криноидей: *Cyclocyclicus*, *Ellipsoelipticus*, *Cycloelipticus*, *Moscovicrinus*, *Pentagonocyclicus*.

У морских лилий обнажения Виадук присутствуют дополнительные отростки – цирры, которые занимают один или 2-4 членика. На основании роста криноидей, автор делает вывод – членики, цирры которых занимают больше 1 членика находится ближе к корню и соответственно более возрастные, а криноидеи, цирры которых занимают один членик, более моложе и находятся близ чашечки.

У криноидей Мариинского лога и обнажения Виадук замечен новый признак развития ребер – дихотомирование. Возможно, это связано с дальнейшей эволюцией и приспособлением морских лилий к климату и условиям обитания, или же это связано с появлением нового вида криноидей.

Автор выделил схожесть криноидей Губахинского района и Челябинской области. У морских лилий одинаковые рода, высота членика, одинаковый возраст пород. По этим данным можно сделать вывод о том, что в ранний карбон на территориях Урала была схожая водная обстановка, глубины и течения, которые способствовали одинаковому развитию организмов.

### **Библиография**

1. Дубатолова Ю.А. Морские лилии девона Кузбасса. Изд-во «Наука», 1964.
2. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология Ч.2: Учебник – М.: Изд-во МГУ, 1997.
3. Путеводитель геологической экскурсии по типовым разрезам подразделений карбона и перми. Косьвинский маршрут / Перм.гос.ун-т. – Пермь, 2010.
4. Путеводитель стратиграфической экскурсии по карбону Урала. Западный склон Среднего Урала, Косьвинский маршрут/ под ред. Софроницкого П.А., Пахомова И.В., Винниковского С.А. – Пермь, 1972.
5. Стукалина Г.А. Криноидеи палеозоя: Практическое руководство по макрофауне России и сопредельных территорий – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000.
6. <https://delta-design.ru/petrografiya/745-vidy-metasomatoza.html>

*Улучшение цветовых характеристик циркона месторождения Незаметнинское  
Ахметиин Э.А. (Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
4966945@mail.ru),*

*Федосеев Д.Г. (ДВГИ ДВО РАН, Гохран России, fedoseev@fegi.ru),  
Камынин В.А. (Гохран России, vkatynin@gokhran.ru)*

#### **Аннотация**

Крупное золото-вольфрамовое месторождение Незаметнинское, располагающееся в Приморском крае, является одним из наиболее перспективных на территории России по содержанию попутных полезных ископаемых - ювелирного циркона и корунда. Цирконы этой россыпи обладают различными цветовыми характеристиками, среди которых преобладают темные, насыщенные коричневато-красные и темно-коричневые кристаллы. Экспериментальные работы по изменению цветовых характеристик цирконов показали возможность модифицирования их окраски. Так, нагрев на воздухе темноокрашенного кристаллосырья цирконов при 300°C приводит к осветлению, уменьшению коричневой составляющей цвета, тогда как термообработка при температуре 1100°C в восстановительной среде позволяет получить из них бесцветные, бледно-голубые и голубые окраски. Облучение полученных термообработкой голубых и бесцветных цирконов рентгеновским излучением, частично, приводит к формированию в них красноватых оттенков.

#### **Ключевые слова**

Циркон, месторождение Незаметнинское, термообработка циркона, облучение.

#### **Теория**

Самостоятельных промышленных месторождений ювелирного циркона на территории Российской Федерации в настоящее время не известно, несмотря на то что это популярный ювелирный камень, а сам циркон добывается как рудный минерал для получения циркония. За рубежом ювелирного качества цирконы встречаются главным образом в аллювиальных, элювиальных и прибрежно-морских отложениях и добываются как самостоятельно, так и попутно в Юго-Восточной Азии, Австралии, Африке.

Одним из самых интересных объектов в России, где обнаружены ювелирные цирконы, является месторождение Незаметнинское – комплексная золотоносная россыпь, содержащая разности благородного корунда, циркона и шпинели. Собственно, россыпь пространственно и генетически связана с коренным золото-вольфрамовым месторождением гранит-порфирового Незаметнинского штока и располагается в бассейне р. Кедровка, на Дальнем Востоке, Приморье [2]. Основной научный и практический интерес до недавнего времени представляли ювелирные сапфиры [1], однако для циркона, проблемой которого является крайне низкое содержание яркоокрашенного кристаллосырья в россыпи, не были проведены какие-либо изыскательские работы. Поэтому улучшение цветовых характеристик цирконов россыпного месторождения Незаметнинское является весьма актуальной задачей как научного, так и практического характера. Так, для цирконов Юго-Восточной Азии наиболее целесообразным способом модифицирования окраски уже показал себя метод термического нагрева, позволяющим получить наиболее востребованные голубые окраски [3, 4].

Авторы выражают благодарность Национальной аналитической сертификационной лаборатории (НАСЛ) высокочистых веществ и материалов РХТУ им. Д.И. Менделеева за помощь в проведении аналитических (спектральных) исследований.

В рамках научно-исследовательской работы из кристаллосырья Незаметнинского месторождения были отобраны цирконы, преимущественно имеющие темную, чрезмерно насыщенную окраску: это различные темно-оранжевые, коричневые, бордовые и коричневато-

красные цвета (рис. 1). Для термической обработки были взяты два темноокрашенных образца с отсутствием видимых пороков (включения, трещины), впоследствии из которых были изготовлены плоскопараллельные полированные шлифы.



Рисунок 1. Цирконы месторождения Незаметнинское Приморского края при внешнем (слева) и в проходящем (справа) освещении

Термообработка осуществлялась в электропечи с резистивным нагревателем марки СНОЛ 12/16, обеспечивающей нагрев в диапазоне до 1600°C, с использованием различных окислительных и восстановительных агентов. Первая термообработка проводилась в окислительной среде при температуре 300°C, для обоих шлифов были получены заметные улучшения окраски до оранжевого, красновато-оранжевого цвета (рис. 2б). Вторичная термообработка при температуре 1100°C с использованием восстановительного агента, привела к тому, что цирконы в обоих случаях приобрели светло-голубую окраску (рис. 2в). После термообработок шлифы были подвергнуты облучению на рентгеновской установке с катодной трубкой 5БХВ6, энергией рентгеновского излучения – 20 кэВ и временем экспозиции 18 часов. За этот временной промежуток величина поглощённой дозы цирконами составила около 195 кГр. (кафедра химии высоких энергий и радиозекологии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, аналитик – А.А. Фенин). После облучения первый образец визуально остался бесцветным, однако вдоль плоскости шлифа стала видна заметная желтоватая окраска; у второго образца изменения наблюдаются заметнее – он приобрел бледно-оранжевую окраску (рис. 2г).

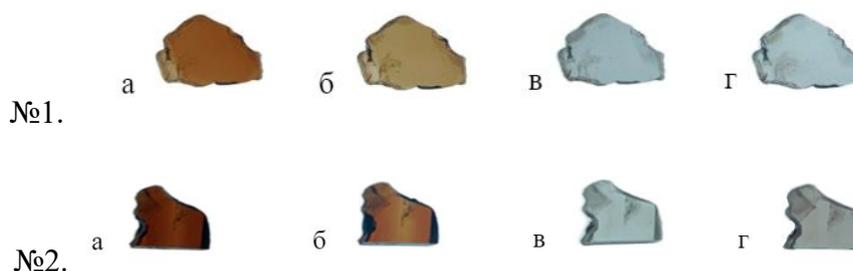


Рисунок 2. Демонстрация изменения цветовых характеристик образцов циркона №1 и 2: а- до термообработки; б- после термообработки в окислительной среде при температуре 300°C; в- после последующей термообработки в восстановительной среде при температуре 1100°C; г- после облучения

Исследования с помощью оптико-спектрального анализа, проведенные на спектрофотометре UNICO 2800 (UV/VIS) с диапазоном измерений 190-1100 нм, показали для обоих образцов после нагрева значительное снижение поглощения в видимой области спектра

(рис. 3а,4а). Снижение поглощения происходит в основном с сохранением пиков, но заметно, что слабо выраженный пик в районе 500 нм после каждой термообработки становится все менее выраженным, и линия спектра приобретает более сглаженный пологий вид, а поглощение в целом значительно снижается.

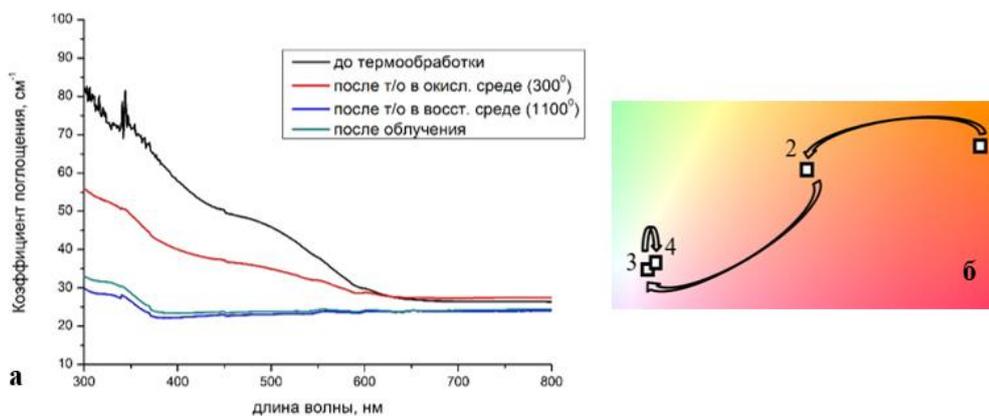


Рисунок 3. Результаты исследования улучшения цветовых характеристик образца циркона №1: а - Спектр поглощения циркона до и после термообработок с последующим облучением; б – Отображение изменения цветовых координат на CIE поле для того же образца (1- до термообработки; 2- после термообработки в окислительной среде при температуре 300°С; 3- после термообработки в восстановительной среде при температуре 1100°С; 4- после облучения)

Следует отметить то, что как спектры поглощения, так и положение цветовых координат на диаграмме цветности показывают, в какой степени изменилась окраска циркона на определенном этапе воздействий на его цветовые характеристики (рис. 3б, 4б). На фрагментах цветовых диаграмм для обоих шлифов можно ясно наблюдать тенденцию изменения окраски – ступенчато, с каждой термообработкой цирконы осветляются, приобретая голубую окраску, но после облучения вектор изменения окраски меняет направление для разных образцов, что по всей видимости может указывать на влияние примесного состава.

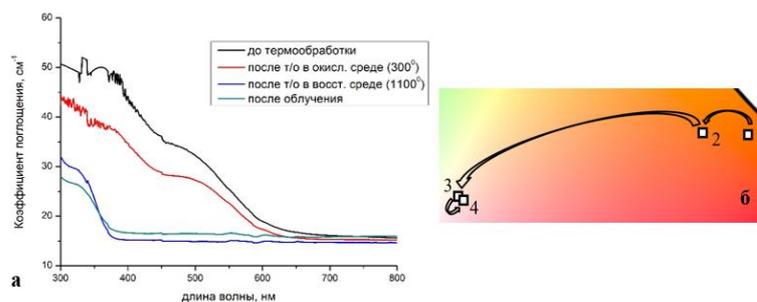


Рисунок 4. Результаты исследования улучшения цветовых характеристик образца циркона №2: а - Спектр поглощения циркона до и после термообработок с последующим облучением; б – Отображение изменения цветовых координат на CIE поле для того же образца (1- до термообработки; 2- после термообработки в окислительной среде при температуре 300°С; 3- после термообработки в восстановительной среде при температуре 1100°С; 4- после облучения)

### Выводы

Нагрев цирконов в окислительной среде при температуре 300°С позволяет убрать коричневую компоненту и осветлить камни до оранжевых, красно-оранжевых, красных цветов,

тогда как термообработка при 1100°C с использованием восстановительного агента приводит уже к значительному изменению окраски с оранжевой на бледно-голубую. Последующее облучение голубых цирконов рентгеновским излучением позволяет проявить обратимость изменения цвета - частичного восстановления окраски до оранжевого цвета.

Представленные экспериментальные результаты демонстрируют возможность изменения окраски природных цирконов Незаметнинского месторождения методом термообработки и облучения. Улучшение цветовых характеристик ювелирных разновидностей циркона за счет облагораживания разрешает проблему наличия на месторождении низкосортного, темного, избыточно окрашенного сырья, улучшая его цвет и повышая его стоимость.

### **Библиография**

1. Ахметшин Э.А., Савина Е.И., Плечов П.Ю., Петрова О.Б. Улучшение цветовых характеристик сапфиров fancy месторождения «Кедрового» методом термообработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 2. – С. 30–50.
2. Fedoseev D.G., Pakhomova V.A., Tishkina V.B., Buravleva S.Y., Zarubina N.V., Ostapenko D.S., Nikolaeva K.N. Zircons from the Nezametninskoe Deposit (the Russian Far East) // The Journal of the Gemmological Association of Hong Kong. — 2015. — Vol. XXXVI. — pp. 30-32.
3. Thitima Laithummanoon, Wongkokua Wiwat Effect of heat treatment on color of natural zircon // The Journal of KMUTNB. — 2013. — Vol. 23. — № 2. — pp. 262-267.
4. U.G.A.M.P Abewardana, Sanjeewa P.K. Malaviarachchi CHANGE OF COLOUR & CLARITY OF SRI LANKAN ZIRCON BY HEAT TREATMENT // Proceedings of the 34th Technical Session of Geological Society of Sri Lanka. — 2018.