

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. 2: ЭКОЛОГИЯ И КЛИМАТ. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ И ГОРНОГО ДЕЛА / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. - М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024 – 430 с.

ISBN 978-5-907594-30-2

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

ISBN 978-5-907594-30-2 (Том 2)  
ISBN 978-5-907594-28-9

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2024

**Оглавление**

СЕКЦИЯ 3. ЭКОЛОГИЯ И КЛИМАТ. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ .....	7
Эколого-гидрохимическая оценка состояния вод родников Щелковского городского округа Московской области. Гусарова Д.С., Филатова О. Р., Яблонская Д.А. ....	7
Неопределённости в подходах к инвентаризации объектов накопленного вреда окружающей среде. Лозовая А.С., Данилов А.С. ....	11
Влияние техногенных факторов на стабильности и сорбционные свойства природных сорбентов. Журавлев А.А., Ефимов Е.Д., Белоусов П.Е. ....	16
Экологический кризис в городе Карабаш. Калмыков М.А., Федотова В.П. ....	20
Предпосылки переработки солеотходов калийных руд методом кристаллизации. Комаров Е.И., Криночкина Ю.П., Елманова А.А. ....	24
Современные экономические проблемы очистки сточных и поверхностных вод и пути их решения. Кряжова А.А., Курбацкая М.В. ....	28
Адаптационные способности растений, грибов и лишайников к условиям интенсивного оксидантного стресса, вызванного засолением. Плотникова У.Д., Голубкина Н.А. ....	32
Результаты оценки визуального загрязнения центра города Москвы. Коркина Н.А., Савушкина Е.Ю. ....	36
Анализ таксономических единиц существующих классификаций оползневых процессов. Крахина Е.А., Экзарьян В.Н. ....	40
Особенности разработки мероприятий по охране окружающей среды на полигонах ТКО. Мазур А.И., Алабужев Г.А. ....	44
Гармония недр – основа экологически сбалансированного освоения земных ресурсов вблизи водных объектов. Милетенко Н.А., Нурпеисова М.Б., Федеров Е.В. ....	48
Особенности обращения с отходами на нефтегазовых месторождениях Арктического региона Российской Федерации. Овсов Д.А., Щерба В.А. ....	52
Влияние температуры воздуха на концентрацию РМ2.5 в августе 2023 г. по данным Центра геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН. Рябова С.А. ....	56
Использование искусственного интеллекта в решении климатических и экологических проблем. Аликин Я.Д., Рукавицын В.В. ....	60
Моделирование социо-эколого-экономической системы города Норильска для разработки стратегии устойчивого развития. Васюкова А.А., Рукавицын В.В. ....	64
Оценка количественных показателей доступности зеленых насаждений для населения города Пермь. Иванцова В.С., Мазаев А.В. ....	68
Особенности объектного мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства. Кутейникова Д.М., Хлебосолова О.А. ....	72
Геоэкологическая оценка современного состояния подземных вод Смоленской области Носов Д.А., Щерба В.А. ....	76
Оценка современного состояния лесов Мещеры после пожаров с использованием материалов дистанционных методов зондирования. Попов И.С., Слащева А.В. ....	80
Анализ современных принципов управления трансграничными водными объектами на примере реки Иртыш. Самойлова П.П., Абрамова Е.А. ....	84
Создание региональной ООПТ «Никель – Заполярный» для изучения естественного и искусственного восстановления березовых редколесий и тундр. Сосна Е.М., Хлебосолова О.А. ....	88
Использование аэрофото- и космических снимков в качестве основы при управлении объектами техногенного загрязнения урбанизированных территорий. Хомич А.С., Экзарьян В.Н. ....	92
Актуальные проблемы экологического законодательства в сфере недропользования. Быстров А.А., Лунькин Д.А. ....	96

Анализ технологий устранения экологически негативных техногенных явлений в Арктической зоне. Васильев Д.С., Малюков В.П. ....	100
Оценка влияния фотосинтетической радиации (ФАР) на урожайность картофеля в Ленинградской области. Ганеватте В.П., Абанников В.Н., Подгайский Э.В., Виджаяратне Б.С. ....	104
Искусственный интеллект в системе предупреждения и контроля лесных пожаров в РФ. Кирпичев В.Э., Кодиров Ш.Ш. ....	108
Оптимизация мероприятий комплексной защиты населения при аварии на АЭС. Хлопук О.Л., Поляков В.М. ....	112
Характер симметрии четырёхлучевых кораллов из среднего девона живецкого яруса (D2zv) Курской и Воронежской области. Яцкин Д.А., Раскатова М.Г. ....	116
<b>СЕКЦИЯ 4. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ И ГОРНОГО ДЕЛА</b> .....	<b>120</b>
Подсекция 4.1. Актуальные проблемы автоматизации и энергетики геологической разведки и горного дела .....	120
Повышение производительности экскаватора ЭКГ-10 путем модернизации внутренней поверхности ковша футеровкой из высокомолекулярного полиэтилена. Галиулин И.В., Соловьев И.М. ....	120
О перспективах использования электроимпульсного бурения. Лебедев М.Е., Соловьев А.М. ....	124
Прямой привод на базе синхронного электродвигателя с постоянными магнитами для горных конвейеров. Крылков М.Ю., Логачёв Д.О., Крылков Н.М. ....	127
Анализ системы разработки с использованием льдопородной закладки. Шкаричев К.А., Абрамов А.М., Меркулов М.В. ....	132
Обоснование технологии ремонта вала насоса типа ЦНС. Логачёв Д.А., Башкуров А.Ю., Оливетский И.Н., Адамова Л.С. ....	135
Автоматизация донной сейсморазведки. Барменков Е.Ю., Логачев Д.А. ....	139
О перспективе повышения энергоэффективности дизельных электростанций при производстве горных и геологоразведочных работ. Головин С.В., Меркулов М.В., Адамова Л.С. ....	143
Математическая модель определения расчетной нагрузки буровой установки с учетом глубины бурения геологоразведочной скважины. Ломаев С.С., Головин С.В., Меркулов М.В., Адамова Л.С. ....	147
Анализ и выбор способа отработки в условиях месторождения «Хангалас». Молокова Н.О., Меркулов М.В. ....	151
Повышения качества электроэнергии в питающей сети при наличии электроприводов с полупроводниковыми преобразователями частот. Оливетский И.Н., Шевырева Н.Ю., Шевырёв Ю.В. ....	156
Подсекция 4.2. Бурение скважин .....	161
Совершенствование и повышение надежности цепного привода типа ПЦ60 на скважинах ПАО Татнефть. Аленькин Д.А., Бикбулатова Г.И., Сайтов А.А. ....	161
Оборудование для герметизации устья скважин из подземных горных выработок. Белов В.М., Трифаничев В.М. ....	165
Ликвидация скважин – несовершенство существующей технологии. Пекпулатова К.В., Трифаничев В.М. ....	169
Устранение заколонных перетоков. Ликвидация грифонов в изливающихся скважинах. Шаповалова Ю.И., Трифаничев В.М. ....	173
К вопросу о перспективах применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин. Леонтьев Д.С. ....	177
Исследование влияния доменных шлаков и других добавок на свойства портландцемента. Быков В.Д., Овчинников В.П. ....	181

Применение наночастиц в буровых растворах в условиях высоких температур и высоких давлений. Астафьев Е.Д., Паникаровский Е.В. ....	185
Влияние кольматанта на свойства тампонажного раствора и цементного камня. Карпов Е.О., Попова Ж.С. ....	188
Разработка высокотехнологичной компоновки заканчивания горизонтальной скважины. Овчинников В.П. ....	192
Разработка технологии предиктивной диагностики процессов бурения нефтяных и газовых скважин на основе методов обработки больших данных. Кодиров Ш.Ш. ....	197
Особенности бурения скважин с горизонтальным окончанием с применением роторно-управляемых систем на Астраханском газоконденсатном месторождении. Задваев Н.Б., Вайнерман Б.П. ....	201
Проект бурения бокового наклонно-направленного ствола скв. 4237 на Приобском месторождении (Тюменская область). Искандаров Д.Р., Вайнерман Б.П. ....	205
Обоснованием влияния пространственного взаиморасположения горизонтальных стволов на добычу скважин на Ашальчинском нефтяном месторождении. Исломов А.А., Сырчина А.С. ....	208
Разработка рецептур буровых растворов для исключения гидратации глиносодержащих горных пород. Курамшина Э.Р., Соловьев Н.В. ....	212
Мировой опыт применения автономных буровых станков. Мартюшин С.А., Сырчина А.С. ....	216
Анализ комплексов со съемным керноприемником с целью выбора оптимального для условий месторождения Самолазовское (Республика Саха). Мартюшин С.А., Сырчина А.С. ....	220
Технология бурения с использованием роторно-управляемых систем предельно малых диаметров и систем искусственного интеллекта. Мезенцев Д.Ю., Соловьев Н.В. ....	224
Обоснование выбора состава промывочной жидкости для бурения в прихватоопасных интервалах на Арчинском нефтегазоконденсатном месторождении (Томская область). Мухаммад А.И., Сырчина А.С. ....	228
Причины аварий и способы их предупреждения при бурении разведочных скважин на золотосеребряном месторождении «Лунное» (Омсукчанский р-он. Магаданская обл. Россия). Николаев Д.В., Склянов В.И. ....	232
Обоснование параметров бурового раствора при бурении соленосных толщ на Черноярском месторождении (Оренбургская область). Носачёв В.В., Сырчина А.С. ....	236
Способы закрепления проппанта на стенках скважины. Синюков Р.А., Сырчина А.С. ....	240
Создание высокопроизводительных алмазных коронок для разведочного бурения твердых горных пород. Пернебаев Ф.Н., Склянов В.И. ....	243
Технология бурения эксплуатационной добывающей наклонно-направленной скважины в Ханты-Мансийском автономном округе на юрские нефтяные отложения на Федоровском НГКМ с применением системы каротажа в процессе бурения. Саидов С.С., Овчинников П.В. ....	246
Опыт применения телеметрической системы для предупреждения столкновения стволов скважин на Самотлорском месторождении. Салимов Б.Ю., Сырчина А.С. ....	250
Регулирование свойств, облегченных тампонажного раствора. Сырчина А.С. ....	253
Влияние пульсирующего потока на силу трения. Тунгусов С.А. ....	257
Анализ и выбор роторно-управляемых систем для бурения горизонтальных скважин на шельфе Охотского моря. Ходак Е.Е., Сырчина А.С. ....	260
Обоснование выбора рациональной рецептуры бурового раствора для бурения горизонтальных скважин в акватории Охотского моря. Чуева А.С., Сырчина А.С. ....	264
Восстановление дебита эксплуатационных скважин с помощью центробежных виброгенераторов. Чурмантаев Д. Д., Сырчина А.С. ....	268
Экологизация процесса бурения скважин с применением безамбарной технологии. Яндиев М.А., Соловьев Н.В. ....	271

Методика оценки параметров и совершенствование способа приготовления раствора на углеводной основе для строительства горизонтальных скважин на Фестивальном месторождении. Магсумов Б.Р., Овчинников П.В. ....	275
Сравнительный анализ показателей процесса направленного бурения скважины Астраханского газоконденсатного месторождения с применением РУС и ВЗД. Денисов Д.А., Ганин И.П. ....	279
Геонавигационное сопровождение процесса бурения наклонно-направленной скважины (на примере Габышевского месторождения, Пермский край). Молотков Д.А., Вайнерман Б.П., Сырчина А.С. ....	283
Роль биоремедиации в обращении с отходами бурового раствора. Губайдуллин С.Г., Вайнерман Б.П. ....	287
Предупреждение прихватов на Красноленинском месторождении в условиях бурения интервалов диспергирующих глин. Нурумбаев А.А., Овчинников П.В. ....	291
Анализ условий и технология вскрытия пласта с регулируемым управляемым давлением. Лукманов С.М., Овчинников П.В. ....	295
Регулирование свойств БРМП для бурения в проницаемых горных породах. Медведева Д.К., Соловьев Н.В. ....	297
Использование ферроуранового сплава в изготовлении утяжеленных бурильных труб (УБТ). Маслак С.В., Белов А.П. ....	301
Бурение эксплуатационной наклонно-направленной скважины в условиях газонефтеводопроявлений на Малобалыкском нефтяном месторождении (Тюменская область). Юмагулова Э.И., Вайнерман Б.П. ....	304
Разработка технологических мероприятий по профилактике прихватов на месторождении. Мухаметдинов Ю.И., Соловьев Н.В. ....	308
Повышение нефтеотдачи пласта на Узунском месторождении. Курбонов А.М., Соловьев Н.В. ....	312
Использование полимерных промывочных жидкостей в процессе бурения наклонно-направленных скважин на Ай-Пимском нефтяном месторождении (Тюменская область). Ярмиева К.И., Вайнерман Б.П. ....	315
Анализ возникновения вибраций в процессе бурения. Соловьев Н.В., Албаков М.М. ....	319
Современные материалы и технологии крепления скважин в условиях высоких и циклически изменяющихся температур. Аль-Халифе Н.А., Овчинников П.В. ....	323
Снижение техногенного воздействия на окружающую среду при бурении нефтяных и газовых скважин. Ратиев А.А., Сырчина А.С. ....	327
Технология бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые на примере ГОК «Наталкинского». Каминский Я.П., Румянцев А.Д., Тунгусов С.А. ....	331
Подсекция 4.3. Горное дело и общепромышленные методы решения горно-геологических задач	335
Влияние угла поворота основного резца долота РДС на эффективность разрушения горной породы. Гаврилов Р.И., Арсентьев Ю.А. ....	335
Обоснование выбора типа буровой жидкости из условия устойчивости пород в стенках скважины. Орехов Д.Д., Арсентьев Ю.А. ....	339
Влияние характера структурных связей глинистых частиц на процесс разупрочнения горных пород при выветривании и разрушении гидромониторными струями. Клочков Н.Н., Пятова Н.Е., Богачев М.Ю. ....	344
Вопросы управления качеством полезного ископаемого при разработке алмазной трубки «Удачная». Кувшинников А.К., Яшина В.И., Яшин В.П. ....	348
О возможном применении БЛПА в практических задачах геологоразведки. Николаев Д.В., Насыров А.А. ....	352
Анализ проблемных аспектов сектора технической соли в России и стратегии улучшения добывающей индустрии. Солодухин С.О, Анисимова А.Б. ....	356
Применение закладки при добыче полезных ископаемых. Батова И.М., Васильева М.А. ....	360

Палеонтологические исследования керна скважин. Зенкаева А.В., Арсениевич Д., Верчеба А.А. ....	365
Анализ влияния забойных работ на повышение эффективности дробления горной породы. Комаров Д.П. ....	369
Оценка прочностных и деформационных характеристик кернов горных пород методом скретч- теста и оборудование для непрерывного профилирования механических свойств. Пирожкова Т.С., Самодуров А.А., Тюрин А.И. ....	373
Секция 4.4. Технология и техника освоения континентальных, шельфовых и глубоководных месторождений полезных ископаемых ....	377
Расчет технологических параметров с применением электронных таблиц. Абрамов А.М., Клочков Н.Н., Богачев М.Ю. ....	377
Анализ методик по определению гидравлической крупности тяжелых минералов. Алифашкин А.А., Некоз К.С., Чеснова Е.С. ....	381
Размещение и утилизация твердых бытовых отходов в техногенном подземном пространстве. Габский А.А., Бессчетнов С.А. ....	384
Аспекты взаимодействия затопленных осесимметричных гидромониторных струй при скважинной гидродобыче полезных ископаемых. Гончаров Я.А., Вильмис А.Л., Чеснова Е.С. ....	388
Пути модернизации дробильно-сортировочных комплексов: снижение влияния на окружающую среду и улучшение условий труда. Ткаченко А.С., Кухарева А.А., Бочков В.С. ....	391
Автоматизация расчёта теоретического времени работы экскаватора в программе Excel. Максимова А.К., Богачев М.Ю., Вильмис А.Л. ....	395
Выбор системы разработки на угольных шахтах, обеспечивающих безопасность от внезапного взрыва метана. Боровков Ю.А., Максимова А.К., Шалаева А.А. ....	399
Анализ комплексов со съёмным кернаприемником с целью выбора оптимального для условий месторождения Самолазовское (Республика Саха). Мартюшин С.А., Сырчина А.С. ....	403
Лабораторный стенд по исследованию размыва асфальтитов свободными незатопленными гидромониторными струями. Митрушина А.С., Салахов И.Н., Вильмис А.Л. ....	407
Инновационные технологии в горном деле. Нагайцев Н.А., Шендеров В.И. ....	410
Применение компьютерной системы регистрации свинчивания трубных соединений. Рожкова Д.С., Распопова М.В. ....	414
Компоновка заканчивания горизонтальной скважины с малогабаритным хвостовиком. Рожкова Д.С., Овчинников В.П. ....	417
Анализ технико-технологических мероприятий, направленных на снижение стоимости строительства метаноугольных скважин. Селезнева В.А., Попова Э.А., Тунгусов С.А. ....	420
Оптимизация потерь промывочной жидкости за счет применения современных технических средств при бурении скважин. Тухватуллин Б.Ф., Богданов П.В. ....	424
Разработка параметров наклонно-направленной добывающей скважины в зоне аномально высоких пластовых давлений с использованием геомеханических моделей. Ходяев И.А., Вайнерман Б.П. ....	427

**СЕКЦИЯ 3.  
ЭКОЛОГИЯ И КЛИМАТ. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ  
ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ**

*Эколого-гидрохимическая оценка состояния вод родников  
Щелковского городского округа Московской области  
Гусарова Д.С.\* (Московский государственный университет имени  
М. В. Ломоносова, [siren16@yandex.ru](mailto:siren16@yandex.ru)),  
Филатова О. Р. (Московский государственный университет имени  
М. В. Ломоносова, [orlova8313@yandex.ru](mailto:orlova8313@yandex.ru)),  
Яблонская Д.А. (Московский государственный университет имени  
М. В. Ломоносова, [daria.yablonskaya@gmail.com](mailto:daria.yablonskaya@gmail.com))*

**Аннотация**

В работе определены гидрохимические характеристики родниковых вод территории Щелковского городского округа Московской области. Установлено, что воды исследованных родников характеризуются повышенным содержанием  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и соединений азота, что обусловлено локализацией их области питания в четвертичных отложениях, испытывающих серьезную техногенную нагрузку за счет влияния промышленных объектов. При этом превышения ПДК наблюдаются в единичных случаях по таким показателям как значения ХПК и содержаниям  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  в водах отдельных родников.

**Ключевые слова**

Воды родников, Щелковский округ, питьевые воды, макросостав, растворенные микроэлементы.

**Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Развитие комплексных методов физической, прогнозно-поисковой и экологической геохимии» (контракт № 5-3-2021, номер ЦИТИС: 121061600048-7).

**Теория**

Щелковский городской округ (северо-восток Московской области) расположен на стыке Мещёрской низменности (междуречье Оки, Москва-реки и Клязьмы) и Смоленско-Московской возвышенности (междуречье Клязьмы и Вори). Нахождение района в центральной части Восточно-Европейской платформы определяет его характерное геологическое строение: нижний этаж, сложенный древними породами архейской и протерозойской эры и верхний этаж, объединяющий мелководные морские и континентальные отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Четвертичные отложения представляют собой ледниковые образования из трех морен и сопутствующих им водно-ледниковых отложений. Аллювиальные комплексы речных террас четвертичного возраста слагают значительные площади изучаемой территории [1].

Техногенная нагрузка на территории округа осуществляется за счет функционирования предприятий фармацевтической, пищевой, легкой, аффинажной и химической промышленности, агрохимического комплекса, металлургии, машиностроения и металлообработки, приборостроения и пр. Также важными факторами техногенной нагрузки являются: строительство и реконструкция федеральных автомагистралей с сопутствующим изменением ландшафта и химического режима природно-территориального комплекса, добыча полезных ископаемых (пески и гравий, кирпично-черепичное сырье, карбонатные породы, торф), применение удобрений в сельском хозяйстве [2].

Исследуемая территория находится в южной приосевой части Московского артезианского бассейна, основные водоносные породы которого – каменноугольные и девонские трещиноватые известняки и мергели. В качестве источников питьевой и технической воды для населенных пунктов и производственных предприятий являются каменноугольные водоносные горизонты. Мезозойско-кайнозойский водоносный комплекс распространен практически на всей территории округа, за исключением района Щёлковского поднятия, где породы комплекса практически полностью размыты [2]. Разгрузка вод комплекса происходит в реки Клязьма, Любосеевка и Воря, а также в виде многочисленных родников, воды которых активно используются населением в хозяйственно-питьевых целях.



Рисунок 1. Территория исследования и местоположение родников

Опробование вод родников проводилось в сентябре 2023 года, в ходе отбора фиксировались координаты местоположения родников, измерялся расход родника, а также температура воды, рН и электропроводность (с использованием портативного анализатора BLE-C600). Для определения содержания микроэлементов порцию воды фильтровали через мембранный фильтр 0,45 мкм и консервировали азотной кислотой. Общую жесткость и содержание ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Cl}^-$  определяли методом объемного титрования [5],  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$  - методом потенциометрии,  $\text{SO}_4^{2-}$  - методом рентгенофлуоресцентного анализа [4], значение ХПК - методом фотометрии по ГОСТ 31859-2012, содержания  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  получены методом ИСП-МС с использованием оборудования для высокочувствительного элементного анализа состава природных объектов SUPEC 7000, Focused Photonics Inc (приобретен по Программе развития МГУ).

Полученные значения основных санитарно-химических показателей и результаты определения макросостава вод родников приведены в таблице 1. Изученные воды пресные, слабоминерализованные ( $M=0,1-0,7$  г/л), значения рН варьируют от 5,2 до 7,0. По величине жесткости воды большинства родников очень мягкие и мягкие ( $<1,5$  до 4,0 мг-экв/л), в родниках 2, 3 и 4 – воды средней жесткости (5,9, 6,2 и 7,9 мг-экв/л соответственно). Величина ХПК в воде большинства родников меньше 12 мгО/л, в родниках 1, 2, 3, 4, 8 – 27, 40, 16, 17 и 13 мгО/л соответственно. Повышенная концентрация иона аммония определена в родниках 1, 3 и 9-1 - 3,7, 2,0 и 1,1 мг/л при среднем содержании 0,1-0,4 мг/л. Содержание нитрат-иона в воде большинства родников составляет 2-10 мг/л, родники 1,3, 4, 5 и 10 отличаются более высокими концентрациями – от 16,9 до 47,7 мг/л.

Макрокомпонентный состав вод родников Щелковского городского округа

Род-ник	pH	XПК	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Минерализация
		мгО/ л	мг/л									
<b>1</b>	<b>5,8</b>	<b>27</b>	43,9	11,7	31,8	8,8	<b>3,7</b>	61,3	35,5	85,1	<b>47,7</b>	330
<b>2</b>	6,7	<b>40</b>	91,1	16,8	50,3	4,8	0,7	189,4	136	74,8	8,9	573
<b>3</b>	6,4	<b>16</b>	101	14,4	19,8	18,9	<b>2,0</b>	160,0	48,0	117	32,0	513
<b>4</b>	7,0	<b>17</b>	123	21,2	28,3	3,9	0,4	317,0	59,8	83,3	39,0	676
<b>5</b>	<b>5,8</b>	<12	26,5	5,6	9,1	1,4	0,2	29,7	30,7	27,8	16,9	148
<b>6</b>	<b>5,2</b>	<12	11,7	2,3	2,5	0,8	0,1	14,9	23,1	10,2	4,6	70
<b>7</b>	<b>5,6</b>	<12	28,9	6,3	11,1	1,3	0,2	83,3	21,8	30,2	7,3	190
<b>8</b>	6,2	13	47,9	9,9	8,1	3,3	0,4	140	32,3	23,5	10,5	276
<b>9_1</b>	<b>5,5</b>	<12	14,2	3,4	6,5	4,2	0,4	22,6	34,9	16,2	10,4	113
<b>9_2</b>	<b>5,7</b>	<12	14,8	6,0	9,8	11,0	1,1	48,8	16,0	25,0	8,6	141
<b>9_3</b>	6,1	<12	16,9	4,2	7,0	5,5	0,5	42,2	13,3	23,2	9,3	122
<b>10</b>	6,4	<12	18,3	4,4	4,3	4,7	0,3	42,2	23,4	20,7	19,3	138
<b>ПДК*</b>	6,0-9,0	15	-	50	200	-	1,5	-	500	350	45	1500

\*СанПиН 1.2.3684-21, жирным шрифтом выделены значения, не соответствующие нормативному диапазону (pH) или превышающие ПДК

Для визуализации данные по макросоставу вод представлены в виде диаграмм Стиффа, которые в сочетании с величинами pH, минерализации и ХПК, нанесены на схему опробования (рис. 2). По содержанию основных ионов можно выделить несколько групп родников. Наиболее распространенными являются воды с хлоридно-гидрокарбонатным составом анионов, в составе катионов преобладает кальций при значимом содержании ионов магния и натрия (родники 3, 4, 7, 9-2, 9-3, 10). Воды родников 5, 6 и 9-1 отличаются хлоридно-сульфатным, кальциевым составом. В родниках 1 и 2 воды хлоридные и хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные, натриево-кальциевые. Родник 8 характеризуется гидрокарбонатным кальциевым составом воды.

Полученные данные о макросоставе родниковых вод были сопоставлены с известным [3,6] составом вод водоносных горизонтов территории. Предположительно, воды родников относятся к: а) верхне-среднечетвертичному аллювиально-флювиогляциальному водоносному горизонту (al,fglQ<sub>II-III</sub>) – родники 1, 2; б) валдайско-московскому аллювиально-флювиогляциальный водоносному горизонту (fglQ<sub>II-III+V</sub>)/ подземным водам спорадического распространения в морене московского оледенения и в покровных отложениях (glQ<sub>III+IV</sub>+prQ<sub>III</sub>) – родники 3, 4, 5, 6, 7 9, 10; в) водоносный волжско-альбский комплекс (J<sub>3V</sub>-K<sub>1al</sub>)/неоком-аптский водоносный горизонт (K<sub>1nc-a</sub>) – родник 8.

### Выводы

Питание родников Щелковского городского округа происходит преимущественно за счет вод, локализованных в поверхностной толще рыхлых отложений (Q<sub>I-IV</sub>), подверженных существенной техногенной нагрузке, о чем свидетельствует значимая роль хлорид- и сульфат ионов в составе воды. Результаты анализа химического состава родниковых вод показали, что величина большинства санитарно-химических показателей вод (минерализация, pH, общая

жесткость, хлориды, сульфаты, магний, натрий) ниже их ПДК в водах хозяйственно-питьевого назначения. Превышение ПДК наблюдается по таким показателям как значения ХПК (родники 1, 2, 3, 4), содержаниям нитрат-иона (родник 1) и ионов аммония (родники 1 и 3).

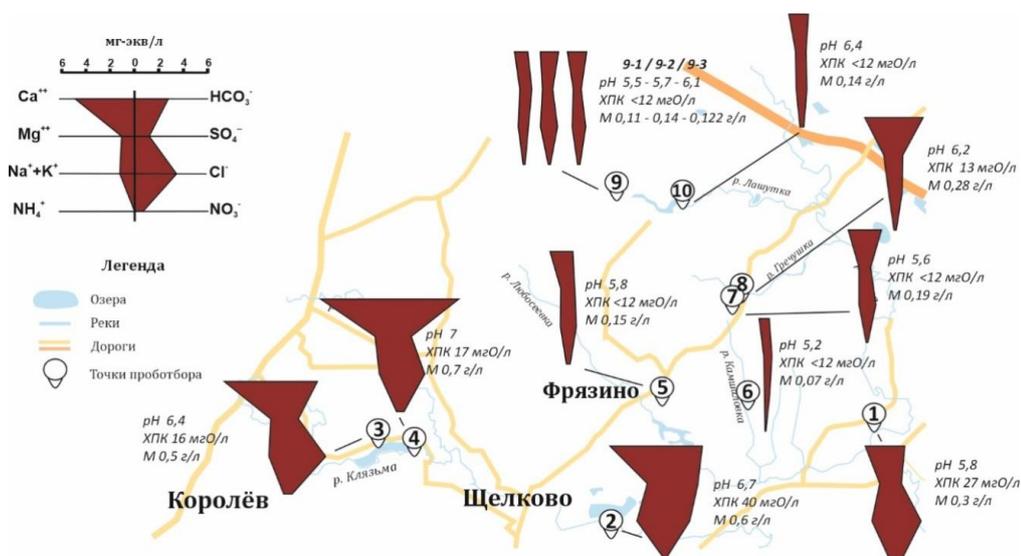


Рисунок 2. Макрокомпонентный состав вод родников. Содержания ионов для построения диаграмм Стиффа выражены в мг-экв/л, все диаграммы построены по единой шкале, указанной на образце в верхней правой части рисунка

### Библиография

1. Вагнер Б. Б. Манучарянц Б. О. Геология, рельеф и полезные ископаемые Московского региона. Учебное пособие по курсу «География и экология Московского региона». — М.: МГПУ, 2003. — 92 с.
2. Генеральный план городского округа Щёлково московской области. Том 2. Охрана окружающей среды. <https://shhyolkovo.ru/normativnye-dokumenty/arkhitektura-i-gradostroitelstvo/utverzhdennyu-generalnyu-plan-gorodskogo-okruga-shchyelkovo> Дата доступа: 15.03.2024
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2022 год. Выпуск 28. [https://geomonitoring.ru/inform\\_product\\_ib.html](https://geomonitoring.ru/inform_product_ib.html) Дата доступа: 15.03.2024
4. Лубкова Т.Н., Липатникова О.А., Филатова О.Р., Балыкова И.В. Рентгенофлуоресцентный анализ сульфат-иона в водных растворах по методу высушенной капли с использованием портативного спектрометра // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. № 2. 2022 г.
5. Методы анализа природных вод. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Изд. 3-е, переработ. и доп. М., изд-во Недра, 1970, 488 стр.
6. Объяснительная записка. Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1:200000. Серия Московская. Лист N-37-III. Москва. ВСЕГЕИ. 1975. 154 с.

*Неопределённости в подходах к инвентаризации объектов накопленного вреда  
окружающей среде*

*Лозовая А.С. (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
s200185@stud.spmi.ru),*

*Данилов А.С.\* (Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Danilov\_AS@pers.spmi.ru)*

**Аннотация**

За время существования Государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде количество объектов накопленного экологического ущерба в нем только растет. Как показало исследование, система категорирования этих объектов и выделения приоритетности по ликвидации накопленного экологического ущерба в настоящее время не являются исчерпывающими. В данной работе приводится модифицированная классификация объектов НЭУ на основе существующей методики, которая состоит из пяти критериев. Для каждого критерия разработана система начисления баллов, по сумме которых определяется ранг объекта накопленного вреда, т.е. его приоритетность в ликвидации накопленного ущерба. Исследование не затронуло методы рекультивации объектов накопленного экологического ущерба для 1-го, 2-го и 3-го рангов и сложность их устранения с географической точки зрения.

**Ключевые слова**

Накопленный экологический ущерб, накопленный вред окружающей среде, Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде, ликвидация накопленного вреда, категорирование.

**Теория**

Принятые в 2015 году Цели устойчивого развития определили одной из основных экологических повесток современности восстановление нарушенных наземных экосистем. [3]. Актуальной в этом вопросе является проблема ликвидации накопленного экологического ущерба, поскольку нарушенных или загрязненных земель такими объектами составляет более 370 тыс. га.

Для систематики объектов накопленного вреда окружающей среде Постановлением Правительства РФ от 13 апреля 2017 г. N 445 был создан государственный реестр таких объектов. Однако, как показывает практика, количество объектов накопленного экологического вреда с публикацией актуального реестра только растет. Целью данной работы является разработка усовершенствованной классификации объектов накопленного вреда окружающей среде.

Объекты НЭУ на территории РФ распределены не равномерно (рис. 1): они отсутствуют в республиках Адыгея, Алтай, Коми, ДНР, ЛНР, Магаданской, Орловской, Сахалинской и Запорожской областях, г. Москве и Еврейской Автономной области, а «лидерами» по количеству таких объектов являются Пермский край (28), Московская область (40), Чеченская республика (45), Забайкальский край (66), Иркутская область (80). При этом в 36 регионах РФ количество объектов НЭУ составляет от 1 до 5, в 25 субъектах – от 6 до 10 и в 11 – от 11 до 20.



Рисунок 1. Карта-схема распределения объектов НЭУ по субъектам РФ (составлено автором)

Материалом для исследования послужили ГРОНВОС за период сентябрь 2022-октябрь 2023 и Методические рекомендации по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба.

Первым критерием оценки будет являться приоритетность ликвидации накопленного ущерба, в зависимости от отрасли хозяйства и промышленности (табл. 1).

Таблица 1  
Распределение объектов НЭУ по отраслям хозяйства и промышленности (составлено автором)

Название отрасли	Количество объектов НЭУ	Площадь территории/акватории, га/м <sup>2</sup>	Результат оценки/балл*
Водное хозяйство	14	247266,2	1
Добывающая промышленность:	37	168479,5	5
добыча угля	19	167307,5	
добыча флюорита	1	396	
добыча меди	2	216,4	
добыча золота	3	205,7	
добыча олова	1	85,5	
добыча вольфрамо-молибденовых руд	3	76,6	
добыча полиметаллических руд	1	55,3	
добыча железных руд	1	50,1	
добыча свинцово-цинковых руд	4	37,5	
добыча ртутных руд	1	25	
добыча кобальта	1	22	
добыча песка	1	1,8	
Нефтяная и газовая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая промышленность	48	24144,9	5

Жилищно-коммунальное хозяйство:	550	7444,1	
полигоны ТКО	544	6944,3	5
очистные сооружения	6	499,8	1
Химическая промышленность	23	2136,4	5
Лесная и деревообрабатывающая промышленность	12	662,1	1
Агропромышленный комплекс	4	32,1	5
Военно-промышленный комплекс, включая космос, ядерное и химическое оружие	1	21,2	5
Другие загрязненные земельные участки	10	91,1	1

Отметим тот факт, что большинство объектов накопленного вреда относятся к жилищно-коммунальному хозяйству (550 объектов НЭУ), к ним относятся не только санкционированные и несанкционированные полигоны ТКО, но и земли, нарушенные и (или) загрязненные при размещении очистных сооружений коммунальных служб, однако площадь поврежденных территорий уступает нефтегазовой и добывающей промышленностям, не смотря на то, что количество объектов НЭУ в этих отраслях на порядок ниже. Так, площадь поврежденных территорий от объектов ЖКХ составляет 7444,1 га, а от добывающей промышленности – 168479,5 га несмотря на то, что количество объектов НЭУ в данном разделе 37.

Немаловажным критерием для оценки негативного воздействия объекта НЭУ является площадь нарушенных и (или) загрязненных земель, ведь чем больше площадь загрязненных участков, тем сложнее с инженерной и экономической точки зрения данный объект ликвидировать или рекультивировать (табл. 2) [2, 4]. Например, для ликвидации НЭУ на территории природного заповедника «Ненецкий» (Ненецкий автономный округ), площадью 83,57 га выделено 145,2 млн федерального бюджета, а на ликвидацию НЭУ на территории отработанных иловых карт, расположенных в г. Владимире, площадью 10 га – 7,6 млн федерального бюджета и 2,5 млн регионального [1].

Таблица 2

Распределение объектов НЭУ по площади нарушенных и (или) загрязненных земель (за искл. акваторий)

Площадь территории, га	Количество объектов НЭУ	Результат оценки/балл
< 1	82	1
1-10	395	2
10-100	191	3
10-1000	14	4
> 1000	3	5

Очевидной закономерностью является то, что чем больше людей проживает на нарушенной и (или) загрязненной территории, тем больше человек подвергаются негативному воздействию. Так, на территориях, подверженных негативному воздействию ОНВОС, уровни индикаторной патологии (болезни эндокринной системы, крови, нервной системы, кожи и подкожной клетчатки и т.д.) у детей в 2-2,4 раза, у взрослого населения на 40-78 % выше, чем в населенных пунктах с менее загрязненной окружающей средой. В таблице 3 приведено распределение объектов НЭУ по количеству населения, проживающего в зоне негативного воздействия.

Таблица 3

Распределение объектов НЭУ по количеству населения, проживающего в зоне негативного воздействия

Количество населения, чел	Количество объектов НЭУ	Результат оценки/балл
0-10	211	1
10-100	215	2
100-1000	99	3
1000-10000	15	4
>10000	2	5

Зачастую показатели площади и населения не всегда являются достоверными критериями оценки негативного воздействия, так, например, объект накопленного экологического ущерба может охватывать площадь более 1000 га, но на его территории будут проживать до 10 человек, поэтому одним из самых показательных критериев будет являться плотность населения (табл. 4) по площади, нарушенной и (или) загрязненной объектом НЭУ, ведь как уточнялось выше, чем больше людей проживает на нарушенной и (или) загрязненной территории, тем больше человек подвергаются негативному воздействию.

Таблица 4

Распределение объектов НЭУ по плотности населения

Плотность населения, чел/км <sup>2</sup>	Количество объектов НЭУ	Результат оценки/балл
0-100	165	1
100-1000	253	2
1000-10000	104	3
10000-100000	17	4
>100000	3	5

ГРОНВОС был создан в 2017, и в настоящее время в нем до сих пор находятся объекты, внесенные в него с того времени. Справедливо предполагать, что чем дольше объект накопленного вреда остается неликвидированным или нерекультивированным, тем большее негативное воздействие он оказывает. В таблице 5 приведена классификация объектов НЭУ по времени нахождения в реестре.

Таблица 5

Классификация объектов НЭУ по времени нахождения в ГРОНВОС

Год включения объекта в ГРОНВОС	Количество объектов НЭУ	Результат оценки/балл
2017-2018	143	4
2019-2020	125	3
2021-2022	261	2
2023	170	1

Таким образом, все полученные по разным критериям баллы необходимо суммировать для определения приоритетности в ликвидации накопленного вреда (табл. 6).

Ранжирование объектов НЭУ по результатам классификации ОНВОС

<b>Ранг</b>	<b>Баллы</b>
Объекты НЭУ 1-го ранга – объекты, требующие, в первую очередь, подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ для ликвидации накопленного экологического ущерба	16 и более
Объекты НЭУ 2-го ранга – во вторую очередь	10-15
Объекты НЭУ 3-го ранга – в третью очередь	до 9

### **Выводы**

Приведенная модифицированная классификация с разработанной системой баллов для определения приоритетности в ликвидации накопленного экологического вреда позволяет закрыть «пробелы» существующей системы и позволяет выделять в явном виде те объекты, которые требуют подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ для ликвидации накопленного экологического ущерба в первую очередь.

Ограничением исследования явилось изучение методов ликвидации НЭУ для Объектов 1-го, 2-го и 3-го рангов. В первом приближении можно установить, что для Объектов 1 ранга требуется полная ликвидация накопленного ущерба с переработкой отходов, для 2-го – рекультивация ОНВОС, 3-го – консервация. Однако, эта тема требует детальной проработки не только с технологической стороны вопроса, но и экономической, ведь комплекс мероприятий восстановлению окружающей среды нуждается в значительном финансировании, что в свою очередь требует поиск экономических инструментов и стимулов для реализации проектов ликвидации НЭУ.

Также исследование не охватило в полной мере расположение объектов НЭУ на территории РФ и сложность их ликвидации с географической точки зрения, поэтому темой дальнейших исследований может стать разработка системы мониторинга за ОНВОС.

### **Библиография**

1. Гегут И.Б. Диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук на тему «Экономические механизмы управления ликвидацией накопленного экологического ущерба», М. – 2016, 348 с.;
2. Пашкевич М.А., Алексеенко А.В., Нуреев Р.Р. Формирование экологического ущерба при складировании сульфидсодержащих отходов обогащения полезных ископаемых // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С. 155-157. DOI: 10.31897/PMI.2023.32
3. Пашкевич М.А., Данилов А.С. Экологическая безопасность и устойчивое развитие // Записки Горного института. 2023. Т. 260. С.153-154
4. Пашкевич Н.В., Пашкевич М.А., Петрова Т.А. Эколого-экономическая оценка негативного воздействия отходов горно-металлургического производства на атмосферный воздух и земли // Записки Горного института. 2004. Т. 158. С. 69-71.

***Влияние техногенных факторов на стабильности и  
сорбционные свойства природных сорбентов***

***Журавлев А.А.\* (МГРИ, anton.zhuravlev.0202@mai.tu),***

***Ефимов Е.Д. (МГРИ, chemtastrophy@gmail.com),***

***Белюсов П.Е. (ИГЕМ РАН, pitbl@mail.ru)***

**Аннотация**

Данная работа посвящена изучению влияния техногенных факторов на стабильность и сорбционные свойства природных сорбентов. В ходе исследования были проанализированы изменения в структуре и свойствах глауконита и вермикулита под воздействием модельных растворов. Результаты исследования показали, что техногенные воздействия могут повлиять на эффективность сорбционных свойств природных материалов, что имеет важное значение для оценки экологической устойчивости и возможности использования природных сорбентов в различных областях, включая очистку воды и почвы от загрязнителей.

**Ключевые слова**

Природные сорбенты, глауконит, цеолит, вермикулит, модификация, структура.

**Источники финансирования**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект №22-77-10050.

**Теория**

Изучение природных сорбентов и их стабильности является актуальной темой, поскольку они обладают способностью эффективно удалять загрязнители из окружающей среды, такие как органические поллютанты, нефтепродукты, тяжелые металлы, радионуклиды и другие вредные вещества. Изучение стабильности природных сорбентов важно для понимания их устойчивости к различным условиям, таким как изменения температуры, рН и содержание влаги. Это позволяет определить оптимальные условия для использования сорбентов и предотвращает потенциальные негативные последствия их применения.

К природным сорбентам относятся породы и минералы, образующиеся в естественной геологической среде, структурные особенности которых придают им повышенные сорбционные свойства. К данной группе относятся как минеральные, так и органические породы. Для минеральных сорбентов характерно наличие дефектов структуры, либо активно развитая пористость. В основном они представлены глинистыми минералами (сметт, иллит, глауконит, вермикулит и т.п.) и цеолитами (клиноптиллолит, морденит, шабазит и т.п.).

Глауконит и вермикулит относятся к слоистым филосиликатам из группы слюд. За счет наличия повышенного заряда в структуре, у данных минералов отсутствует способность к набуханию, но сохраняет сорбционная активность. [1].

Цеолиты, также известные как молекулярные сита за свою специфическую структуру и свойства, представляют собой гидратированные каркасные алюмосиликаты с внутрикристаллическими каналами и полостями. Для цеолитов характерна высокая сорбционная активность по отношению к металлам и газам [4].

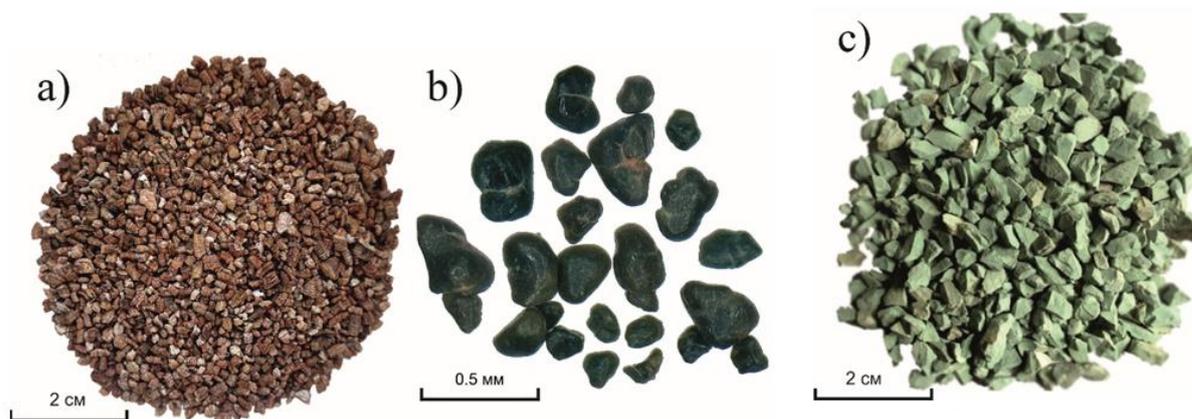


Рисунок 1. Природные сорбенты: а) Вермикулит, б) Глауконит, в) Цеолит [3]

Поскольку в процессе эксплуатации природных сорбентов в качестве компонентов инженерных барьеров или сменных фильтров они могут подвергаться воздействию в результате контакта с загрязненными водами щелочного или кислого состава, была подготовлена серия годовых экспериментов по изучению воздействию агрессивных факторов (температура, разные рН) на структуру и свойства глауконита и вермикулита. Для усиления воздействия эксперименты проводятся в соотношении тв:ж - 1:6 при температуре 90 градусов. Длительность экспериментов составит от 1 до 12 месяцев. Были выбраны следующие модельные растворы, имитирующие состав вод реальных объектов:

1) В качестве модельного раствора были выбраны условия наиболее близкие к составу вод в пластах-коллекторах при захоронении кислых жидких радиоактивных отходов на АО «СХК», рН=2-3.

2) Состав модельного раствора подобран как наиболее близкий к отходам Ангарского электролизного химического комбината, рН=9-10.

В результате были проанализированы образцы сорбентов, находящиеся под воздействием модельных вод в течении 12 месяцев. Стоит заметить, что природные сорбенты стремятся нейтрализовать рН агрессивной среды до нейтральных значений, о чем свидетельствуют периодические замеры рН каждого эксперимента. В связи с чем растворы обновляли каждые несколько месяцев.

По результатам 12-ти месячного эксперимента можно сделать заключение, что структура минералов сохранилась, состав породообразующих элементов, а также удельная поверхность и пористость изменились не значительно. Основные изменения наблюдаются у образца вермикулита. Исходный образец данного минерала, изначально обладал сильной степенью смешанослойности по типу иллит-сметит-вермикулит, что само по себе является признаком пониженной стабильности к агрессивным факторам. В результате годовых экспериментов в кислой и щелочной среде степень смешанослойности усилилась (рис. 2).

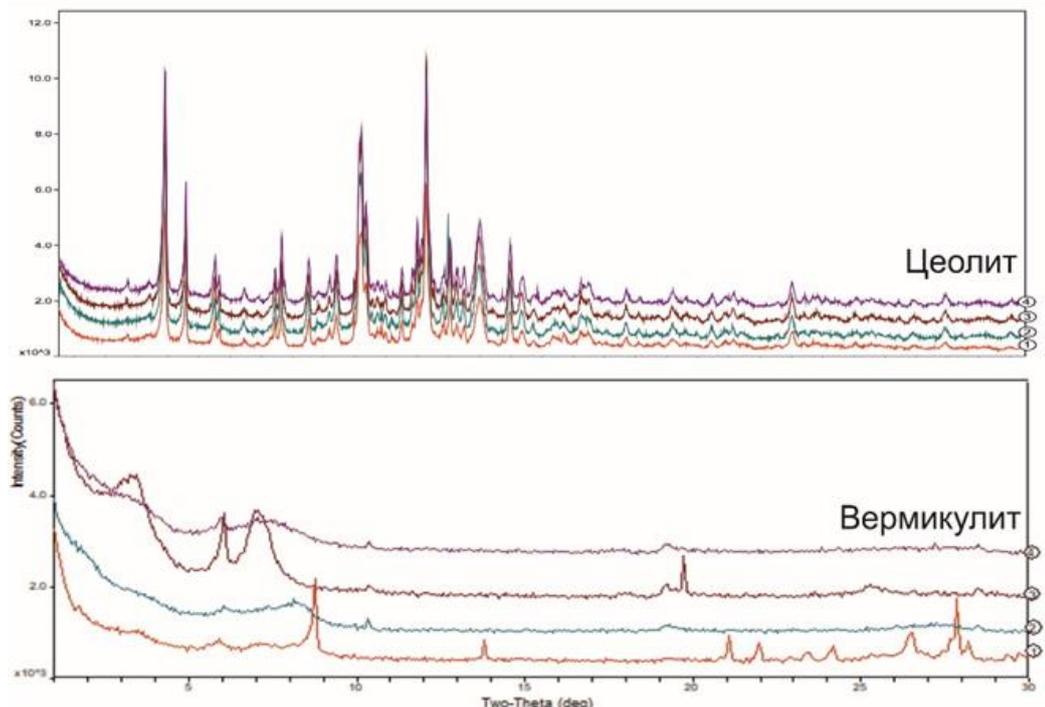


Рисунок 2. Рентгеновские дифракционные картины образцов природных сорбентов после проведения годовых экспериментов по воздействию агрессивных факторов: 1 – исходный; 2 - рН 2; 3 – рН 7; 4 – рН 10

Проведенные сорбционные эксперименты по отношению к катиону свинца показали, что природные сорбенты не только не снизили, но и улучшили свою активность (рис. 3). Сорбционная активность цеолита после 12 месяцев нахождения в агрессивной среде модельных растворов увеличилась на 22 % в кислой среде и на 36 % в щелочной среде. Сорбционная активность вермикулита, за тот же период нахождения в агрессивной среде модельных растворов, увеличилась на 31 % в кислой среде и на 25% в щелочной среде.

Помимо годовых экспериментов был проведен эксперимент по агрессивному воздействию на структуру глауконита в концентрированно растворе гидроксида калия (0,7 м/литр раствор КОН, 24 часа при комнатной температуре).

Полученные результаты воздействия щелочной среды можно объяснить тем, что при обработке глауконитаи цеолита раствором гидроксидом калия происходит адсорбции ОН-комплексов алюмосиликатным каркасом, в результате чего увеличивается количество обменных центров на поверхности минерала, что в свою очередь приводит к возрастанию сорбционной емкости [2].

Кислотная обработка, по-видимому, приводит к протонированию межслоя глауконита и каналов цеолита и появлению большего количества дефектов на поверхностях сорбентов, что в свою очередь улучшает сорбцию.

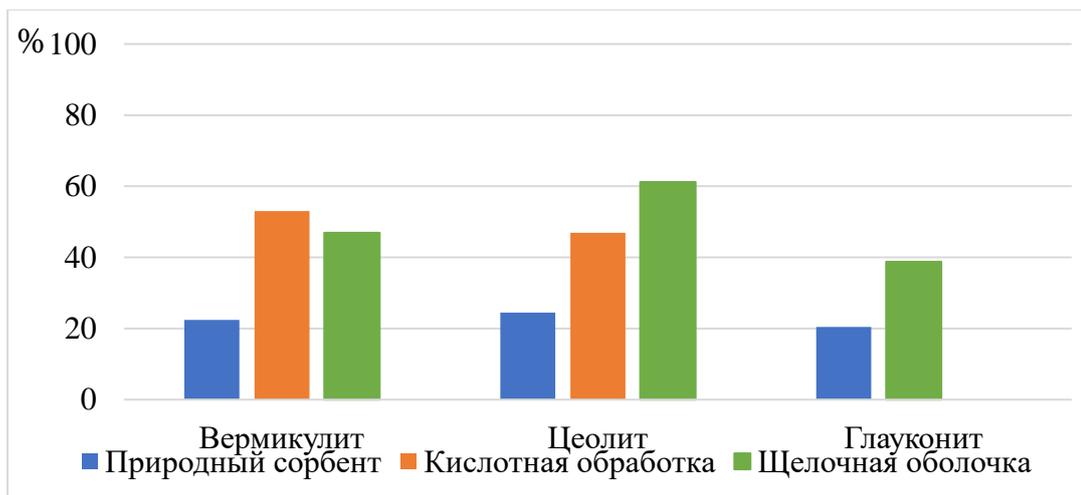


Рисунок 3. Результаты экспериментов по сорбции свинца на природных сорбентах

### Выводы

Проведенные эксперименты по воздействию модельных вод щелочных и кислотных растворов различных промышленных предприятий на структуру и свойства природных сорбентов показали, что цеолиты довольно устойчивы к агрессивным факторам, тогда как у вермикулита увеличилась степень смешанослойности по типу иллит-сметтит-вермикулит, однако разрушения кристаллической решетки не произошло. Сорбционные свойства как цеолита, так и вермикулита улучшились. Суточные эксперименты по обработке глауконита концентрированным раствором щелочи также улучшили его сорбционные свойства.

Полученные результаты свидетельствуют о стабильности природных сорбентов по отношению к химически агрессивным растворам различного состава и возможности их применения в качестве дешевых и эффективных материалов для очистки загрязненных вод.

### Библиография

1. Дриц В.А., Кроссовская А.Г. (1990). Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 176 с.
2. Ким К.Б., Нифталиев С.И., Игумнов М.С., Белоусов П.Е.. Влияние щелочной обработки на сорбционные свойства глауконита. Материалы VI Российского Совещание по Глинам и Глинистым Минералам – Глины-2023. Санкт-Петербург, 2023, стр. 100-101.
3. Belousov P., Rummyantseva A., Kim K., Pokidko B., Milyutin V., Izosimova Y., Tyurina E. The use of natural filtration sorbents to solve the safety problems of industrial pollution facilities. Reliability: Theory & Applications. 2023. Iss. 5 (75). V. 18.
4. Taylor, P.; Mimura, H.; Kanno, T. (1985). Distribution and Fixation of Cesium and Strontium in Zeolite A and Chabazite. J. Nucl. Sci. Technol., 22, 284–291.

*Экологический кризис в городе Карабаш  
Калмыков М.А.\* (МГРИ, [kalmykov-2004@list.ru](mailto:kalmykov-2004@list.ru)),  
Федотова В.П. (МГРИ, [fedotovavp@mgri.ru](mailto:fedotovavp@mgri.ru))*

**Аннотация**

Эта статья посвящена современным экологическим проблемам города Карабаш в Челябинской области.

В Челябинской области вопрос экологической безопасности набирает большую актуальность. В городской черте Челябинска работают крупнейшие предприятия, они выбрасывают большое количество вредных веществ в атмосферу. Страдает всё — качество еды, воды и воздуха, которые отравляются выбросами вредных веществ. Состояние здоровья горожан тоже зависит от окружающей среды, подвергшейся опасными выбросами. Все эти факторы влияют на качество жизни населения, поэтому экологическая проблема должна выходить на передний план [1]. В настоящее время все еще актуальна проблема загрязнения и в городе Карабаш, речь о котором пойдет в данной статье. Нельзя не отметить, что за последнее время в городе произошли некоторые изменения, которые положительным образом влияют на состояние окружающей среды. Но тем не менее, ситуация остается критической и требует решительных действий и комплексного подхода.

Основным источником загрязняющих веществ в городе является местное медеплавильное предприятие «Карабашмедь». В статье будут рассмотрены современные тенденции и прошедшие в городе, в особенности на предприятии «Карабашмедь», изменения в подходах сохранения экологического благополучия территории. Так же будут рассмотрены актуальные экологические проблемы региона, которые в силу своего характера потребуют длительного времени на их решение.

**Ключевые слова**

Карабаш, экология, экологическая безопасность, загрязнения, Карабашмедь.

**Теория**

Когда-то воды рек и озер Челябинской области были кристально чистыми, растительность – многочисленна, а люди жили в гармонии с природой. В конце XVII века в эти края прибыла экспедиция, но ничего полезного не обнаружила. Через 70 лет состоялась повторная экспедиция, в которую вошли талантливые геологи. Им удалось найти здесь железную руду, что стало отправной точкой промышленного развития края. Сперва построили единственный завод в Златоусте, а уже к концу XVIII века заводов было около тридцати. Особенно масштабное развитие промышленность Челябинской области получила в эпоху первых пятилеток. Сейчас в черной металлургии России этому краю нет равных. Совместно с цветной металлургией область производит 50 % продукции, вырабатываемой в стране. Самые промышленные города области – это Магнитогорск, Челябинск, Златоуст, Карабаш, Миасс, Троицк, Усть-Катав, Копейск [6].

Крайне сложная экологическая ситуация в окрестностях г. Карабаш в настоящее время является результатом более чем столетней истории деятельности запущенного в 1910 г. медеплавильного завода, ставшего градообразующим предприятием города [3].

В результате многолетней деятельности этого завода из-за грубых нарушений принципов рационального землепользования и отсутствия очистных сооружений в городе сложилась крайне неблагоприятная экологическая обстановка, влияющая и на городскую застройку, ориентированную на медеплавильный завод. Почвы, атмосферный воздух и водоёмы были загрязнены вредными веществами, а также образовались свалки отходов меди и бытовых отходов. Из-за неблагоприятной экологической обстановки в Карабаше старое металлургическое производство было остановлено в 1989 году. В 1998 году на производственных мощностях

медеплавильного комбината открылось новое предприятие – ЗАО «Карабашмедь» – одно из ведущих предприятий по производству черновой меди на Урале [2].

Введение новых технологий после восстановления завода позволило нарастить объёмы производства без увеличения количества выбросов, но основная масса бытовых и промышленных отходов до сих пор не подверглась какой-либо переработке и вторичному использованию. Отходы размещаются на полигонах хранения, свалках и территориях промышленных предприятий, их скопление усугубляет экологическую ситуацию в городе каждый год. Создаётся опасность для здоровья населения и работников предприятий, безвозвратно теряются потенциальные вторичные ресурсы [2].

За последнее время в городе Карабаш, в Челябинской области, была проведена колоссальная работа по устранению экологических бедствий, вызванных работой промышленных предприятий, в том числе и предприятия ЗАО «Карабашмедь». Однако на сегодняшний день этого недостаточно.

До середины XX века отходы ЗАО «Карабашмедь» сбрасывались непосредственно в реку Сак-Элга (левый приток реки Миасс, бассейн р. Тобол), а сульфидносиликатные отходы процесса обогащения медноколчеданных руд – хвосты – складировались в отвалы. В результате выбросов в атмосферу ядовитого сернистого ангидрида территория вокруг комбината была лишена растительности. Приказом Минприроды от 25 июня 1996 года № 299 город Карабаш и прилегающие территории были охарактеризованы как зона экологического бедствия [3]. На сегодняшний день по данным Росприроднадзора, в следствии внеплановой проверки были установлены превышения нормативов предельно допустимых выбросов в атмосферу, например таких как мышьяк и диоксид серы.



Рисунок 1. Река Сак-Элга, красный цвет которой обусловлен содержанием в ней огромного количества тяжелых металлов

При изучении «хвостов» в пойме реки Сак-Элга было установлено наличие в них подвижных и валовых форм тяжелых металлов [4].

Результаты химических проб в хвостохранилище показывают, что валовое содержание тяжелых металлов, таких, как цинк, свинец, никель и медь, превышают ПДК в несколько раз.

Содержание сульфатов в хвостохранилище является очень высоким, водородный показатель pH находится в пределах от 1,5 до 2,7 [4].

В итоге это привело к серьезному загрязнению и окислению водоема, откуда вода попадала в Аргазинское водохранилище, которое в свою очередь служит питьевым водохранилищем для Челябинска и ряда других городов в области. Кроме того, в тканях рыб (плотва, окунь, гибрид Рипус × Сиг) АВ, находящегося в зоне влияния КМПК (ЗАО «Карабашмедь») обнаружены повышенные уровни содержания Fe и Zn [5].

Как отметила профессор горного университета – Гуман Ольга Михайловна, которая неоднократно уже высказывалась по вопросам загрязнения Сак-Элга, восстановление как реки, так и водохранилища - процесс очень продолжительный, так как река окислялась на протяжении почти полувека.

В результате исследований Карабаша было установлено, что наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на отходы меди, цинка, свинца, золота, серебра и мышьяка. Кроме перечисленных, были обнаружены токсичные элементы с концентрацией, превышающей допустимую норму в десятки и сотни раз. Это никель, хром, кадмий, барий и другие. Именно этими выбросами сформированы в почвах те многочисленные и интенсивные аномалии токсичных металлов, которые зафиксированы на территории города Челябинским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Одним из важнейших методов решения проблемы экологической безопасности в Карабаше авторы статьи «Территории зон экологического бедствия: восстановление или консервация?» Л.Н. Першинова и Е.А. Воробьева видят не только рекультивацию, но и консервацию нарушенных земель и территорий города [2].

### **Выводы**

На протяжении многих лет на территории города и его окрестностей проводятся научные исследования, предпринимаются меры по исправлению сложившейся ситуации. Разрабатываются проекты и планы по ликвидации техногенного загрязнения и восстановлению экологического равновесия. Министерство экологии Челябинской области систематически пытается наладить экологическое состояние.

Как видим, экологическая работа в области ведется, но ситуация пока остается печальной. Тем не менее уровень загрязнения р. СакЭлга остаётся высоким и без специальных и активных мероприятий маловероятно, что он изменится в следующие 1-2 десятилетия. Надеемся, что в ближайшее время получится довести до практической реализации какой-либо из имеющихся или разрабатываемых в настоящее время проектов реабилитации территории окрестностей г. Карабаш [3].

### **Благодарности**

Выражаю благодарность кафедре техносферной безопасности МГРИ за проявленную помощь в поиске статей. Сбора, проверки и компиляции информации для написания данной работы.

### **Библиография**

1. Бурантаева, А. А. Экологическая обстановка Челябинской области / А. А. Бурантаева, В. О. Фатеева, Л. Н. Лубожева // Научное пространство современной молодежи: приоритетные задачи и инновационные решения : Сборник статей участников III Всероссийской молодежной научно-практической конференции VI Уральского вернисажа науки и бизнеса, Международного научного культурно-образовательного форума, Челябинск, 07–08 апреля 2022 года / Под общей редакцией Е.П. Велихова, отв. за выпуск О.А. Хэгай. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2022. – С. 21-23. – EDN JCCLWZ.

2. Надымов, И. И. Анализ возможных способов рекультивации нарушенных территорий и экологически безопасного использования земельных ресурсов с точки зрения градостроительства и градостроительной реконструкции (на примере города Карабаш Челябинской области Российской федерации) / И. И. Надымов // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 3-7. – С. 1015-1022. – EDN XNOHLN.

3. Нохрин, Д. Ю. Химический состав и качество воды реки Сак-Элга (Челябинская область) в 2016 г / Д. Ю. Нохрин, Н. А. Давыдова // Экология, природопользование и ресурсы Урала. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 14-20. – EDN LQOWQT.

4. Ульрих, Д. В. Современное состояние хвостохранилища в г. Карабаш и его влияние на техногенез прилегающей территории / Д. В. Ульрих, С. С. Тимофеева // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19, № 1. – С. 56-59. – EDN TFEQCD.

5. Давыдова, Н. А. Влияние Карабашского медеплавильного комбината на содержание металлов в рыбе Аргазинского водохранилища / Н. А. Давыдова, Д. Ю. Нохрин, Ю. Г. Грибовский // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10(52). – С. 114-118. – EDN PDHKGN.

6. Акименко, О. К. Реализация государственной политики в области охраны окружающей среды в части обращения с отходами производства и потребления в Челябинской области / О. К. Акименко // Актуальные вопросы устойчивого развития России в исследованиях студентов: управленческий, правовой и социально-экономический аспекты : Материалы XVI Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В 2-х частях, Челябинск, 26–27 апреля 2018 года / Ответственный редактор С.В. Нечаева. Том Часть 1. – Челябинск: Челябинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации", 2018. – С. 8-12. – EDN YVTZMT.

*Предпосылки переработки солеотходов калийных руд  
методом кристаллизации*

*Комаров Е.И. (МГРИ, e.i.komarov@rambler.ru),  
Криночкина Ю.П. (МГРИ, krinochkinaup@mgri.ru),  
Елманова А.А.\* (МГРИ, elmanova.alya@bk.ru)*

**Аннотация**

В настоящее время при разработке калийных руд ежегодно накапливаются сотни миллионов тонн отходов производства в достаточно высоких отвалах, занимающих сотни гектар плодородных земель. Размещение солеотвалов, подверженных интенсивной эрозии и разновекторному загрязнению атмосферы, гидросферы и почв, отрицательно влияет на окружающую среду, вследствие чего важнейшей задачей является их переработка.

Поскольку в солеотходах в большей степени содержатся сильвин и галит нами в лабораторных условиях апробирована возможность отдельной кристаллизации хлорида калия и хлористого натрия, а также определены основные направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова**

Отвалы, солеотходы, переработка, сильвин, галит, кристаллизация.

**Теория**

При подземной разработке калийных руд ежегодно на дневной поверхности накапливаются сотни миллионов тонн галитовых и глинисто-шламовых отходов флотационных и галургических обогатительных фабрик. При существующих темпах производства к концу столетия для складирования отходов потребуется около двух-трех тысяч гектар сельхозугодий. Поскольку солеотходы содержат до 10% сильвина и до 85% галита на дневной поверхности формируются техногенные месторождения, которые представлены равнинными солеотвалами высотой до 100-120 м. и более (рис. 1).

Ветровая и водная эрозия солеотвалов способствует загрязнению нижних слоев атмосферы соляной пылью, засолению поверхностной и подземной гидросферы и, как следствие, создают предпосылки возникновению профессиональных заболеваний населения, угрозу источникам хозяйственно-бытового водоснабжения и урожайности сельхозкультур, даже за пределами земельного отвода рудника.

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду известно несколько способов укрытия поверхности отвалов полимерными пленками, в т.ч. с карманами для почвы с семенами растений для обеспечения удержания пленки на наклонных поверхностях отвалов и выращивания травяного покрова. Однако за период в несколько десятков лет ни на одном из рудников не реализован ни один из способов защиты пылящих поверхностей солеотвалов. Поэтому в настоящее время, кроме складирования отвалов на дневной поверхности, основным способом минимизации негативных воздействий на окружающую среду считается перемещение солеотходов в отработанные камеры подземных рудников.



Рисунок 1 - Общий вид солеотвалов - отходов производства на одном из калийных рудников

Анализ результатов гидрозакладки хвостов обогащения в отработанных камерах, расположенных между целиками, показывает, что при их осушении путем сброса рассолов через дренажные устройства в перемычках, происходит медленная кристаллизация совместно сильвина с галитом. При этом возможности управления температурой и скоростью рудничного воздуха в подземных условиях являются благоприятными факторами для обеспечения процесса кристаллизации.

В камерах с различными сроками закладки осуществлен отбор блоков такого кристаллического материала, из которых выпилены шесть кубических образцов размерами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований

№обр	Размеры, см			Разрушающая сила, кН	Предел прочности при одноосном сжатии $G_{сж}$ , МПа
	высота	длина	ширина		
1	5,24	5,08	5,25	2,94	0,881
2	5,35	5,44	5,30	4,80	1,331
3	5,15	5,11	5,01	2,94	0,918
4	5,27	5,22	5,38	3,68	1,048
5	5,11	5,22	5,41	6,13	1,736
6	5,00	5,07	5,26	3,43	1,028

Исследования по изучению прочностных характеристик образцов на одноосное сжатие проводились на гидравлическом прессе ПСУ-50 с применением динамометра образцового ДОСМ-3-1 (рис. 2) по ГОСТ 21153.2-84.

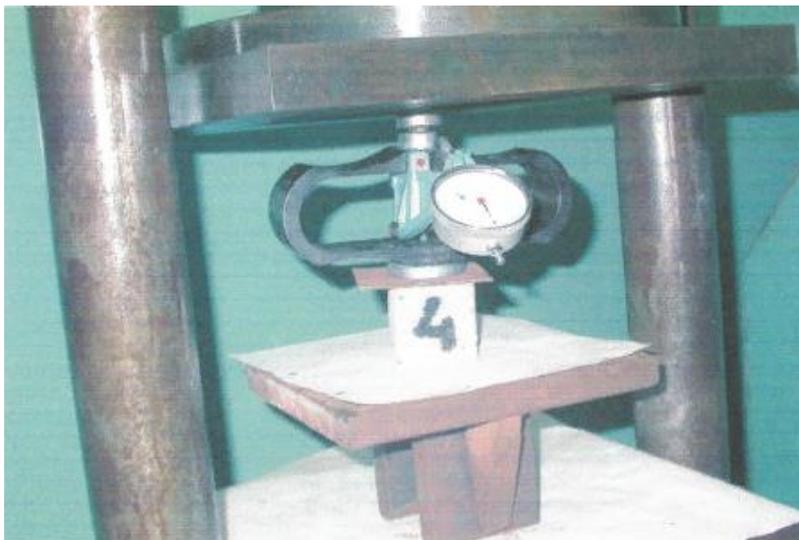


Рисунок 2 – Начальный этап испытания образцов при одноосном сжатии

Значение предела прочности при одноосном сжатии  $G_{сж}$  определяется по формуле:

$$G_{сж} = 10 K_v P / S, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P$  – разрушающая образец сила, кН;

$S$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{см}^2$ ;

$K_v = 0,8$  – безразмерный коэффициент высоты образца для данных испытаний.

Испытания показали, что при достижении предельной нагрузки образцы разрушаются, превращаясь в штыб. Кристаллы солей имеют между собой слабое сцепление, некоторые образцы в процессе подготовки разрушались. Среднеарифметическое значение предела прочности при одноосном сжатии составило 1,157 МПа. Можно предположить, что слабое сцепление между кристаллами и низкая прочность закладочных массивов объясняется совместной кристаллизацией галита и сильвина, препятствующих друг другу в росте кристаллов.

Между тем, уже разрушенные, поднятые на дневную поверхность и складированные солеотходы представляют значительный интерес для производства из галита хлористого натрия (технической и с доработкой - пищевой соли) и доизвлечения из сильвина хлоридов калия, являющихся минеральными удобрениями.

В лабораторных условиях изучались и апробировались различные методы и приемы переработки солеотходов, являющихся по сути галитовыми хвостами от основной флотации с небольшим количеством сильвина и глинистого шлама. В связи с этим на первом этапе галитовые хвосты измельчаются с выделением частиц размером менее 0,25 мм на дуговых ситах или в гидроциклонах и направляются в камеры естественной кристаллизации хлористого натрия.

На втором этапе остаточные растворы хлоридов калия в целях повышения извлечения подвергаются термообработке – нагреванию на 10-15° (до 40-45°С). При нагревании раствор становится ненасыщенным, вследствие чего оставшиеся в хвостах зерна хлорида калия растворяются, насыщая раствор. После этого производится охлаждение маточного раствора, сопровождающееся кристаллизацией хлорида калия, а остаточный раствор вместе с глинистым шламом направляется в шламонакопитель, а в дальнейшем в закладку подземных камер.

Полученные результаты переработки солеотходов калийных рудников в лабораторных условиях позволяют приступить к отработке основных параметров технологических процессов кристаллизации сначала галита, а затем сильвина (рис. 3).



(а) (б)  
Рисунок 3 - Выращенные кристаллы сильвина (а) и галита (б)

К благоприятным факторам кристаллизации галита и сильвина относятся стабильная температура воздуха, организованная вентиляция и освещенность рабочих площадей, которые можно организовать внутри складированных отвалов отходов производства.

### **Выводы**

Таким образом, установлена возможность доизвлечения хлоридов калия и различного качества хлористого натрия из отвалов отходов производства калийных рудников, что позволит постепенно их переработать и улучшить экологическую обстановку для проживающего населения.

### **Библиография**

1. Комаров Е.И., Комаров К.Е. Эколого-экономические перспективы камерной системы разработки и обогащения калийных руд // Развитие идей М.И. Агошкова в области комплексного освоения месторождений полезных ископаемых. Под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого – М., 2005. – стр. 48-49.
2. Келли, Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах, Наука, М., 1979. – 496 стр.
3. Мельников Ф.П. и др. Кристаллизация минералов// Учебное пособие, М., Химия, 1976.

*Современные экономические проблемы очистки сточных и поверхностных вод и пути их  
решения*

*Кряжова А.А.\* (МГРИ, kryazhova.anastasia@yandex.ru),  
Курбацкая М.В. (МГРИ, kv.marina@gmail.com)*

**Аннотация**

Целью данного исследования является анализ такого вопроса, как сточные воды, в Российской Федерации, и возможных способов решения возникающих в этой связи проблем экономического и экологического характера. В данной работе рассмотрены статистические данные за последние годы о количестве прогнозных ресурсов питьевых и технических вод, объёме сброса опасных загрязняющих веществ. Особое внимание уделено путям решения экологической и экономической проблемы загрязнения поверхностных и сточных вод тяжёлыми металлами.

Актуальность данного исследования состоит в рассмотрении актуальных данных касательно загрязнения необходимого для жизнедеятельности ресурса – воды и способов уменьшения его загрязнений и очистки. Проблема истощения и загрязнения природных ресурсов, и воды в особенности, отрицательного влияния этого на экономику и экологию, является одной из глобальных проблем человечества, актуальность которой продолжает расти в настоящее время, поиск методов её решения является важной задачей современности.

**Ключевые слова**

Вода, сточные воды, загрязнение, тяжёлые металлы, экономический ущерб.

**Теория**

Россия – один из лидеров по запасам воды. Прогнозные ресурсы питьевых и технических подземных вод на территории Российской Федерации по данным государственного мониторинга состояния недр (ФГБУ «Гидроспецгеология») составляют 870,3 млн м<sup>3</sup>/сут. Распределение по субъектам РФ прогнозных ресурсов питьевых и технических подземных вод весьма неравномерное, в диапазоне от 0,1 до 94,7 млн м<sup>3</sup>/сут.



Рисунок 1. Распределение прогнозных ресурсов питьевых и технических подземных вод в разрезе федеральных округов Российской Федерации на 01.01.2020. [3]

В таблице 1 приведена динамика использования воды для различных нужд, в целом в 2020-2022 году заметно его снижение. Данные в таблицах 1 и 2 приведены без учета статистической информации по ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областям (Росводоресурсы).

Таблица 1

Использование свежей воды по Российской Федерации (млрд кубических метров).

	Всего	Из них на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение	Из них на производственные нужды	На хозяйственно-питьевые нужды
2018	53,0	7,0	29,3	7,6
2019	51,9	7,5	27,4	7,4
2020	47,0	6,5	24,7	7,3
2021	48,1	6,8	24,9	7,4
2022	47,9	6,5	25,5	7,4

Таблица 2

Сброс сточных вод и основные содержащиеся в них загрязнители с 2017 по 2022 гг.

	Сульфатов млн т	Хлоридов Млн т	Нитратов тыс. т	Жиров и масел, тыс. т	Фенола, т	Свинца, т	Ртути, т	Общий объём сброса сточных вод, включая и другие категории, млрд куб м
2017	2,2	5,8	404,8	1,8	14,3	6,2	0	42,6
2018	1,7	6,3	387,9	2,0	21,2	4,2	0,01	40,1
2019	1,7	6,7	368,1	1,8	15,1	5,0	0,01	37,7
2020	1,7	6,4	366,4	1,6	17,1	5,3	0,01	34,3
2021	1,6	5,9	368,9	1,4	19,3	4,2	0,02	35,6
2022	1,6	6,2	360,5	0,4	20,0	8,6	0,01	36,2

Согласно таблице 2, основными загрязнителями сточных вод являются, сульфаты, хлориды, нитраты, жиры и масла, фенол, тяжёлые металлы, в том числе свинец и ртуть. [4]



Рисунок 2. Структура сброса сточных вод в Российской Федерации в 2019 г. в %

В наибольшей степени загрязнёнными являются участки рек на границе с Норвегией, Украиной, Казахстаном и Китаем. В 2016-2020 гг. максимальное количество соединений меди, цинка и хрома поступило на территорию Российской Федерации со стоком реки Иртыш, соединений никеля - со стоком реки Ишим. Следует отметить, что экологическая обстановка

пресноводных и морских акваторий Российской Федерации сохраняется на постоянном уровне. Тем не менее при рассмотрении показателей качества поверхностных вод в водосборах крупных рек можно заметить, что воды РФ подвержены весьма сильному антропогенному воздействию, так как в них поступают сточные воды, не подвергшиеся должной очистке. В большой степени отрицательное воздействие на водные экосистемы приходится на предприятия нефтедобывающей, целлюлознобумажной и горнодобывающей отраслей промышленности. [2]

С 2011 по 2020 год качество водоемов I категории, откуда граждане и юрлица самостоятельно берут воду для питья, полива, мытья техники и прочих хозяйственных нужд, ухудшилось. Судя по данным доклада, доля проб воды оттуда, не соответствующих гигиеническим нормам, увеличилась более чем на 8% и превысила отметку в 30%. [5]

В данной связи важно уделить особое внимание способам решения проблемы загрязнения поверхностных и сточных вод тяжелыми металлами. Так при осуществлении федеральных проектов национального проекта «Экология» предполагается снижение уровня загрязнения, сокращение вдвое выбросов загрязнителей, а также устранение наиболее опасных объектов накопленного загрязнения окружающей среды. Запланировано экологического восстановления водных объектов и создать устойчивой системы обращения с бытовыми отходами, сокращение объема отходов, направляемых на захоронение, вдвое.

Чтобы защитить и восстановить водные объекты Российской Федерации и уменьшить наносимый загрязнениями экономический и экологический ущерб, необходимо прекращение сброса неочищенных или минимально очищенных сточных вод промышленными предприятиями и введение в практику водосберегающих технологий и бессточных систем водоснабжения. Следует построить и ввести в эксплуатацию, обновить высокоэффективные очистные сооружения, начать широко использовать новые методы очистки сточных вод. Традиционно существуют механические, химические, физико-химические методы очистки сточных вод. Кроме того, разработаны современные методы очистки сточных вод, с помощью которых можно произвести выборочное извлечение и рециклинг тяжелых металлов. Например, Ю.Н. Петуховой и соавторами было предложено в качестве сорбента для очистки от ионов тяжелых металлов применение органических отходов. В качестве ещё одного способа очистки сточных вод следует отметить разработанные сотрудниками ООО «Биоэкопром» экологически безопасные биомодули на основе иммобилизованных микроорганизмов, микроводорослей и растительности, которые осуществляют самоочищение и восстановление показателей качества природных вод. И.Н. Лыковым и Р.А. Гараниным был описан способ для повышения степени очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью биомассы дрожжей. Также согласно многим исследованиям для этой цели можно эффективно использовать сульфидогенные микроорганизмы для биоремедиации сточных вод от тяжелых металлов [2].

По мнению некоторых исследователей необходимо точное разграничение методов оценки ущерба. Так загрязненный водный объект приносит экономический ущерб, его размер определяется водоохранными мероприятиями, которые нужны для минимизации возможных издержек по причине загрязнения водного объекта. Примеры таких мероприятий: очистка от опасных веществ водного, монтаж дополнительных водоочистных систем для подачи чистой воды населению. Для водоохраных мероприятий требуются денежные средства, что определяет экономический ущерб, вызванный загрязнениями. Оценка ущерба, таким образом, проводится при учете характера проводимых мероприятий. Также следует проводить стоимостную оценку воздействия загрязнений на население, полученного им ущерба здоровью. [1]

### **Выводы**

Водные ресурсы и экосистемы Российской Федерации подвержены масштабному антропогенному воздействию. Одной из главных проблем в этой связи является загрязнение водных объектов тяжёлыми металлами. Требуется осуществление мер по снижению объема загрязнений и восстановление показателей качества водных ресурсов. Помимо традиционных

методов очистки вод от тяжёлых металлов в последнее время появляются новые методы, основанные на применении различных органических веществ и микроорганизмов.

### **Библиография**

1. Иванчук А.В. Актуальные вопросы экономической оценки ущерба вследствие загрязнения водных объектов [Электронный ресурс] // Промышленность: экономика, управление, технологии. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-voprosy-ekonomicheskoy-otsenki-uscherba-vsledstvie-zagryazneniya-vodnyh-obektov?ysclid=ltsh4yg0v575968169> (Дата обращения 15.03. 2024).
2. Тихомирова В.В., Смирнова П.С. Загрязнение поверхностных и сточных вод Российской Федерации тяжелыми металлами [Электронный ресурс] // Международный научно-исследовательский журнал, №10 (124), Владимир, 2022. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-poverhnostnyh-i-stochnyh-vod-rossiyskoy-federatsii-tyazhelymi-metallami?ysclid=ltsgvvq57v211141227> (Дата обращения 15.03. 2024).
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» URL:<https://gosdoklad-ecology.ru/2017/geologicheskaya-sreda/podzemnye-vody/> (Дата обращения 15.03.2024).
4. Федеральная служба государственной статистики. Официальная статистика. Окружающая среда. Водные ресурсы. Использование свежей воды. Поступление загрязняющих веществ со сточными водами в водоёмы. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194> (Дата обращения 15.03.2024).
5. Пять тезисов доклада о воде в России. Чему верить, чему нет. URL: <https://plus-one.ru/society/2022/08/09/pyat-tezisev-doklada-o-vode-v-rossii?ysclid=loorx4zwp4604154195> (Дата обращения 15.03.2024).

*Адаптационные способности растений, грибов и лишайников к условиям интенсивного  
оксидантного стресса, вызванного засолением*

*Плотникова У.Д.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе [ulyagulya3@gmail.com](mailto:ulyagulya3@gmail.com)),*

*Голубкина Н.А. (ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»,  
[segolubkina45@gmail.com](mailto:segolubkina45@gmail.com))*

**Аннотация**

Взаимодействие растений, грибов, лишайников, почвы и грунтовых вод в условиях полупустыни и засоления почв приводит к выработке специфических стратегий адаптации организмов, включая избирательное накопление макро- и микроэлементов. На основе данных атомно-абсорбционно спектроскопии, ИСП-МС и флуорометрического анализа содержания селена проведена оценка минерального состава почвы, растений (*Artemisia lerchiana* и *Rheum tataricum*), грибов (*Calvatia candida* и *Battarrea phalloides*) и накипного лишайника (*Diploschistes ocellatus*) собранных в Богдинско-Баскунчакском заповеднике и выявлены значительные различия по уровню накопления макро- и микроэлементов. Высокое накопление природного антиоксиданта Se с биологическим коэффициентом концентрации (КБН), превышающим 1, было зарегистрировано впервые у грибов *Calvatia candida* и *Battarrea phalloides*. Впервые были выявлены повышенные уровни Cr и Sr в исследуемых объектах окружающей среды. Также установлено гипераккумулятивное Sr корневищами *Rheum tataricum* (с КБН 16,2) и накипным лишайником *D. Ocellatus* (с КБН 10,8) и высокая Cr аккумулялирующая способность данного лишайника (с КБН 7,6).

**Ключевые слова**

Заповедник, макро- и микроэлементы, почвы, растения, адаптация.

**Теория**

Адаптация растений, грибов и лишайников к стрессам окружающей среды во многом связана со специфическими особенностями накопления макро- и микроэлементов, выбором стратегии защиты от стрессовых факторов и способностью накапливать элементы, участвующие в антиоксидантной защите [3]. Исходя из вышесказанного, Богдинско-Баскунчакский заповедник предоставляет возможность оценить минеральный состав растений, лишайников, грибов, почв и грунтовых вод на полупустынной территории, расположенной на северо-востоке Прикаспийской низменности, в Астраханская области. Значительное засоление почвы, вызванное отложением соли в озере Баскунчак, повышенная инсоляция и дефицит влаги (среднегодовое количество осадков достигает 270 мм), интенсивные сезонные колебания температуры (от -40 до +40 °С) и частые ветры, вызывающие эрозию, вызывают формирование специфической адаптации живых организмов к условиям окислительного стресса. До настоящего времени большинство исследований, проведенных на территории Баскунчакского заповедника, носили преимущественно описательный характер и были посвящены оценке биоразнообразия флоры и фауны и изучению карстовых образований [1,2]. В связи с этим целью настоящего исследования было выявить особенности накопления макро- и микроэлементов между разными объектами окружающей среды - почвами, грунтовыми водами, растениями, грибами и лишайниками на этой территории. Выбор данных объектов исследования обусловлен в том числе тем, что выбранные организмы представляют собой три принципиальных группы живых существ: 1) использующие для роста и развития питательные вещества как почвы, так и аэрозолей (растения), 2) получающих питательные вещества из почвы (высшие грибы) 3) из воздуха (лишайники).

Образцы почвы, грунтовых вод, растений (*Artemisia lerchiana* и *Rheum tataricum*), грибов (*C. Candida*, *B. Phalloides*) и лишайников (*D. ocillatus*) были собраны в период с 22 по 28 мая 2021-2022 годов на территории Богдинско-Баскунчакского природного заповедника (Рисунок 1).

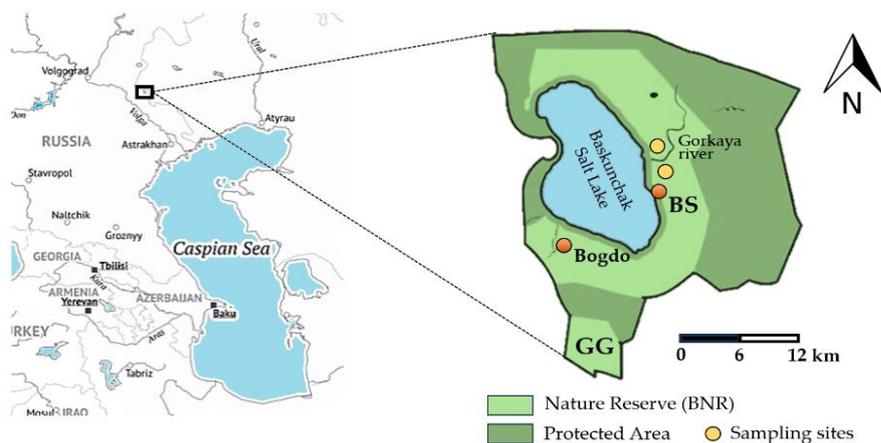


Рисунок 1. Места отбора проб на территории Богдинско-Баскунчакского заповедника. BNR: Баскунчак.Богдинско-Баскунчакский природный заповедник; GG: Территория Зеленого сада; BS: берег озера

Для оценки минерального состава образцы растительного материала высушивали при температуре 25–30°C и гомогенизировали. Содержание Cr, Sr и Se в представителях растительного мира заповедника оценивали, используя метод ИСП-МС. Содержание в почвах стронция и хрома устанавливали методом ААС. Уровень Se во всех исследуемых объектах – с помощью флуорометрического метода анализа. Статистическую обработку результатов осуществляли, используя компьютерную программу Excel.

Исследование уровней накопления тяжелых металлов объектами окружающей среды Богдинско-Баскунчакского природного заповедника (двух территорий - восточного берега озера и территории Зеленого сада) выявило значимые уровни накопления хрома и стронция. (Таблица 1.)

Таблица 1

Содержание Sr, Cr и Se в объектах окружающей среды заповедника.

Показатель	Почва, мг/кг		Грунтовые воды, мг/л		Лишайник <i>Diploschistes ocellatus</i>	Растения			Грибы	
	Восточный берег Баскунчака	Зеленый сад	Урочище Шарбулак, пещера Водяная	Колодец Зеленого сада		<i>A. lerschiana</i> (листья)	<i>R. tataricum</i> (корневища)	<i>Calvatia candida</i> *	<i>Battarrea phalloides</i> *	
Sr, мг/кг	10,6	1,1	6,78	1,99	114	48,14	172	2,79	56	
Cr, мг/кг	7,2	9,5	0,09	0,05	54,46	1,1	1,18	0,67	3,39	
Se, мкг/кг	544	500	2,0	0,08	250	135	90	590	6140	

\*Образцы собраны на территории Зеленого сада

Полученные результаты впервые показали высокие уровни Sr и Cr в почвах, грунтовых водах, лишайниках, грибах и растениях заповедника. Так, уровни этих элементов в воде «Водяной» пещеры достигали 6,78 мг/л (Sr) и 0,09 мг/л (Cr) при ПДК 7 и 0,05 соответственно, в то время как вода в колодце Зеленого сада имела уровень хрома, равный ПДК этого элемента. Среди представителей флоры заповедника максимальные уровни Sr были обнаружены в корневищах татарского ревеня. Принимая во внимание уровни Sr в почве, собранной из-под

растений, коэффициент биологического накопления Sr корневищами ревеня составляет 16. Еще одним аккумулятором Sr (с КБН 10,8) является накипной лишайник *Diploschistes ocellatus*-известный гипераккумулятор Ca [4], которому сопутствует Cr (по полученным данным, лишайник накапливает до 11,5% Ca) Сравнительно высокие уровни накопления Sr были зарегистрированы также в грибах *Battaria phalloides* и полыни Лерха, для которых коэффициент биологического накопления стронция составил соответственно 5,3 и 4,5 соответственно. Что касается Cr, то уровень накопления этого тяжелого металла возрастал в ряду: *D. ocellatus* < *B. phalloides* < *A. lerchiana* = *R. tataricum* < *C. candida*. (Рисунок 2)

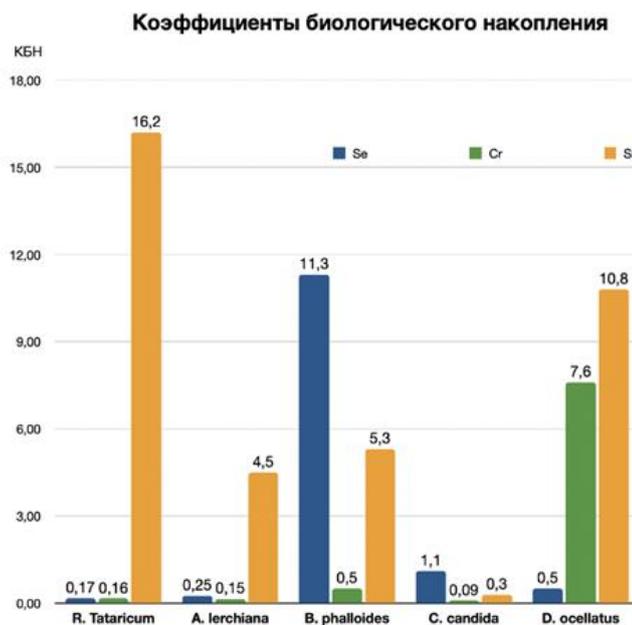


Рисунок 2. Коэффициенты биологического накопления (КБН) Se, Cr и Sr в исследуемых живых организмах

Что касается аккумуляции селена живыми организмами, среди исследованных видов наибольшей способностью накапливать селен обладали грибы *C. candida* и особенно *B. phalloides*, характеризующиеся коэффициентом биологического накопления соответственно 1,1 и 11,3 (Рисунок 2.). Согласно литературным данным [5] коэффициенты биологического накопления селена высшими грибами более 10 характерны лишь для небольшой группы отдельных представителей рода *Boletus*, *Agaricus*, *Amanita*, *Lycoperdon*. Несмотря на антагонистические свойства селена в отношении тяжелых металлов, включая Sr и Cr, взаимосвязи между уровнями накопления этих элементов в исследованных объектах Богдинско-Баскунчакского природного заповедника, выявлено не было. Также не было выявлено превышение ПДК по данному элементу при анализе грунтовых вод (Таблица 1.)

### Выводы

Впервые выявлены повышенные уровни хрома и стронция в объектах окружающей среды Богдинско-Баскунчакского заповедника и установлены высокая селен аккумулярующая способность грибов *B.phalloides* и *Calvatia candida*, гипераккумуляция Sr корневищами ревеня татарского *R. tataricum* и накипным лишайником *D. Ocellatus*. Аккумулятором хрома является лишайник *D.ocellatus*. Результаты, полученные в ходе данного исследования, могут быть использованы для оценки адаптивности растений, лишайников и высших грибов в условиях

оксидантного стресса, вызванного жесткими абиотическими факторами. Данные могут оказаться важными для оценки особенностей адаптационной способности грибов, лишайников и растений к условиям полупустыни.

### **Библиография**

1. Глаголев С.Б.; Бармин А.Н.; Кондрашин Р.Б., Иолин М.М.; Дшуваев Н.С. Флора и фауна Баскунчакского заповедника Волгоград, Царицин, 2007, 128 стр.
2. Головачев И.В. Мониторинг карстовых провалов в окрестностях озера Баскунчак: Геология, география и глобальная энергетика. 2022, 1(84), 117-124.
3. Munn, M. Seven plant capacities to adapt to abiotic stress J. Exp. Bot, 2023, 74(15), 4308-4323
4. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 2011, 4th Edition, CRC Press, Boca Raton.
5. Pilon-Smits, E.A.H. On the ecology of selenium accumulation in plants. Plants 2019, 8, 197. <https://doi.org/10.3390/plants8070197>.

*Результаты оценки визуального загрязнения центра города Москвы*

*Коркина Н.А.\* (МГРИ, [korkina.n19@list.ru](mailto:korkina.n19@list.ru)),  
Савушкина Е.Ю. (МГРИ, [savushkinaey@mgri.ru](mailto:savushkinaey@mgri.ru))*

**Аннотация**

В статье дается определение видеоэкологии, разбираются понятия благоприятных, гомогенных и агрессивных визуальных полей, приводятся примеры. Рассматриваются методы формирования благоприятной визуальной среды. В качестве метода исследования выбран структурно-информационный анализ. На основе полученных данных составлена карта-схема благоприятных, гомогенных и агрессивных визуальных полей центральной части города Москвы.

**Ключевые слова**

Видеоэкология, саккады, визуальная среда города, визуальное загрязнение.

**Теория**

Устойчивое развитие городов помимо решения социально-экономических задач предполагает обеспечение благоприятных условий в целом, в том числе физического и ментального здоровья людей. Благоприятные условия проживания населения обеспечиваются экологическим благополучием городской среды. Видеоэкология – современное научное направление, которое является областью знаний о взаимоотношениях человека с окружающей видимой средой и изучает каким образом воспринимают окружающую среду органы зрения. Пока люди жили в естественной природной среде, визуального загрязнения не было. Со временем процессы урбанизации вытеснили большую часть природных комплексов из населённых пунктов, тем самым создав агрессивные среды для человека [1]. Целью исследования является определение визуального загрязнения городской среды и составление карты-схемы расположения благоприятных визуальных полей в пределах Садового кольца города Москвы.

Основоположителем научного направления «видеоэкология» является Василий Антонович Филин (1933-2008), который делил вредные для восприятия визуальные поля на два типа: гомогенные и агрессивные.

Гомогенная среда – в которой либо находится очень ограниченное количество видимых элементов, либо их нет вовсе (табл.1). В гомогенной среде амплитуда саккад увеличивается в 3-5 раз. Саккады – это согласованные, быстрые движения глаз, которые происходят одновременно в одном направлении. Если человек будет находиться, к примеру, у большого торца дома на расстоянии порядка 40-45 метров, все зрительное поле будет застелено этой стеной. Если смотреть на нее 3 секунды, за это время возникнет 6-9 саккад и все они придутся на пустое пространство. Это приносит дискомфорт органам зрения [5].

Агрессивная видимая среда – в которой в один момент человек видит большое количество одинаковых объектов. Основная причина возникновения таких сред – строительство многоэтажных зданий с однотипными окнами, балконами, решетками, сетками кровельного материала. Пример такой среды – элементы декора на одежде: ткани в горошек, в полоску – тельняшки и др. [2]. В агрессивной среде не может полностью работать автоматия саккад, это объясняется тем, что при большом количестве в поле зрения однотипных объектов, человек не в состоянии установить, на каком именно объекте он фиксировал взгляд до саккады и каком остановился после.

Комфортная или благоприятная визуальная среда – это та среда, которая насыщена большим количеством элементов в пространстве. Ей присущи характерные кривые линии контрастности и разной толщины, острых углов виде заострений и вершин, которые образуют завершённую композицию, также разная удаленность предметов, и обширный спектр цветов и

их оттенков, которые сочетаются между собой [4]. Самый явный пример комфортной визуальной среды – природные пейзажи, неподверженные какому-либо воздействию человека (табл.1).

Таблица 1

Отличительные черты гомогенной и комфортных визуальных сред

Отличительная черта	Гомогенная среда	Благоприятная (комфортная) среда
Насыщенность элементами	Малое число элементов, или отсутствие их вовсе	Большое количество различных элементов
Структура элементов	Множество прямых углов и прямых линий	Разнообразие кривых и плавных линий, тупых и острых углов
Размер плоскостей	Зачастую одна большая плоскость	Много маленьких плоскостей, иногда под разными углами наклона
Силуэт зданий	Упрощенная форма в виде простых геометрических фигур	Разнообразный силуэт зданий

Для формирования комфортной визуальной среды города применяют различные способы, такие как золотое сечение; использование декоративных элементов в архитектурном ансамбле для разнообразия визуальной среды (балясины, балюстрады, пилястры, капители, абаки, карнизы, фасады, барельефы, колоннады и прочее); озеленение города для создания подобия естественной визуальной среды, в том числе и крыш, и стен домов, а также установка фонтанов, благодаря которым работа глаз, за счет наблюдения за потоками воды, приходит в привычный режим [3].

Для оценки загрязнения визуальной среды существуют различные методы, которые принимаются, исходя из условий и предоставленных данных. Среди них метод экспертной оценки, психологический метод, социологический опрос, анкетирование, спектрально-частотный анализ визуальной среды техническими средствами, метод структурно-информационного анализа.

В данной работе в качестве метода исследования был выбран структурно-информационный анализ. Литовские специалисты во главе с К.И. Эрингисом в 1975 году предложили вариант структурно-информационного анализа эстетических достоинств пейзажа. Ими была разработана методика «детального структурного исследования элементарных единиц пейзажа». На основе исследований учеными была создана первая в мире эстетико-ландшафтная карта целой страны. В дальнейшем многие ученые и службы по видеоэкологии работали над созданием карт визуального загрязнения окружающей среды. Были представлены системы отдельных показателей эстетичности пейзажа, шкалы качественной оценки пейзажа и т.п.

В основу исследования визуального загрязнения города Москвы в пределах Садового кольца были положены данные открытых источников: визуальный анализ проводился с помощью сервиса Яндекс-карты с использованием функции «панорама». Дистанционный метод позволил достаточно оперативно изучить многочисленные архитектурные объекты на значительной площади. Каждое здание было просмотрено виртуально, оценено с разных сторон на предмет больших площадей гомогенных и агрессивных полей, после чего ему был присвоен цвет соответствующий преобладающему полю: желтым цветом показаны гомогенные поля, красным цветом – агрессивные, зеленым отмечены те здания, которые подчиняются понятию о благоприятной визуальной среде. Таким образом были проанализированы все районы в пределах Садового кольца. В итоге все здания, сооружения и другие постройки, включая малые архитектурные формы (ларьки, заборы, различные дворовые пристройки, трансформаторные

будки) в пределах исследуемой территории классифицированы и окрашены на схеме по наличию или отсутствию агрессивных и гомогенных площадей на фасадах, а затем территории муниципальных районов закрашены в определенный цвет в зависимости от преобладающего цвета объектов в их пределах.

По результатам проведенных работ была составлена карта-схема. Отрисовка итоговой карты проводилась в программе Corel-DRAW (рис. 1).

Благоприятная визуальная среда отмечена на карте-схеме зеленым цветом, неблагоприятная - желтым (гомогенные поля) и красным цветом (агрессивные поля). Такая цветовая дифференциация относится как к отдельным архитектурным объектам, так и к районам.

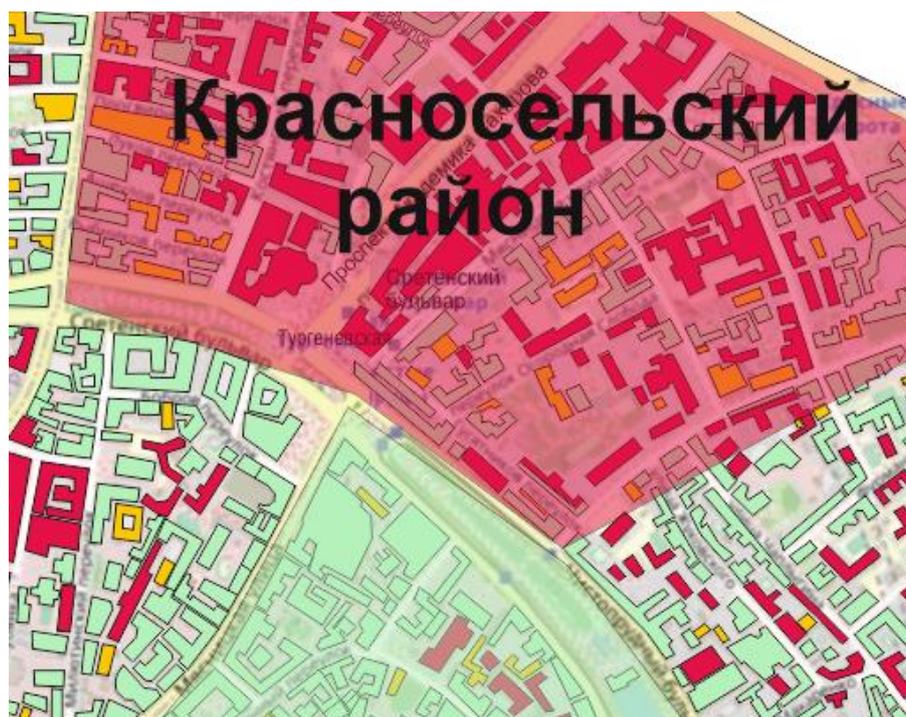


Рисунок 1. Фрагмент карты-схемы благоприятности визуальной среды центральных районов г. Москвы

На основе составленной карты-схемы были выявлены следующие закономерности:

1. Качество визуальной среды ухудшается из центра к периферии из-за увеличения современной застройки. В зданиях поздней застройки преобладают большие площади стекла и бетона, нежели разнообразные декоративные элементы.

2. Наиболее загрязненные районы находятся на юго-востоке и северо-востоке южнее и севернее бульварного кольца соответственно (Красносельский, Якиманка и Замоскворечье), это связано с наиболее поздней застройкой в этих районах и внедрением новых, не всегда качественных и правильных, с точки зрения видеоэкологии, технологий.

3. Самые благоприятные районы расположены в центральной части изученной территории, на северо-западе и северо-востоке (Тверской, Басманный районы), с наличием зданий, построенных, преимущественно, до XX века.

4. В ходе анализа территории, был замечен любопытный факт – фасад дома, выходящий на улицу, практически никогда не идентичен фасаду, находящемуся во дворе, и пусть это в большей степени скрыто от глаз туристов и прохожих, люди, чьи окна выходят во двор, каждый день сталкиваются с гомогенными и агрессивными полями.

5. В целом, состояние визуальной среды центра Москвы, за исключением некоторых районов, можно оценить как хорошее (благоприятное).

6. Гомогенных полей гораздо меньше, чем агрессивных, что можно объяснить большим количеством многоэтажных жилых зданий, которые содержат в себе большие агрессивные площади.

Для улучшения комфортности и привлекательности в районах с неблагоприятной визуальной средой рекомендуется части зданий с большими гомогенными полями (такие как голые торцы домов) задекорировать или расписать в соответствии с их местонахождением и прилегающими постройками.

### **Выводы**

В целом, состояние визуальной среды центра Москвы, за исключением некоторых районов, можно оценить как хорошее (благоприятное). Составленная карта-схема поможет выбрать маршруты прогулок в местах с наиболее благоприятной и интересной визуальной средой, а также сделать вывод о комфортности проживания в различных районах центра Москвы с точки зрения окружающей визуальной среды.

### **Библиография**

1. *Цухт А.Э., Купенков Е.Н.* Видеоэкология в современном мире [Электронный ресурс] // Символ науки. 2018. №5. С. 16-18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/videoekologiya-v-sovremennom-mire/viewer> (дата обращения 5.11.2023).

2. *Капцевич О.А.* Психологические эффекты визуального восприятия городской среды: систематический обзор [Электронный ресурс] // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2021. Т.18. №3. с.575-597. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/psihologicheskie-effekty-vizualnogo-voSPIriatiya-gorodskoy-sredy-sistematicheskii-obzor/viewer> (дата обращения 20.10.2023).

3. *Федосова С.И.* Рекомендации по оценке и формированию визуальной среды крупного города. – Брянск: 2008. – 128с.

4. *Филин В.А.* Видеоэкология и архитектура – Москва: 1995. - 51 с.

5. *Филин В.А.* Что для глаз хорошо, а что плохо. - 3-е изд. - Москва: 2006. - 505 с.

*Анализ таксономических единиц существующих классификаций оползневых процессов  
Крахина Е.А.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, l.k98@mail.ru),  
Экзарьян В.Н. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, vnekzar@rambler.ru)*

**Аннотация**

В статье представлен анализ данных по классификациям оползневого процесса. Содержится информация об основных факторах и условиях проявления процесса. Рассмотрены особенности типизации оползневого процесса по механизму проявления, морфологическим признакам, характеристикам преобладающих факторов формирования движения, степени потери устойчивости пород, слагающих склон, расположению на склоне, строению склона и форме оползня в плане.

**Ключевые слова**

Оползневые процессы, классификация, таксоны, горно-складчатые, платформенные.

**Теория**

Оползневые процессы являются важной составляющей движущейся приповерхностной геосистемы в физическом интервале времени, обусловленной взаимодействием с внешними факторами среды, а также со свойствами и структурой литосистемы. В научной литературе сформулировано достаточно большое количество определений терминов «оползень» и «оползневые процессы». Коломенский Н.В., Комаров И.С., Терцаги К. и Емельянова Е.П. не выделяли отдельной терминологии, вкладывая в понятие ключевые слова – «движение земляных масс» и «сила тяжести». Ломтадзе В.Д., Пашкин Е.М., Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. и Кюнцель В.В., напротив, приводили обоснование для каждого термина, характеризуя «оползневой процесс» в виде детального механизма, а «оползень» как массу породы, с определенными свойствами и параметрами.

Цель выполненного исследования заключалась в обобщении основных таксономических единиц оползневых процессов и выявление взаимосвязей и единых закономерных признаков и таксонов изучаемого процесса.

Были проанализированы классификации оползневых процессов, составленные отечественными учеными в областях инженерной геологии, геоморфологии и грунтоведения, как И.В. Попов, Г.С. Золотарев, Ф.П. Саваренский, А.П. Павлов, Н.Н. Маслов, В.В. Кюнцель, Е.П. Емельянова [2].

Для более детального изучения оползней необходимо понимание механизма движения массива горных пород по склону, формирования и возникновения деформаций в различных геолого-гидрогеологических условиях грунтовой толщи. Следовательно, при детальном изучении оползневых процессов следует в первую очередь рассмотреть классификации оползней. Выделение таксонов у оползней базируется на основе одного или нескольких признаков с учетом локальных условий их образования и развития.

Степень деформирования отложений, слагающих склон, зависит от характера инженерно-геологических условий. Геологическая структура материковых отложений подразделяется на два основных типа: платформенные области и горно-складчатые области. Структура, состав, состояние и свойства деформирующихся пород зависят от генезиса, степени осадконакопления, литогенеза, а также уплотнения и увлажнения грунтовой толщи. Формирование деформирующихся пород происходит внутри горного массива за счёт изменения механических, физических, лито-генетических свойств.

Среди выше названных факторов при классифицировании оползневых процессов ключевое значение имеет состав и свойства основных деформирующихся горизонтов (ОДГ), являющихся, по мнению многих ученых – «универсальной таксономической единицей». Глины, лёссы и лёссовидные суглинки, пески являются ОДГ, для которых характерны определенные

механизмы переноса массы горных пород на новый гипсометрический уровень. В.В. Кюнтцель на основе анализа оползневых механизмов выделил уровни оползневых процессов, подразделяющихся на 6 таксонов: скольжения, выдавливания, всплывания, течения, проседания и разжижения [4].

В платформенных областях основные деформирующиеся горизонты представлены глинами и глинистыми породами разной степени литификации, которым свойственны оползневые механизмы: скольжение, выдавливание, течение и разжижение. На активизацию оползневого процесса влияет характер породы ОДГ. Например, для глинистых пластичных отложений верхнеюрского яруса характерны оползни выдавливания, а для слабо уплотненных – оползни разжижения. Наименьшее распространение ОДГ получили песчаные и лёссовые отложения, для которых характерны такие механизмы, как проседание, выплывание. Например, в тонкозернистых пылеватых песках формируются оползни выплывания.

Значительная разница платформенных и горно-складчатых районов обусловлена геоструктурными и геодинамическими условиями. Основные деформирующие горизонты горно-складчатых областей состоят из высоко метаморфических скальных и полускальных отложений с нарушенной системой трещин, преимущественно тектонического происхождения. Покровные образования в горно-складчатых районах, большей частью, перекрывают коренные породы склона, что приводит к понижению его устойчивости. По механизму развития, в скальных и полускальных отложениях, преобладают оползни скольжения. Для районов с характерным залеганием покровных глинистых и крупнообломочных образований свойственно развитие такого оползневого механизма, как течение. Реже, в горно-складчатой области встречаются лёссовые породы, с механизмом проседания.

Важной составляющей при изучении оползней является выявление закономерности формирования оползневых склонов. Процесс характеризуется не отдельными, изолированными друг от друга оползневыми единицами, а оползневыми склонами различного геолого-гидрогеологического строения, генезиса и возраста. По числу образовавшихся на них оползней первого порядка (наиболее ранние) выделяют три типа: одноярусные, двухъярусные и многоярусные оползневые склоны.

В платформенных и горно-складчатых районах типы оползневых склонов будут иметь существенные различия. Наиболее простые условия характерны для склонов речных и морских побережий, а также для берегов водохранилищ, расположенных в пределах платформ, при горизонтальном залегании горных пород и наличии ОДГ. Для данных условий характерны все три типа оползневых склонов, причем каждый из них по числу отчлененных от коренного массива блоков, может подразделяться на одноступенчатые и многоступенчатые.

Наиболее сложной структурой обладают склоны горно-складчатых областей. В предгорных и низкогорных зонах, характеризующихся более пологими склонами, с небольшим перепадом высот, протекает процесс формирования многоярусных оползней.

В таблице 1 приведены результаты анализа и сопоставления классификаций оползневых процессов различных авторов по основным факторам и условиям изучаемого процесса.

Классификации оползневых процессов

Классификационные показатели								
По механизму проявления			По морфологическим признакам	По признакам проявления преобладающих силовых факторов формирования движения	По степени потери устойчивости пород, слагающих склон	По расположению на склоне	По строению склона и положения поверхности скольжения относительно	По форме оползня в плане
Рзаева М.К.	Кюнцель В.В.	Золотарев Г.С.	Маслов Н.Н.	Постоев Г.В.	Родионов Н.В.	Попов И.В.	Саваренский Ф.П.	Емельянова Е.П.
Блоковые (срезающие)			Обвалы	Блоковые	Структурные			
Соскальзывания	Скольжения	Соскальзывания (консекветные)	Скольжения	Сдвига-скольжения	Консекветные	Деляпсивные	Консекветные	
Сползания							Инсекветные	
Выдавливания	Выдавливания	Выдавливания (детрузивные)	Сдвига			Детрузивные	Асекветные	
Выплывания (Суффозионные)	Выплывания	Суффозионные			Суффозионные			Суффозионные
		Выплывания						
Просадочные	Просадочные							Выплывания пльвунов (Опльвины)
Опльвины (сплавы)		Сплавы	Сплавы					Подземного разжижения и размыва
			Опльвины					
Разжижения	Разжижения	Разжижения		Разжижения-течения				
Течения (потоки)	Течения	Потоки	Потоки					
					Промежуточные			

Приведенная в таблице 1 классификация показывает сложность выявления обобщенных показателей и построения единой модели развития оползневых процессов. Проблему классификации оползней невозможно решить без исследования признаков оползневых систем. Динамические признаки иерархически соподчинены между собой, их достаточно для установки и выявления основных таксонометрических параметров.

На рисунке 1 приведена обобщенная типизация оползневых процессов по инженерно-геологическим условиям.

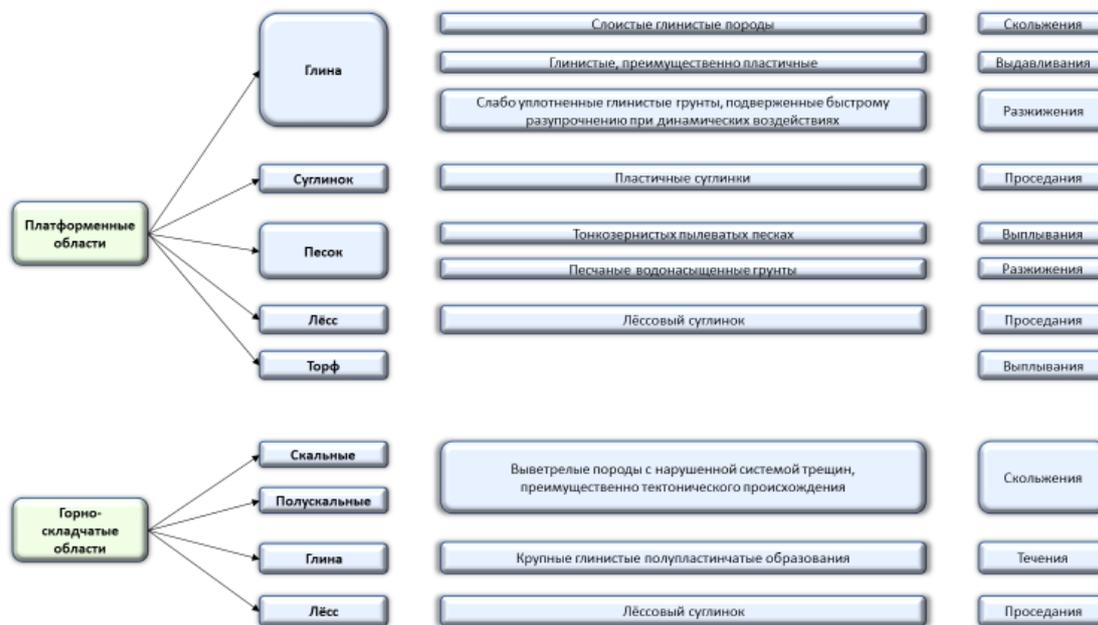


Рисунок 1. Типизация оползневых процессов по инженерно-геологическим условиям

### **Выводы**

Каждая классификация опирается на опыт предыдущих исследований, дополняя или развивая их. По мере накопления и обобщения информации, классификации становятся все более достоверными и отражают основные свойства, факторы и механизмы оползневых процессов. Вычленив оползневые формы в рельефе, описывая их специфические проявления, определяя стадии развития выявленных деформаций, можно достаточно детально изучить основной механизм смещений, свойства и структуру породы, степень подверженности материала к деформированию, что позволяет выявить общие закономерности между существующими классификациями.

### **Библиография**

1. Емельянова Е.П. К вопросу о механизме и причинах оползней у г. Одессы // Труды Одесского ун-та. Сер. геол. и геогр. 1960. Т. 150. Вып. 7. С. 25–41;
2. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневых процессов на Европейской территории СССР. М.: Недра 1980 г., с. 213;
3. Пальшин Г. Б., Тржцинский Ю.Б. Оползни в скальных и полускальных породах на склонах Южного Приангарья // Геология и геофизика. 1964. № 6. С. 97–108;
4. Постоев Г.П. Основные характеристики и признаки проявлений оползней // Геоэкология. 2010. № 2. С. 140–144;
5. Терцаги К. Инженерная геология. М.: Горгеонефтеиздат, 1934., с. 452.

*Особенности разработки мероприятий по охране  
окружающей среды на полигонах ТКО*

*Мазур А.И.\* (ФГБОУ ВО РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [almazur19@icloud.com](mailto:almazur19@icloud.com)),  
Алабужев Г.А. (ФГБОУ ВО РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [jorjik\\_goga@mail.ru](mailto:jorjik_goga@mail.ru)), начный  
руководитель Экзарьян В.Н. (ФГБОУ ВО РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
[ekzaryannv@mgri.ru](mailto:ekzaryannv@mgri.ru))*

**Аннотация**

В данной статье рассматриваются современные подходы к охране окружающей среды на полигонах твердых коммунальных отходов (ТКО). Особое внимание уделяется эффективной разработке мероприятий по охране окружающей среды на полигонах ТКО и минимизации негативных последствий.

Главной проблемой для населенных пунктов являются запах, массовое скопление животных, поступление фильтрата в поверхностные и подземные воды. Современные мероприятия по охране окружающей среды на полигонах ТКО должны предотвратить негативные последствия и обеспечивать нормальное существование населения.

Основой современной стратегии управления ТКО является утилизация, подразумевающая повторное применение отходов, возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация). Компостирование отходов ТКО представляет собой технологию аэробного биотермического сбраживания и направлено на трансформацию органического вещества в удобрение. Однако, такая технология требует эффективных методов по охране окружающей среды, поскольку может стать большой проблемой для ближайших населенных пунктов.

**Ключевые слова**

Полигоны твердые коммунальные отходы (ТКО), методы нейтрализации негативных последствий, окружающая природная среда.

**Теория**

При разработке мероприятий по охране окружающей среды на полигонах ТКО следует учитывать:

1. Природные и социально-экономические условия района работ. Климатические характеристики определяет рассеивание неприятных запахов, поэтому на этапе разработки проекта полигона захоронения отходов требуется размещение объекта только с подветренной стороны. Гидрологические характеристики на территории, где намечается размещение полигонов, должны быть учтены, поскольку фильтрат может попадать в поверхностные и подземные воды. Таким образом, важной характеристикой является геолого- гидрогеологическое строения территории. Социально-экономические условия должны оцениваться исходя из сохранения природно-ресурсного потенциала территории, соблюдение исторических, культурных и этнических интересов местного населения, медико-биологические и санитарно-эпидемиологические исследования, а также обследование и оценки состояния памятников архитектуры, истории и культуры. Не допускается строительство полигонов на особо охраняемых природных территориях.

2. Экологические ограничения планируемой хозяйственной деятельности. Территория не должна быть в зоне чрезвычайной или катастрофической экологической ситуации, поскольку низкая устойчивость природной среды ограничивает дополнительную на нее нагрузку;

3. Основные источники предполагаемого техногенного воздействия, их виды и характеристика (объемы образования отходов, выбросов, сбросов, и т.д.). Если мы знаем, сколько и откуда происходят выбросы и сбросы, то сможем определить, какой именно техногенный

объект оказывает наибольшую нагрузку на территорию и минимизировать это негативное воздействие.

4. Предполагаемые природоохранные мероприятия для минимизации негативного воздействия на основные компоненты окружающей природной среды. При разработке мероприятий необходимо знать количество источников загрязнения (организованные и не организованные, передвижные и стационарные), выбросы и сбросы от них. Для каждого компонента природной среды должны быть разработаны природоохранные мероприятия, будь то атмосферный воздух, почвы, подземные и поверхностные воды, а также животный мир.

5. Экологический мониторинг. В процессе осуществляемой деятельности необходимо разработать программу мониторинг окружающей среды на территории полигона. При этом определить направления, методы проведения мониторинговых наблюдений, перечни источников негативного воздействия, характеристики воздействий (качественные и количественные параметры), места наблюдений, контроля, средства контроля, его периодичность и критерии, с которыми происходит сравнение полученных результатов. В обязательном порядке вести журналы по реализации и протоколам контроля, принимаемым мерам и устранению выявленных несоответствий.

С целью уменьшения выбросов и сбросов загрязняющих веществ предусмотрен ряд природоохранных мероприятий. К основным мероприятиям относятся [3]:

- обеспечение соответствия используемой техники экологическим требованиям;
- своевременное проведение осмотра и техобслуживания оборудования;
- обеспечение технологического контроля производственных процессов,
- соблюдение правил эксплуатации и промышленной безопасности, предотвращающих возникновение аварийных ситуаций и, как следствие, загрязнение окружающей среды аварийными выбросами.

Современный метод компостирования основан на технологии сбраживания отходов в бетонном бурте с применением мембранного покрытия, которое позволяет контролировать условия разложения органической составляющей [1]. Данное покрытие обеспечивает непроницаемость выбросов загрязняющих веществ и запахов [Рисунок 1].

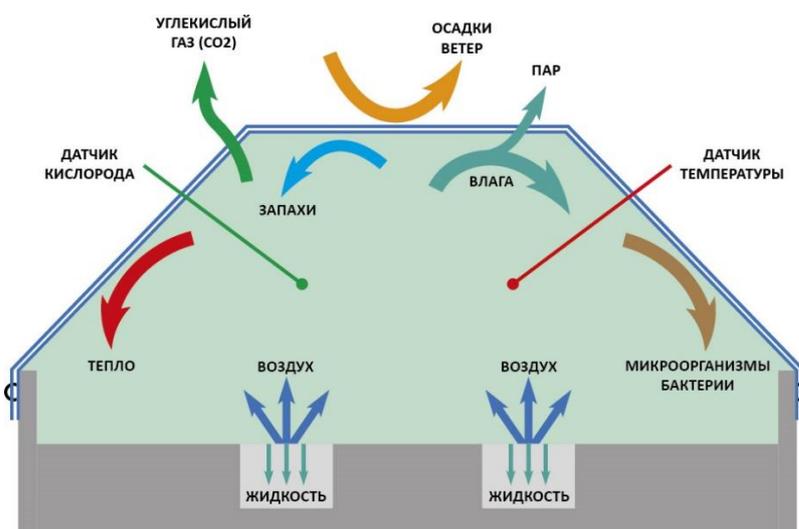


Рисунок 1. Аэрационный бурт представляет собой герметичное бетонное сооружение. Через перфорацию в полу воздух поступает в компостируемую массу, обеспечивается отвод избыточного тепла и газов, а аэрация также обеспечивает удаление избыточной влаги из компостируемой массы

В основе концепции технологии лежит применение специального покрытия с используемой специальной мембраной, которая создает условия для непроницаемости больших молекул биоаэрозолей и газообразных веществ с неприятным запахом, но при этом не препятствует прохождению воздуха, углекислого газа и водяных паров. Специальные датчики, контролирующие температуру и содержание кислорода, передают данные на автоматическую систему управления на программируемых контроллерах. Автоматическая система управляет подачей воздуха, поддерживая оптимальную концентрацию кислорода, и информирует оператора о параметрах протекающего процесса компостирования. Использование автоматической системы управления для поддержания оптимальных параметров компостирования позволяет минимизировать потребление электроэнергии и снизить выбросы в окружающую среду.

Укрытые специальным покрытием бурты оснащаются так же датчиком давления, с целью сигнализации аварийной ситуации, связанной с неплотным прилеганием покрытия или разрыва. Также, применение данной технологии на полигонах ТКО позволит обеспечить отвод фильтрата через перфорацию в бетонном бурте, что не допустит проникновения загрязненной жидкости в почвы и водоносные горизонты. Автоматическая система управления также протоколирует данные о протекающих процессах, что может являться документальным доказательством гигиенической эффективности процесса [2]. Массовое скопление животных (в основном – птиц) можно также избежать, благодаря данной технологии, поскольку отходы сверху укреплены плотным мембранным покрытием.

### **Выводы**

Разработка и реализация мероприятий по охране окружающей среды на полигонах ТКО требует системного, комплексного подхода, включая совершенствование технологий сбора, транспортировки, переработки и утилизации отходов, а также повышение экологической культуры населения. При применении современных методов утилизации отходов на примере аэрационных буртов, можно избежать часто возникающих негативных последствий на полигонах ТКО. Несмотря на это данная технология не позволяет избавиться от неприятных запахов, эффективному сливу фильтрата, защите подземных и поверхностных вод, почвенного покрова и избежать скопления животных. Однако следует отметить, что результатом данной технологии является органо-минеральный почвогрунт, который можно использовать для удобрения и подкормки деревьев.

### **Библиография**

1. Агапкин А.М., Махотина И.А., Юрина О.В., К вопросу утилизации свалок методом аэробного биореактора [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-utilizatsii-svalok-metodom-aerobnogo-bioreaktora?ysclid=ltsmms0n3u850155724>, дата обращения (14.03.2024);
2. Новицкий М.Л., Азиатцева М.В., Современные тенденции, состояния и особенности рекультивации полигонов твердых бытовых отходов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-sostoyanie-i-osobennosti-rekultivatsii-poligonov-tvyordyh-bytovyh-othodov-obzor?ysclid=ltsmihrn82455748612>, дата обращения (12.03.2024);
3. Сконечный М.С., Сравнительный анализ технологий утилизации и обезвреживания ТКО с позиции решения текущих проблем отрасли обращения с отходами [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-tehnologiy-utilizatsii-i-obezvrezhivaniya-tko-s-pozitsii-resheniya-tekuschih-problem-otrasli-obrascheniya-s-othodami?ysclid=ltsm dof hid896014158>, дата обращения (12.03.2024);
4. Титова А.Г., Оценка влияния полигона твердых коммунальных отходов на окружающую среду с использованием междисциплинарного подхода [Электронный ресурс] –

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-poligona-tverdyh-kommunalnyh-otvodov-na-okruzhayushuyu-sredu-s-ispolzovaniem-mezhdistsiplinarnogo-podhoda>, дата обращения (15.03.2024).

*Гармония недр – основа экологически сбалансированного освоения земных ресурсов вблизи  
водных объектов*

*Милетенко Н.А.\* (ИПКОН РАН, nmilet@mail.ru),  
Нурпеисова М.Б. (КазНТУ им. К.И. Сатпаева, marzhan-nurpeisova@rambler.ru), Федоров Е.В.  
(ИПКОН РАН, evfedorov58@gmail.com)*

**Аннотация**

Сохранение экологической устойчивости и баланса при освоении земных ресурсов вблизи водных объектов становится все более важной задачей в современном мире. В данной работе рассматривается концепция "гармонии недр" как основы для экологически сбалансированного освоения земных ресурсов вблизи водных объектов. Исследуются принципы и методы, направленные на минимизацию негативного воздействия горнодобывающей и промышленной деятельности на окружающую среду, включая водные экосистемы.

Анализируются практические примеры и технологии, способствующие сохранению качества водных ресурсов и биоразнообразия в условиях освоения природных ресурсов. Полученные результаты могут быть использованы в разработке стратегий и политики устойчивого природопользования, а также в практической деятельности предприятий для обеспечения гармонии между экономическим развитием и сохранением природной среды.

**Ключевые слова**

Гармония недр, гидрогеомеханика, предохранительный целик.

**Теория**

Недра представляют собой незаменимую естественную лабораторию, в которой существуют многочисленные закономерности природы и недропользователи пропитаны мыслью о гармоничности, взаимосвязанности и необходимости поддержания гармонии в каждом процессе. Вопросам понятия и значения гармонии недр уделялось внимание и в нашей стране [1], и в других странах, так, например, идею «Гармония недр» в Республике Казахстан в дальнейшем развил профессор А.Ж.Машанов [2]. Закон гармонии – это всеобщий закон строения земной коры. Гармония недр означает соответствие между телом (горным массивом) и слагающими его частями, структурными блоками пород, которые возникли в соответствии с характером деформации массива, сложенного этими блоками. Одной из важнейших областей деятельности человека является горное дело, направлено оно на освоение ресурсов земных недр. Нарастающая технологическая нагрузка на природные экосистемы приводит к их быстрому и часто необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер.

При этом, в какой бы степени недра не были исчерпаны, общество не может существовать, когда их использование невозможно. Поэтому получение полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью для самого факта существования человека. От того, как в наше время будет организовано это производство, какие ограничения и допуски будут наложены на его развитие, в широком смысле зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологические периоды развития планеты.

Массив горных пород с точки зрения строительной механики представляет собой весьма сложную конструкцию, состоящую из многочисленных элементов, различным образом соединенных и взаимодействующих между собой. Одними из важнейших составляющих массива горных пород, испытывающих влияние в процессе освоения земных недр, являются водные объекты как на поверхности (реки, озера, водохранилища и др.), так и подземные водоносные горизонты – источники естественного и искусственного скопления вод. Водные ресурсы на территории Земли распространены неравномерно, в частности, Республика

Казахстан обладает дефицитом водных ресурсов и поэтому проблема защиты горных выработок и сохранения водных объектов при освоении недр в этой стране не стоит. Однако, учитывая значимость воды как важнейшего компонента жизнедеятельности людей, а также одного из самых ценных видов минерального сырья, вопросы гармонии недр необходимо рассматривать именно с позиции экологически сбалансированного освоения ресурсов Земли с учетом охраны при этом водных объектов. Этот вопрос стал настолько актуальным в планетарном масштабе, что его значимость закреплена решением Генеральной Ассамблеи ООН отмечать ежегодно Всемирный день водных ресурсов с целью обратить внимание на важность доступа к пресной воде всех людей на планете, а также пропаганды рационального использования водных ресурсов.

Внутри массива горных пород нередко протекают более сложные процессы, обнаружить которые без специальных исследований не всегда удастся. Вопросы гармонии недр в определенной степени затрагиваются многими научными дисциплинами горного производства. Управление деформационными процессами относится к области механики горных пород, которая зародилась и сформировалась на стыке ряда наук, в том числе классической и строительной механики, сопротивления материалов, подземной гидрогазодинамики и смежных разделов горной науки. Поэтому в ней широко используются многие положения, методы и приемы, заимствованные из этих наук. В последние 20-30 лет сформировалась новая дисциплина – гидрогеомеханика. При этом под гидрогеомеханическими процессами понимается изменение деформационных, прочностных и фильтрационных свойств массива горных пород под воздействием техногенной деятельности в районах влияния на водные объекты. В результате техногенного воздействия (т.е. в процессе добычи полезных ископаемых) происходит изменение гидрогеомеханического состояния массива горных пород, нарушающее гидрологическое и как следствие, биологическое равновесие в районе ведения горных работ, нарушается естественное положение подземных водных горизонтов и поверхностных водных объектов. Ошибки могут приводить к катастрофическим последствиям, как, например, на месторождении калийно-магниевых солей (рис.1).

Еще один показательный пример, когда вследствие закрытия целого ряда угольных шахт в Ростовской области произошло скопление большого количества подземных вод, создавших огромное гидростатическое давление в районе шахты Западная-Капитальная, что стало причиной аварии на этой шахте, приведшей к прорыву и затоплению части выработок и в итоге к катастрофическим последствиям. В связи с загрязнением питьевых горизонтов низовье Дона (где ранее никогда не было проблем с чистой водой) - г. Шахты, Новошахтинск - оказались без чистой воды и питьевую воду получали из соседней Вологодской области по часам.

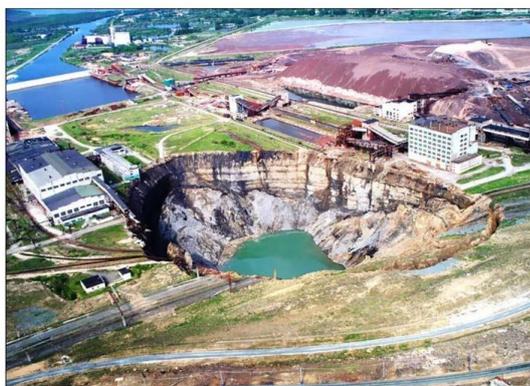


Рисунок 1. Провал на земной поверхности при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей

Перемещение воды в массиве происходит по системе образованных в результате техногенного воздействия трещин. Важным фактором, способствующим предотвращению или снижению вероятности прорыва воды в горные выработки шахт, является наличие водоупорного слоя, выполняющего роль экрана, его местоположение относительно разрабатываемого пласта и источника поступления воды, а также его мощность.

При этом есть существенная разница между геологической мощностью водоупорного слоя и мощностью ненарушаемой части этого слоя. Анализ вопроса показал, что эффективную мощность водозащитного слоя следует определять как разность между геологической мощностью водоупорного слоя и глубиной развития трещин в слое водоупора. Практика ведения горных работ под водными объектами показала, что отработка запасов угля осуществляется в весьма широком диапазоне условий: от абсолютно безопасных до весьма опасных. Для своевременного выбора мер защиты выработок от затопления нами разработана классификация условий ведения горных работ под водными объектами.

В качестве основного классификационного признака принята способность подработанного массива пропускать воду, выраженная отношением

$$M / \square_{\max}, \quad (1)$$

где  $M$  - расстояние от почвы водного объекта до кровли разрабатываемого пласта, м;  
 $\square_{\max}$  - максимальное оседание (прогиб) слоя, м.

Еще одной важной задачей при освоении недр в районе влияния на водные объекты является вопрос подработки протяженных водных объектов.

Предложенный нашим Институтом способ позволяет существенно повысить эффективность отработки запасов и предотвратить негативные для окружающей среды последствия в виде осушения самого водного объекта, заболачивания окружающей местности и затопления горных выработок. Суть метода состоит в том, в предохранительном целике непосредственно под водным объектом отрабатывается лава, параметры которой рассчитываются по формуле таким образом, чтобы водный объект попадал в зону сжатия и в толще пород не образовывалось сквозных водопроводящих трещин, соединяющих водоем с горными выработками [3]. Другим направлением развития исследований в институте является разработка подхода, основанного на изучении условий развития магистральных трещин в подрабатываемом массиве пород при учете гидростатического давления воды в трещинах и природных горизонтальных боковых напряжений [4].

## **Выводы**

Сбалансированное состояние водных ресурсов как неотъемлемая часть гармонии недр ставит перед нами необходимость поиска новых решений, обеспечивающих безопасное освоение массива горных пород с учетом минимального влияния на водные объекты. Вопрос сохранения баланса между внедрением человека в недра и состоянием этих недр является весьма важным, поскольку ставит человечество перед выбором дальнейшего пути развития: быть ли ему по-прежнему ориентированным на безграничный рост производства или этот рост должен быть согласован с реальными возможностями природной среды и человеческого организма, соразмерен не только с ближайшими, но и с отдаленными целями социального развития [5].

## **Библиография**

1. Трубецкой К.Н. Состояние и основные направления освоения ресурсов земных недр. Вестник высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020; 63(3): С. 8—15.
2. Машани А. Аль-Фараби и современная наука. – Алматы: КазНТУ, 2007, - 219 с.

3. Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А., Одинцев В.Н. Развитие методов прогноза опасных геомеханических и гидрогеологических процессов при освоении земных недр. В сборнике: Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках Материалы XXI Международной научной школы 2011. С. 341-343.

4. Трубецкой К.Н., Милетенко Н.А. Прогноз гидрогеомеханических процессов при подработке водных объектов. Горный журнал №3, 2021. С. 73-79.

5. Х.М. Касымканова, М.Б. Нурпеисова, Д.Ж. Бастаубаева, Г.К. Джангулова. Гармония недр в недропользовании. Вестник КазНУ №2/1(38). 2013. С.65-68.

*Особенности обращения с отходами на нефтегазовых месторождениях Арктического  
региона Российской Федерации*

*Овсов Д.А.\* (МГРИ, danovso@mail.ru),  
Щерба В.А. (МГРИ, shcherbava@mgi.ru)*

**Аннотация**

В работе основное внимание обращается на сокращение объемов отходов, образующихся в процессе освоения нефтегазовых месторождений Арктического региона. Обосновывается необходимость внедрения безотходных технологий и преобразования отходов во вторичное сырье. Даны рекомендации по организации раздельного сбора отходов и их временного хранения в соответствии с гигиеническими и экологическими стандартами. Подчеркивается важность соблюдения условий для временного накопления отходов, включая их защиту от атмосферных осадков, обеспечение безопасности и предотвращение уноса загрязняющих веществ. Описываются методы сбора, транспортировки, размещения, обезвреживания и утилизации отходов, в том числе посредством термического обезвреживания и складирования на специализированных полигонах, в целях минимизации их негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова**

Обращение с отходами, нефтегазовые месторождения, Арктический регион, экологическая безопасность, система сбора и переработки отходов.

**Теория**

Арктический регион — уникальная экологическая система, природное достояние народов России, индикатор климатических процессов, наиболее заметным образом испытывающая негативные последствия глобальных изменений, где динамика природных процессов замедлена, поглотительная способность природных объектов снижена, вследствие чего Арктика является особо уязвимой экосистемой. Применительно к сфере охраны окружающей среды при пользовании недрами для Арктической зоны Российской Федерации существенную экологическую угрозу представляют и аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, которые без проведения специальных ликвидационных мероприятий в сложных климатических условиях северных арктических широт в итоге могут привести к длительному негативному антропогенному воздействию на природную среду [1].

В сфере обращения с отходами деятельность хозяйствующего субъекта должна быть направлена на сокращение объемов образования отходов, внедрение безотходных технологий, преобразование отходов во вторичное сырье или получение из них какой-либо продукции, сведение к минимуму образования отходов, не подлежащих дальнейшей переработке и захоронение их в соответствии с действующим законодательством. Обращение с отходами, образующимися на стадиях строительства и эксплуатации объектов обустройства нефтегазовых месторождений Арктического региона, предусматривает раздельный сбор отходов, отправляемых на утилизацию, обезвреживание, размещение. В соответствии с нормативными правилами на стадии строительства и эксплуатации необходимо организовать площадки временного накопления отходов, отвечающие требованиям СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

Сбор и накопление образующихся отходов должны осуществляться раздельно по их видам, физическому агрегатному состоянию, пожаро-, взрывоопасности, другим признакам и в соответствии с установленными классами опасности. Совместное накопление различных видов отходов допускается в случае определенного порядка обращения одинакового направления переработки, утилизации, обезвреживания, а также при условии их физической, химической и

иной совместимости друг с другом. Временные места сбора отходов (площадки временного накопления) оснащаются емкостями и контейнерами для отходов в соответствии с видами отходов, их классами опасности, опасными свойствами и порядком дальнейшего обращения с отходами.

Допускается временное накопления отходов на специальных площадках при соблюдении следующих условий: – содержание вредных веществ в воздухе промышленной площадки на высоте 2 м от поверхности не должно превышать 30 % ПДК для рабочей зоны; – должна быть предусмотрена эффективная защита отходов от воздействия атмосферных осадков (сооружение навесов, оснащение накопителей крышками и т.д.); – открытые площадки должны располагаться в подветренной зоне территории и быть покрыты неразрушаемым и непроницаемым для токсичных веществ материалом; – отбортовка основания площадок или обваловка для предотвращения скатывания контейнеров; – площадки для временного хранения пылящих отходов должны обеспечивать защиту окружающей среды от уноса загрязняющих веществ в атмосферу; – площадки резервуарного хранения токсичных жидких отходов должны иметь устройство, предотвращающее разлив отходов в случае аварийной разгерметизации емкостей (поддоны); – площадка временного хранения горючих отходов должна быть оборудована противопожарным инвентарем; – подъездные пути к площадкам хранения отходов должны быть освещены в вечернее и ночное время [2].

Предельное количество накопления отходов 1-2 классов опасности определяется с учетом их токсичности, общей массы, емкости контейнеров для каждого вида отходов и грузоподъемности транспортных средств, используемых для вывоза отходов на утилизацию, обезвреживание, захоронение. Максимальный срок содержания образующихся отходов на площадках накопления определяется для каждого вида в соответствии с его свойствами и не должен превышать 11 месяцев. Временное накопление отходов на территории предусматривается на открытых площадках и в закрытых помещениях. Здания, где будут размещены площадки для временного хранения отходов, должны отвечать следующим требованиям:

- В целях обеспечения ограниченного доступа площадь должна быть огорожена, а все двери должны быть оснащены замками;
- Накопление отходов должно осуществляться в условиях предотвращения смешивания или контакта несовместимых отходов, и обеспечивающих выполнение проверок состояния пространства между контейнерами в целях контроля утечек или разливов. С учетом этих условий стальные бочки должны храниться на поддонах, и складываться в два яруса. Поддоны должны стоять рядами в два поддона и располагаться минимум в 1 м от стен, и на расстоянии 0,8 м друг от друга (см. рис. 1).



Рисунок 1. Пример правильного накопления отходов в стальных бочках

В целях разделения несовместимых отходов, должны быть предусмотрены различные площадки хранения для бочек. Каждая площадь отделяется от другой стеной из бетонных блоков. Каждая площадь хранения для несовместимых отходов должна оборудоваться собственной дренажной системой. Осушка приямка должна осуществляться с помощью автоцистерны с вакуумным насосом.

- Устройство вторичной защитной оболочки предусматривается в тех местах, где объём хранения жидких отходов превышает 220 л.

- Площади закрытого хранения, используемые для размещения отходов классов I и II, должны обеспечиваться пространственным изолированием с отдельным хранением отходов в специально предусмотренных помещениях.

- В здании для хранения должны быть предусмотрены дезинфицирующий душ и умывальная раковина для рук.

- Необходимо предусмотреть устройство надлежащей системы вентиляции, предотвращающей достижение 30% ПДК загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны на уровне 2 м от поверхности, образующихся вследствие неорганизованных утечек или выделений от отходов. В составе проекта должно быть проработано устройство естественной или принудительной вентиляции [4].

Отходы, образующиеся при строительно-монтажных работах, вывозятся транспортом подрядных строительных организаций на специально выделенные участки, складируются на специально предусмотренные временные открытые площадки накопления строительного мусора и ТКО на промплощадках проведения работ, с последующей передачей лицензированным специализированным предприятиям или на размещение и обезвреживание на собственном предприятии.

Для сбора отходов территория оборудуется стандартными специальными контейнерами, в которые отходы собираются отдельно с учетом дальнейшего обращения с отходами: вывоз на обезвреживание, утилизацию или размещение.

Отходы, образующиеся при строительстве и эксплуатации объектов обустройства нефтегазовых месторождений Арктики, должны вывозиться для термического обезвреживания или захоронения на собственный полигон твердых бытовых и промышленных отходов, либо передаваться специализированным предприятиям для утилизации, обезвреживания, размещения на полигоне ТКО.

Основные виды работ на полигонах: а) Прием, складирование и изоляция твердых бытовых, промышленных и строительных отходов IV-V классов опасности. б) Предварительная подготовка (дробление) крупногабаритных отходов, автопокрышек и прессование тары. в) Временное хранение (накопление для формирования транспортной партии). г) Термическое обезвреживание отходов на установке КТО [3]. Термическое обезвреживание твердых строительных, промышленных отходов III-V класса опасности, в том числе нефтесодержащих, твердых коммунальных отходов IV-V класса опасности предусматривается в зоне термического обезвреживания, включающей в свой состав: разгрузочную площадку для размещения отходов для термического обезвреживания; установку комплекса термического обезвреживания твердых отходов КТО-1000.3.В.

Для накопления до формирования транспортной партии, запрещенных к размещению на полигоне видов отходов, а также отходов, являющихся ценным вторичным ресурсом на полигоне, предусматривается площадка накопления. Для уменьшения объема таких отходов как картон, бумага, пленка предусмотрен пресс для вторичного сырья. Для крупногабаритных отходов (резиновые шланги и рукава, тара из полимерных материалов) предусмотрено предварительное измельчение на промышленном шредере. Для отходов, подлежащих вывозу для обезвреживания и утилизации, будут заключены договора со специализированными предприятиями - потенциальными приемщиками отходов [3].

### **Выводы**

Разработанные и представленные методы и подходы к сбору, временному хранению, транспортировке, а также к обезвреживанию и утилизации отходов являются ключевыми для минимизации экологического воздействия на уникальные арктические экосистемы. Строгие требования к обращению с отходами, включая отдельный сбор по типам и классам опасности, создание условий для безопасного временного хранения и разработка мер по предотвращению уноса загрязнителей, способствуют сокращению рисков для окружающей среды и здоровья человека. Эти меры обеспечивают основу для устойчивого развития нефтегазовой отрасли в Арктике, подчеркивая необходимость интеграции экологически ответственных практик во все аспекты деятельности, связанные с обращением с отходами.

### **Библиография**

1. Агафонов В.Б. Правовое обеспечение экологической безопасности Арктической зоны РФ при разведке и добыче нефти и газа в условиях санкционных ограничений // Актуальные проблемы российского права. 2023. Т. 8 (153) август. С. 160-168.
2. Игнатъева И.А. Особенности правового регулирования в области обращения с отходами производства и потребления в Арктической зоне Российской Федерации // Российский юридический журнал. 2018. № 2. С. 159-172.
3. Мельгунов В.Д., Костарева А.Н. О некоторых вопросах правового регулирования обращения с отходами бурения нефтяных и газовых скважин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 1. С. 64-68.
4. Пономарев М.В. Эколого-правовые проблемы обращения с отходами недропользования в Арктической зоне Российской Федерации // Журнал российского права. 2021. Т. 25. № 10. С. 143-156.

***Влияние температуры воздуха на концентрацию PM<sub>2.5</sub> в августе 2023 г. по данным  
Центра геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН  
Рябова С.А.\* (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им.  
О.Ю. Шмидта Российской академии наук, riabovasa@mail.ru)***

**Аннотация**

На основе данных инструментальных наблюдений, выполненных в Центре геофизического мониторинга г. Москвы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, исследуются вариации массовой концентрации аэрозольных частиц в приповерхностном слое Земли, а также их связь с вариациями температуры воздуха в приземной атмосфере. На основе коэффициента линейной корреляции Пирсона установлены корреляционные зависимости между вариациями температуры и концентрацией аэрозольных частиц размером меньше 2.5 мкм.

**Ключевые слова**

Температуры воздуха, приземная атмосфера, аэрозольные частицы, корреляция.

**Источник финансирования**

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 "Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях" и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

**Введение**

Аэрозоли – это твердые или жидкие дисперсные фазы, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе. Аэрозольные частицы различаются разнообразием химического состава [2]. В их составе находятся соединения кремния, кальция и углерода, – оксиды металлов: железа, магния, марганца, цинка и др.

В зависимости от своего состава атмосферные аэрозоли могут быть высокотоксичными или же практически безвредными, но даже в этом случае они могут представлять опасность из-за своих физических свойств [5]. Известно, что с уменьшением размера частиц увеличивается их активность и проникающая способность [10]. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют мелкие частицы диаметром до 5 мкм. Благодаря своим физическим свойствам они проникают во внутреннюю среду организма, не задерживаясь в верхних дыхательных путях, а попадая сразу в альвеолы и получая почти прямой контакт с кровью. Частицы диаметром до 10 мкм (по международной классификации – PM<sub>10</sub>) имеют не столь сильную проникающую способность, тем не менее они также считаются опасными для здоровья [6]. Существует статистически установленная связь между загрязнением атмосферного воздуха и общей заболеваемостью населения [7].

Твердые частицы влияют не только на здоровье человека, но и на окружающую среду. Воздействие PM<sub>2.5</sub> на окружающую среду проявляется в снижении видимости, кислотных дождях, повышенном загрязнении воздуха, материальном ущербе, ущербе для экосистемы, нарушении функционирования растений и деревьев, загрязнении рек и океанов, а также в снижении продуктивности и урожайности сельскохозяйственных культур [2, 8].

В целом динамика атмосферы оказывает влияние на вариации концентрации аэрозольного загрязнения. В частности, ряд недавних исследований [4, 9] демонстрируют наличие связи между изменениями температуры и концентрации твердых частиц в приземном

слое атмосферы, однако вопрос о влиянии температуры на изменение концентрации пока не до конца проработан.

Целью настоящей работы было исследование возможного влияния температуры воздуха на концентрацию аэрозольных частиц размером меньше 2.5 мкм в приповерхностном слое Земли на основе данных, полученных в Центре геофизического мониторинга г. Москвы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН) в августе 2023 года.

#### **Исходные данные и методы**

При проведении настоящих исследований для обработки и анализа привлекались данные инструментальных наблюдений за вариациями температуры воздуха и массовой концентрации частиц PM<sub>2.5</sub> в приземном слое атмосферы за август 2023 г.

Измерение массовой концентрации микрочастиц выполнялось с помощью оригинальной системы на основе аппаратной платформы Arduino Uno и лазерного датчика микрочастиц Sensirion SPS30. Датчик способен работать в температурных условиях от –10 до 60° С, что важно для проведения измерений вне помещений. Sensirion SPS30 сертифицирован MCERTS Performance Standards for Indicative Ambient Particulate Monitors (№ SiraMC200350/01) для измерений PM<sub>2.5</sub> в диапазоне 0–75 мкг/м<sup>3</sup>. При проведении настоящих исследований использовались данные, полученные с помощью автономной метеорологической станции (АМК–04). АМК–04 способна на автоматическое измерение и регистрацию значений основных метеорологических величин (с задаваемым периодом усреднения): скорость и направление горизонтального ветра, скорость вертикального ветра, температура и относительная влажность атмосферного воздуха, давление и вычисление ряда турбулентных характеристик полей метеовеличин (например, число Монина-Обухова).

При выполнении настоящих исследований был проведен стандартный статистический анализ [1] вариаций среднесуточной концентрации PM<sub>2.5</sub> на основе вычисления среднего значения, максимального и минимального значений. С целью определения возможной связи между температурой и концентрацией частиц PM<sub>2.5</sub> использовался корреляционный анализ. Показателем силы связи был выбран коэффициент линейной корреляции Пирсона. В дополнение вычислялась кросс-коррелограмма. Все используемые в настоящей работе методы подробно описаны в работе [1].

#### **Результаты и их обсуждение**

Статистический анализ показал, что минимальная среднесуточная температура (14.7 °С) наблюдалась 29 августа 2023 г., максимальная температура (27.3 °С) наблюдалась 6 августа 2023 г. Средняя за август 2023 г. среднесуточная температура составила 20.7 °С, что выше на 3.7 °С климатической нормы для Москвы. Минимальная среднесуточная массовая концентрация PM<sub>2.5</sub> (3.8 мкг/м<sup>3</sup>) наблюдалась 9 августа 2023 г., максимальная концентрация PM<sub>2.5</sub> (16.3 мкг/м<sup>3</sup>) наблюдалась 2 августа 2023 г. Средняя за август 2023 г. среднесуточная концентрация PM<sub>2.5</sub> составила 9 мкг/м<sup>3</sup>. По данным ВОЗ среднесуточный уровень PM<sub>2.5</sub> в воздухе не должен превышать 25 мкг/м<sup>3</sup>, т.е. в августе 2023 г. по данным Центра геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН не наблюдалось превышение нормы среднесуточной концентрации PM<sub>2.5</sub>. Коэффициент линейной корреляции Пирсона между среднесуточными значениями температуры и массовой концентрации частиц PM<sub>2.5</sub> составил 0.29.

С целью определения корреляционных связей между температурой и массовой концентрацией частиц PM<sub>2.5</sub> были отобраны дни с погодными условиями, близкими к условиям «хорошей» погоды. Отбраковывались дни с осадками в виде дождя, с сильной облачностью, с максимальной среднесуточной горизонтальной скоростью ветра больше 3.5 м/с и с максимальной мгновенной горизонтальной скоростью ветра больше 7.5 м/с.

В ходе обработки и анализа данных инструментальных наблюдений были получены отрицательные корреляционные зависимости между суточным ходом температуры и суточным ходом массовой концентрации PM<sub>2.5</sub>. Лишь для 5 августа наблюдалась очень слабая зависимость

между вариациями температуры и массовой концентрации частиц PM<sub>2.5</sub> (практически полное отсутствие связи). 3 августа, 16 августа, 17 августа и 25 августа наблюдалась умеренная отрицательная зависимость между вариациями температуры и массовой концентрации частиц PM<sub>2.5</sub>. Сутки 6 августа и 19 августа характеризовались сильной корреляционной зависимостью между суточным ходом температуры и суточным ходом массовой концентрации PM<sub>2.5</sub>.

В дополнение был проведен анализ на основе вычисления кросс-корреляционной функции (кросс-коррелограммы). Пример вычисления приведен на рис. 1.

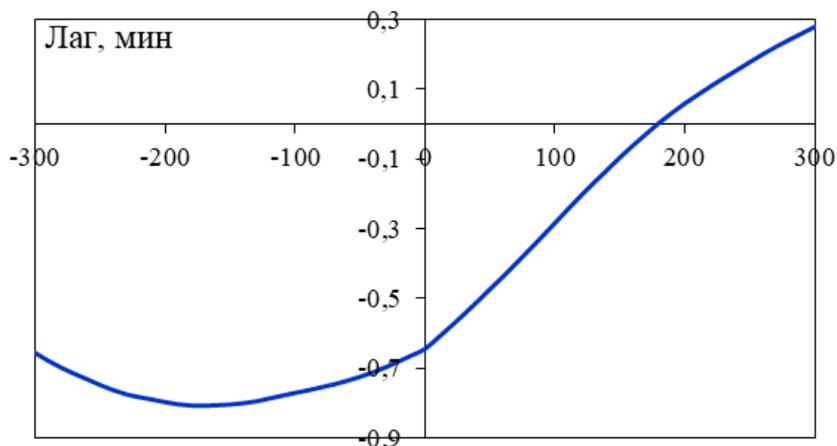


Рисунок 1. Кросс-коррелограмма между вариациями температуры воздуха и массовой концентрации аэрозольных частиц размером меньше 2.5 мкм в приповерхностном слое Земли для 3 августа 2023 г.

В целом кросс-корреляционный анализ показал, что вариации температуры опережают вариации массовой концентрацией частиц PM<sub>2.5</sub> на 2–3 часа. Однако 5 августа наблюдается, наоборот, опережение вариаций массовой концентрацией частиц PM<sub>2.5</sub> на 8 часов вариаций температуры воздуха, а 19 августа отмечаются синхронные вариации этих величин.

### **Выводы**

В ходе обработки и анализа данных инструментальных наблюдений были получены положительная корреляция между среднесуточными вариациями температуры и суточным ходом массовой концентрации PM<sub>2.5</sub> и отрицательные корреляционные зависимости между суточным ходом температуры и суточным ходом массовой концентрации PM<sub>2.5</sub>, что вероятнее всего связано с разными механизмами влияния температуры воздуха на PM<sub>2.5</sub> на разных временных масштабах. Кроме того, различие в корреляционных зависимостях на суточном масштабе можно связать с разным состоянием атмосферы, на основе анализа числа Монина-Обухова можно сделать вывод о том, что сила связи зависит от устойчивости атмосферы в течение суток.

### **Библиография**

1. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС, 2021. 264 с.
2. Аэрозоль и климат / Под ред. К. Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 191 с.
3. Гильмундинов В.М., Казанцева Л.К., Тагаева Т.О., Кугаевская К.С. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России. // Регион: экономика и социология. 2013. № 1. С. 209–228.

4. Губанова Д.П., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф., Скороход А.И., Чубарова Н.Е. Изменчивость приземной концентрации аэрозолей PM<sub>2,5</sub> в г. Москве по наблюдениям в Метеорологической обсерватории МГУ // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 12. С. 1033–1042.
5. Ивлев Л. С., Довгальук Ю. А. Физика атмосферных аэрозольных систем. СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. 5 с.
6. Калаева С.З., Чистяков Я.В., Муратова К.М., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 40–63.
7. Кику П.Ф., Бениова С.Н., Гельцер Б.И. Среда обитания и экологозависимые заболевания человека. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. 390 с
8. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 121 с.
9. Рябова С.А., Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Вариации концентрации микрочастиц в приземном слое атмосферы в летние периоды 2021 и 2022 годов по данным обсерватории «Михнево» // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т. 22, № 4. С. 5–12. doi:10.21455/GPB2023.4-1.
10. Чомаева М.Н. Промышленная пыль как вредный производственный фактор // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2015. № 2-1(10). С. 119–122.

***Использование искусственного интеллекта в решении  
климатических и экологических проблем***

***Аликин Я.Д.\* (МГРИ, Onlytradespam@list.ru),  
Рукавицын В.В. (МГРИ, Rukavitsynvv@mgri.ru)***

**Аннотация**

В работе поднимается вопрос проблемы изменения климата как одного из факторов глобальных проблем 21 века. Анализируются современные тенденции и перспективы использования ИИ для решения экологических задач. Рассматриваются успешные проекты, которые работают на сегодняшний день в компаниях мирового уровня. Особое внимание уделяется роли машинного обучения, анализу больших данных и автоматизированным системам наблюдения в создании устойчивых и инновационных решений для проблем экологии. Данная статья нацелена на проблемы изменения климата, которая требует комплексного подхода и объединений усилий со стороны всех стран мира.

Данная работа представляет обзор применения искусственного интеллекта (ИИ) в контроле за изменением климата. Проблема изменения климата является одной из наиболее острых и срочных проблем, стоящих перед человечеством. Использование искусственного интеллекта в этой борьбе становится все более актуальным и эффективным инструментом. Искусственный интеллект может быть использован для анализа огромных массивов данных об изменениях климата, обеспечивая более точные прогнозы и моделирование будущего. Благодаря этому ученым и экспертам будет легче принимать обоснованные решения и разрабатывать эффективные стратегии по сдерживанию изменения климата. Целью работы является выявление перспективы развития у исследования. Для выполнения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить конкретные примеры успешных проектов, в которых применение ИИ позволяет эффективно справляться с вызовами, связанными с изменением климата.
2. Дать рекомендации по развитию применения ИИ в контроле за изменением климата.

**Ключевые слова**

Искусственный интеллект, изменение климата, погода, прогнозирование.

**Теория**

Адаптация к климатическим изменениям - это стратегия, которая нацелена на подготовку общества к негативным последствиям изменений климата, которые уже происходят или которые предполагается, что произойдут в будущем. Подходы к адаптации могут включать в себя следующие меры:

- Разработка и внедрение планов чрезвычайных ситуаций и стратегий реагирования на стихийные бедствия, такие как наводнения, засухи, лесные пожары и др. Алгоритмы машинного обучения способны обрабатывать огромные объемы информации от спутников, выявляя закономерности и тренды, которые остаются незамеченными для традиционных методов анализа.

- Укрепление инфраструктуры и защитных сооружений для предотвращения ущерба от природных катастроф, связанных с изменением климата. Примерами могут служить: повышение уровня защиты береговой линии, улучшение систем водоотведения, строительство зеленых инфраструктур и другие.

- Развитие и внедрение инновационных и адаптивных сельскохозяйственных методов, устойчивых к изменениям климата, таких как использование сортов растений, более устойчивых к неблагоприятным климатическим условиям.

Уменьшение углеродного следа включает в себя два ключевых аспекта: снижение выбросов парниковых газов и увеличение поглощения этих газов. Снижение выбросов парниковых газов можно достичь путем:

- Перехода к чистым источникам энергии, таким как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и другие возобновляемые источники. На системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВиК) приходится значительное потребление энергии, до 40% от общего энергопотребления в зданиях. На сегодняшний день ИИ может управлять системами энергоснабжения, оптимизируя процессы, сокращая потребление энергии и интегрируя возобновляемые источники энергии. Компания Siemens использует искусственный интеллект для оптимизации работы энергетических систем и сетей, а также для разработки новых технологий и продуктов, способствующих снижению вредного воздействия на окружающую среду [7]. Лаборатория «ПРОСТОР» была основана в 2018 году как бизнес-подразделение Института Энергетических Систем (ИЭС) [6]. За время работы лаборатория реализовала более 200 проектов, таких как «РусГидро», «Шахтинская Газотурбинная Электростанция», «ИнтерРао», «Хуадянь-Тенинская ТЭЦ» и другие [1].

- ИИ может улучшить энергоэффективность, как пример, упростить процесс анализа данных об энергопотреблении зданий, транспорта и промышленности. IBM разрабатывает технологии искусственного интеллекта для улучшения энергоэффективности в промышленных предприятиях. В ПАО «ФСК ЕЭС» запущен процесс развития магистральных электрических сетей на базе технологий искусственного интеллекта. В камеру дрона встроен тепловизор, позволяющий выявлять дефекты. Сам проект нацелен на увеличение надежности работы питания за счет дистанционного мониторинга и оперативного выявления проблем и их устранения.

- Городское планирование и управление инфраструктурой – это сложные задачи, требующие точности и эффективности. Сегодня на транспорт приходится четверть глобальных выбросов парниковых газов. DHL в коллаборации с IBM создали программу для улучшения глобальных операций компании. Актуальность проблемы является то, что DHL – неоспоримый лидер в морских и воздушных перевозках [2].

- Внедрение инновационных технологий и методов производства с низким уровнем выбросов парниковых газов. Tesla также активно использует искусственный интеллект для улучшения производственных процессов и оптимизации работы своих продуктов с целью сокращения выбросов CO<sub>2</sub> [8]. AIRI (институт искусственного интеллекта) при поддержке Сбербанка разработал открытую библиотеку Eco4cast для снижения выбросов CO<sub>2</sub> при обучении нейронных сетей [4]. Компания Google активно использует искусственный интеллект для оптимизации энергопотребления своих дата-центров, управления транспортом с целью снижения выбросов CO<sub>2</sub> [5].

2.2 Увеличение поглощения парниковых газов можно осуществить путем:

- Защиты и восстановления лесов, поскольку деревья являются естественными углеродными складами. Сегодня в Германии существует и функционирует проект FutureForest. Он разрабатывает рекомендации, позволяющий защищать лес в соответствии с принципами устойчивого развития и сделать его менее восприимчивым к последствиям изменения климата, анализируя данные со спутников.

- Для автоматической фиксации пожара существует система «Лесохранитель». Он автоматически обнаруживает пожары, определяет координаты, и оповещает о пожаре, предоставляет систему учета и управления противопожарными силами и средствами с выдачей и контролем заданий и т.д. Пример изображения работы лесохранителя представлен на рисунке 1 [3].

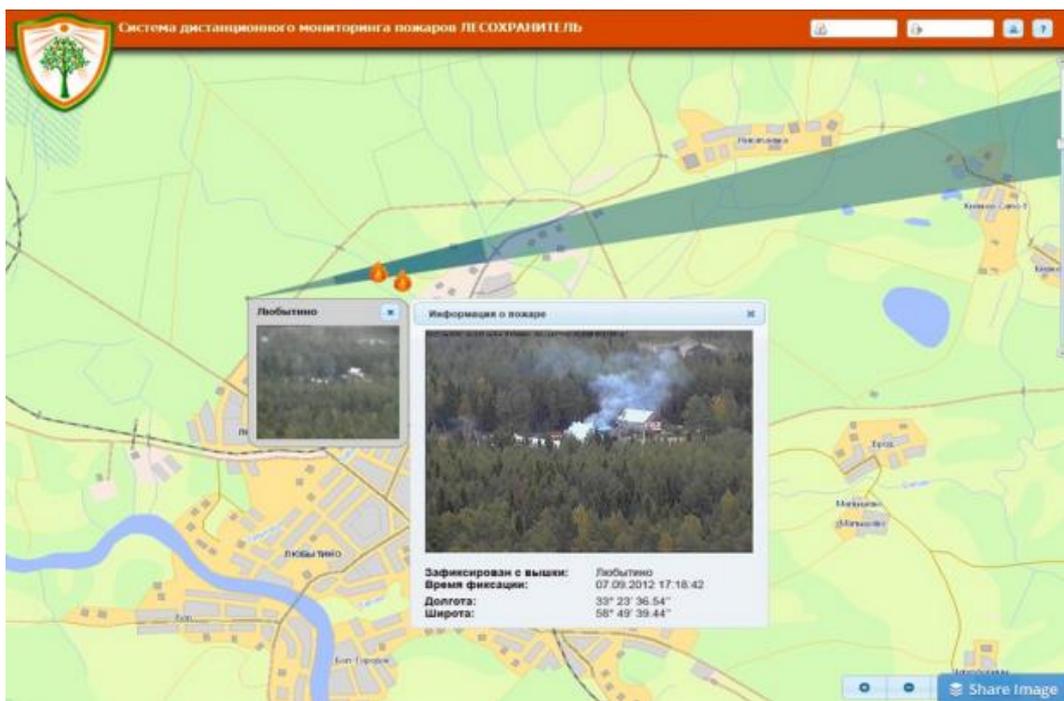


Рисунок 1. Работа системы дистанционного мониторинга пожаров «Лесохранитель»

Учитывая вышеперечисленное, ниже приведу рекомендации для развития ИИ в борьбе за изменением климата.

1. Повышение осведомленности общества о проблемах изменения климата: ИИ может использоваться для создания образовательных и информационных ресурсов, а также для анализа данных и связывания информации о климатических изменениях, что поможет повысить осведомленность об экологических проблемах.

2. Сотрудничество и обмен знаниями: важно создать сеть обмена знаниями между специалистами в области ИИ и экологии, чтобы совместно разрабатывать новые решения и технологии для борьбы с изменением климата.

3. Выделение государственного бюджета для компаний на полное или частичное управление процессов ИИ. Разработка систем мониторинга с использованием ИИ позволяет следить за уровнем загрязнения воздуха, воды, почвы, а также контролировать лесные пожары и другие природные катастрофы.

4. Использование робототехники и автономных систем для обследования территорий, контроля состояния экосистем и мониторинга изменений климата на удаленных территориях, где человеческий доступ ограничен.

### **Выводы**

В работе были рассмотрено применение ИИ в борьбе с изменением климата. Было проанализировано использование ИИ в контроле за изменением климата, а именно: прогноз и мониторинг изменения климата, оптимизация энергопотребления, улучшение энергоэффективности и оптимизация городской инфраструктуры. Рассмотрели примеры проектов, где уже используется ИИ и эффективно справляется с работой. Приведены рекомендации, необходимые для развития ИИ в борьбе с изменением климата

### **Библиография**

1. История успеха Хуадянь-Тенинская ТЭЦ // РБК Компании URL: <https://companies.rbc.ru/news/41b6fdc7-b12d-4fc6-b673-b6c95d807fcd/umnaya-elektrostantsiya-istoriya-uspeha-ooo-huadyan-teninskaya-tets/> (дата обращения: 16.03.2024)
2. Компьютерное зрение, управляемое искусственным интеллектом (AI-driven computer vision), стало технологией, определяющей развитие отрасли // DHL URL: <https://express.dhl.ru/info/press/kompyuternoe-zrenie-upravlyаемое-iskusstvennym-intellektom-ai-driven-computer-vision-stalo-tekhnolog/> (дата обращения: 17.03.2024).
3. Лесохранитель - Система дистанционного мониторинга и управления // Siemens URL: <https://lesohranitel.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).
4. Наука о Сбере 2023 // СберЛаб URL: <https://sberlabs.com/common/assets/sberlabs/nauka-2023.pdf> (дата обращения: 17.03.2024).
5. Ответственные практики искусственного интеллекта // Google URL: <https://ai.google/responsibility/responsible-ai-practices/> (дата обращения: 13.03.2024).
6. Умная электростанция // ПростоЛаб URL: <https://prostorlab.com/smart-station/> (дата обращения: 15.03.2024).
7. PLM Эксперт Инновации в промышленности // Siemens URL: [https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru\\_ru/plm-expert-september-2020\\_tcm66-87995.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/media/country/ru_ru/plm-expert-september-2020_tcm66-87995.pdf) (дата обращения: 16.03.2024).
8. Tesla использует искусственный интеллект для управления своими батареями и экономии энергии // CNBC URL: <https://www.cnbc.com/2022/02/14/tesla-is-using-ai-to-manage-its-batteries-and-save-energy.html> (дата обращения: 17.03.2024).

*Моделирование социо-эколого-экономической системы города Норильска для разработки  
стратегии устойчивого развития*

*Васюкова А.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, An\_vskv4551@mail.ru),  
Рукавицын В.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, rukavitsynvv@mgri.ru)*

**Аннотация**

В работе показаны результаты анализа существующей стратегии устойчивого развития г. Норильска, необходимой для полноценного и оптимального решения экологических, экономических и социальных задач. В ходе работы продемонстрирована методика исследования модели социо-эколого-экономической системы и получены выводы о качестве стратегии устойчивого развития. Также, разработаны ориентированный граф и матрица смежности его вершин для социо-эколого-экономической системы г. Норильска.

**Ключевые слова**

Устойчивое развитие города, индикаторы устойчивого развития, когнитивное моделирование, ориентированный граф.

**Теория**

Рост городов способствует химическому, физическому, радиоактивному загрязнению атмосферы, гидросферы и литосферы, что также негативно влияет на здоровье человека. Для эффективного решения экологических, социальных, экономических проблем, и стабильного развития города необходима стратегия устойчивого развития. Она разрабатывается в ходе стратегического планирования. Под этим понимается формирование целей и задач, выбор мероприятий для реализации устойчивого развития и разработка механизма их выполнения.

Социо-эколого-экономическая система – это сложная открытая динамическая система, которая основана на взаимодействии структур, созданных природой и человеком. Неотъемлемой частью анализа и оценки комплексной системы является моделирование [3].

В ходе работы было проведено социо-эколого-экономического моделирования города для определения качества стратегии устойчивого развития. В качестве объекта проведения моделирования был выбран г. Норильска.

Норильск относится к моногородам. Он основан на базе градообразующего предприятия – заполярный филиал горнометаллургической компании «Норильский никель». Норильск является одним из лидирующих городов Крайнего Севера по важным макроэкономическим показателям, это связано с геологическим строением района [5].

Для его социо-эколого-экономического моделирования был выведен системный подход, который позволил учесть все многообразие и взаимное влияние многочисленных факторов. Одним из эффективных способов реализации системного подхода является когнитивное моделирование. Оно позволяет прогнозировать развитие и выбирать наиболее эффективные решения по управлению социо-эколого-экономической системой.

Опорой при отборе индикаторов устойчивого развития для г. Норильска служил базовый набор индикаторов Комиссии ООН (132 показателя). Недостатком является большое количество различных несоизмеримых показателей, которые не всегда подходят для оценки города. В ходе отбора индикаторов учитывались региональные особенности города, цели и задачи развития муниципального образования и применимость индикаторов к оценке городских территорий [4]. Основные положения стратегии социально-экономического развития г. Норильск и их связь с индикаторами устойчивого развития рассматриваются в Таблице 1 [2,6].

Сравнение показателей устойчивого развития с положениями стратегии социально-экономического развития г. Норильска (составлено автором)

Показатель	Стратегия
Уровень безработицы	Уровень регистрируемой безработицы стабильно низкий, что является сильной стороной города.
Среднемесячная зарплата	Сильной стороной города является относительно высокий уровень заработной платы.
Уровень жизни	
Миграционный прирост	Высокая миграционная активность населения.
Рождаемость населения	Высокий уровень рождаемости, низкий уровень смертности. В стратегии изложена необходимость улучшения демографической ситуации города.
Численность населения	
Доля населения, имеющая среднее и высшее образование	В городе отсутствуют квалифицированные кадры. Одной из целей стратегии развития является повышение уровня образования и подготовка квалифицированных специалистов.
Ожидаемая средняя продолжительность жизни	Высокая заболеваемость в связи с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Цель стратегии: повышение качества медицинской помощи.
Заболеваемость населения	
Строительство жилья	Проблемой города является старение жилого фонда. Задачи: развитие жилищно-коммунального хозяйства и комфортных условий проживания.
Число людей, проживающих в ветхих домах	
Протяженность автомобильных дорог	Недостатком города является трудности при эксплуатации дорог, обусловленные сложными инженерно-геологическими условиями.
Оборот туризма	В стратегии отмечается наличие потенциала для развития туризма. Однако, отсутствует общая концепция его развития.
ВМП на душу населения	Сильной стороной является развитый металлургический комплекс. Одной из целей стратегии является модернизация старых и создание новых промышленных предприятий.
Оборот производственной деятельности	
Оборот торговли	Сильными сторонами города является развитие предприятий торговли современного формата, интенсивное развитие торговых сетей.
Потребление электрической энергии	В стратегии изложена необходимость в создании условий для комфортного проживания, которые включают водоснабжение и водоотведение, электроснабжение, благоустройство территорий.
Потребление воды	
Качество воды	Одной из целей стратегии является создание благоприятной окружающей среды.
Качество атмосферного воздуха	Слабой стороной города является большое количество выбросов в атмосферу от стационарных источников.
Затраты на охрану окружающей среды	Для формирования сбалансированной городской среды необходимо обеспечить благоприятную экологическую обстановку.
Образовано за год ТКО	Проблема: отсутствие мусоросжигательных заводов и несанкционированные свалки.

Достоинством концепции социально-экономического развития г. Норильска является комплексность оценки внутренней и внешней среды города. Основными недостатками концепции является отсутствие иерархии сильных и слабых сторон территории, наличие противоречий. Сильные и слабые стороны города, выделенные методом SWOT-анализа, равны между собой по значимости, что не соответствует действительности.

В ходе анализа концепции были выделены следующие приоритетные цели: модернизация промышленных предприятий, сокращение негативного воздействия на окружающую среду, создание качественной транспортной и социальной инфраструктуры, улучшение качества жизни населения.

Для определения стратегии устойчивого развития г. Норильска было проведено моделирование социо-эколого-экономической системы города. Для графического представления модели был создан ориентированный граф, вершинами которого являются ранее отобранные индикаторы устойчивого развития (Рисунок 1). В левой верхней части орграфа находятся социальные индикаторы устойчивого развития, в правой верхней части расположены экономические показатели, в нижней части – экологические.

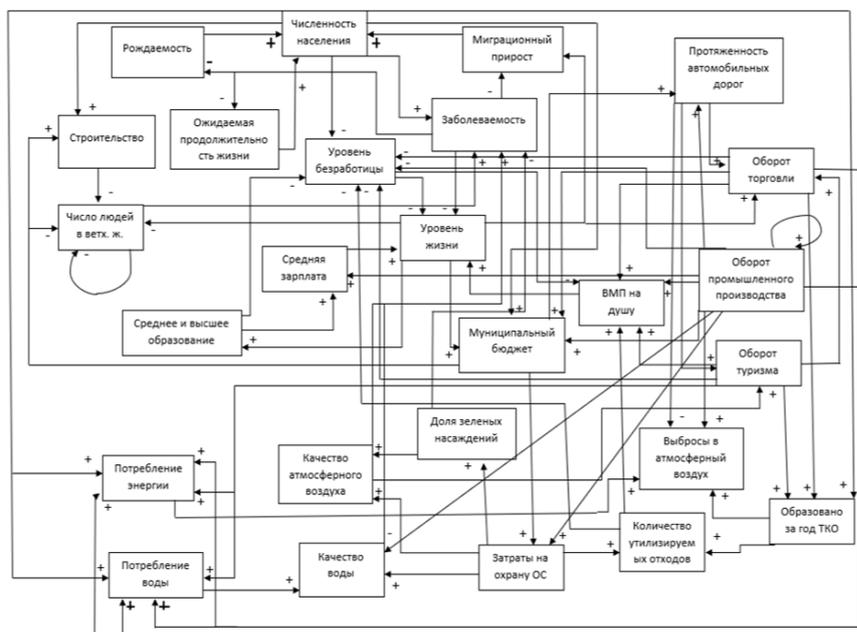


Рисунок 1. Ориентированный граф, описывающий социо-эколого-экономическую модель г. Норильска (составлено автором)

Существенным элементом математических моделей являются графы. Их используют для наглядного представления взаимодействия между элементами системы. Граф представляет собой систему из множества вершин и линий. Вершины отражают элементы исследуемого объекта, а линии соединяют их и отражают взаимосвязь. Если в системе рассматриваются упорядоченные пары элементов, то линии называются дугами, которые изображаются стрелками от вершины к вершине. В таком случае граф называется ориентированным графом или оргграфом [1].

Дуги орграфа показывают прямые связи между показателями. Каждой дуге присвоен знак плюс или минус. Знаки показывают какое влияние показатели оказывают друг на друга. Плюс присваивается, если увеличение значения начального показателя вызывает возрастание значения конечного показателя дуги. Минус присваивается, если увеличение значения начального показателя вызывает уменьшение значения конечного показателя дуги.

При анализе составленного ориентированного графа было выявлено, что основным приоритетом развития города является увеличение оборота промышленного производства, что обусловлено градообразующим характером добывающей промышленности. Однако в силу истощаемости добываемых полезных ископаемых, в Норильске необходимо развивать не только горнодобывающую отрасль экономики, но и обрабатывающую промышленность, для чего нужно повышать инвестиционную привлекательность.

Также приоритетом развития является в целом увеличение ВМП, что может быть достигнуто не только за счет развития промышленности, но и путем развития сферы услуг, в том числе туризма.

Выявлен системный кризис г. Норильска, выражающийся в негативном влиянии низкого уровня безработицы на социо-эколого-экономическую систему города. Для устойчивого развития города необходимо увеличивать конкурентность для привлечения квалифицированных специалистов, повышать уровень образованности населения. Решение этой задачи должно стать следствием развития города в указанных выше направлениях – развитие обрабатывающей промышленности и сферы услуг, требующих привлечения квалифицированных специалистов; увеличение миграционной привлекательности города; исключение возможного расчета на привлечение дешевой рабочей силы.

Выявленные приоритеты в целом соответствуют целям существующей стратегии социально-экономического развития.

### **Выводы**

Было описано современное состояние социо-эколого-экономического развития района исследования.

Было отобрано 26 индикаторов устойчивого развития для г. Норильска. Опорой при отборе индикаторов устойчивого развития для Норильска служил базовый набор индикаторов Комиссии ООН. В ходе отбора индикаторов учитывались региональные особенности города, в том числе экологические, существующие цели и задачи развития муниципального образования, применимость индикаторов к оценке городских территорий.

Разработаны ориентированный граф и матрица смежности его вершин для социо-эколого-экономической системы г. Норильска.

### **Библиография**

1. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы. Модели вычислений. Структуры данных / Нижегородский государственный университет. – Нижний Новгород, 2004 – 294 с.
2. База данных муниципальных образований (БД ПМО).
3. Декларация Генеральная ассамблея ООН от 25 сентября 2015 года  
Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года.
4. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Норильск до 2030 года.
5. Кривцов А. И. Минерально-сырьевая база на рубеже веков – ретроспектива и прогнозы. М., 1999. – 144 с.
6. Указ Президента РФ от 01.04.1996 N 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

*Оценка количественных показателей доступности зеленых насаждений для населения  
города Пермь*

*Иванцова В.С.\* (ФГБОУ ВО МГРИ, ivantsova.vi@yandex.ru),  
Мазаев А.В. (ФГБОУ ВО МГРИ, mazaevav@mgri.ru)*

**Аннотация**

В данной статье рассматривается важность зеленых насаждений для устойчивого развития и благополучия крупных мегаполисов. В ней утверждается, что для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития градостроительные системы городов должны включать экологический каркас или природные территории, известные как «зеленый фонд». Зеленые насаждения являются жизненно важными общественными пространствами, где люди взаимодействуют ежедневно, и являются одним из ключевых факторов поддержания благосостояния в городских районах. Положительный опыт, полученный от взаимодействия с зелеными насаждениями, влияет на уровень жизни и, следовательно, на благополучие и устойчивость жизни горожан.

**Ключевые слова**

Геоэкология, озеленение, природный комплекс, здоровьесбережение.

**Теория**

Для поддержания устойчивого развития и экологической безопасности крупных мегаполисов, их градостроительные системы должны включать экологический каркас или природный территории, также известные как «зеленый фонд» [1]. Зеленые насаждения — это жизненно важные общественные пространства, где люди взаимодействуют каждый день, и они являются одним из ключевых факторов поддержания благополучия в городских районах. Преимущества наличия зеленых зон для благополучия получили широкое признание и подробно описываются в современных исследованиях. В связи с ростом урбанизации, жилые районы все чаще расширяются в пригородные зоны, где количество зелени сокращается. В процессе организации городского пространства компании, занимающиеся созданием, и реконструкцией объектов недвижимости должны давать жителям возможность получать положительный опыт за счет размещения разнообразной зеленой среды, которая ведет к физическому, психическому здоровью и здоровому образу жизни.

Зеленые насаждения как средовосстанавливающая система обеспечивает комфортность условий проживания людей в городе, регулирует (в определенных пределах) газовый состав воздуха и степень его загрязненности, климатические характеристики городских территорий, снижает влияние шумового фактора и является источником эстетического восприятия. Функции зеленых насаждений в контексте устойчивого развития урбанизированных территорий играют важную роль в создании экологически устойчивых, социально приемлемых и экономически эффективных городских сред. Основные функции: экологическая, климатическая, социальная, эстетическая, экономическая, здоровьесберегающая.

В последние годы все больше исследований посвящается оздоровительной роли зеленых зон и лесов. Исследования 2019 года [3, 4] показали, что прогулки в лесу и наличие зелени в городе положительно влияют на здоровье людей. Данные из различных стран также свидетельствуют о том, что проживание рядом с зелеными зонами снижает риск преждевременной смерти.

Зеленые зоны являются источником множества экосистемных услуг. Они улучшают качество воздуха в городе, снижая концентрацию вредных веществ и уменьшая шумовое загрязнение от транспорта. Зеленые насаждения помогают снизить эффекты тепловых куполов, которые могут возникать в городах из-за повышенной температуры и влажности. Прогулки в лесу благоприятно сказываются на здоровье. Они помогают улучшить психическое здоровье,

снизить уровень стресса и улучшить качество сна. Регулярные прогулки на свежем воздухе способствуют снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний, нормализация давления и пульса. Также зеленые насаждения способствуют улучшению иммунной системы, снижению уровня кортизола - гормона стресса, и улучшению обмена веществ. Пребывание на свежем воздухе и прогулки по лесу уменьшают вероятность негативных исходов при беременности и способствуют уменьшению числа преждевременных смертей.

В качестве основы при анализе использовался нормализованный относительный индекс растительности (Normalized difference vegetation index, NDVI), оцениваемый по космическим снимкам. NDVI напрямую связан с фотосинтетической способностью и, следовательно, с поглощением энергии растительными покровами. NDVI изменяется от -1 до +1; отсутствие растительности дает значение, близкое к 0; баллы около 0,8-0,9 указывают на максимально возможную плотность зеленых листьев, а баллы близки к -1 указывают на водную поверхность. Было установлено, что риск преждевременной смерти у горожан снижался на 4%, когда показатель NDVI повышался на 0,1 балла. Такое изменение NDVI характерно для буферной зоны в пределах 500 метров от зеленых массивов до места жительства. То есть чем больше зелёных насаждений находится вблизи жилых домов, тем ниже вероятность преждевременной смерти у их жителей, ниже показатели стресса, лучше развиты когнитивные способности у детей и, в целом, лучше показатели здоровья [3].

Жители домов, граничащих с зелеными массивами, имеют больше возможностей проводить достаточное время на природе, тратят меньше времени на дорогу до места прогулок. Транспортная доступность (общее время поездки, включая пешие переходы, от места проживания до места отдыха) для жителей, проживающих в зоне 500 метров от озеленённых территорий, не будет превышать 30 минут. Согласно исследованиям, оптимальное время для пребывания на свежем воздухе составляет 2 часа в неделю. Это помогает поддерживать хорошее самочувствие и снижать уровень стресса. Люди, которые проводят меньше времени на свежем воздухе, не чаще сообщают о хорошем самочувствии, чем те, кто вообще не выходит на улицу [4].

Проведенный ранее анализ по оценке уровня озеленения в пределах плотной застройки в 16 городах-миллионерах России показал, что зеленые насаждения неравномерно распределены по территории городов. Город Пермь занимает лидирующую позицию по уровню озеленения — 35,9 %, при этом обеспеченность населения составляет 53,44 кв.м на человека (рис. 1). Согласно СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» площадь озелененных территорий общего пользования в мегаполисах на одного жителя должна составлять не менее 10 кв.м общегородских зеленых зон, и не меньше 6 кв.м в жилых районах.

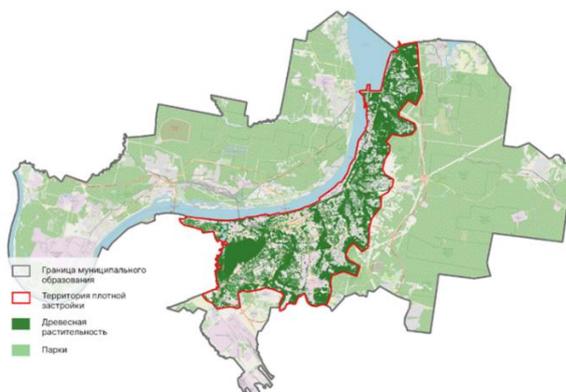


Рисунок 1. Карта-схема распределения древесной растительности в пределах плотной застройки г. Пермь

Таблица 1

Результат расчета обеспеченности зелеными насаждениями в пределах плотной застройки г. Пермь

Город	Площадь города в пределах плотной застройки, кв.км	Население, млн.чел	Площадь зеленых насаждений, кв.км	Обеспеченность зеленых насаждений, кв.м/чел
Пермь	152,987	1,02	54,88	53,44

Для определения обеспеченности жителей города Пермь «зеленым фондом», а также повышенного риска возникновения заболеваний из-за нехватки зеленых насаждений и снижения времени пребывания в зеленых зонах был взят показатель в 500 метров от крупных зеленых массивов (рис. 2). Уровень озеленения в крупных городах должен составлять около 20-30% площади, а нормы обеспеченности насаждений на одного жителя – около 24 кв.м/чел. [2]. При расчетах учитывались только крупные зеленые массивы, в расчет не принимались мелкие скверы, бульвары, сады и т.д.

Таблица 2

Результат расчета обеспеченности зелеными насаждениями

Город	Численность населения, млн.чел.	Площадь урбанизированной территории, кв.км.	Площадь зеленой территории, кв.км.	Площадь рядом с озелененной, кв.км.	Площадь, удаленная от озелененной, кв.км.	Количество людей, обеспеченные зеленой	Количество людей, не обеспеченных зеленой
Пермь	1,02	416	384	118	196	215 309	804 691

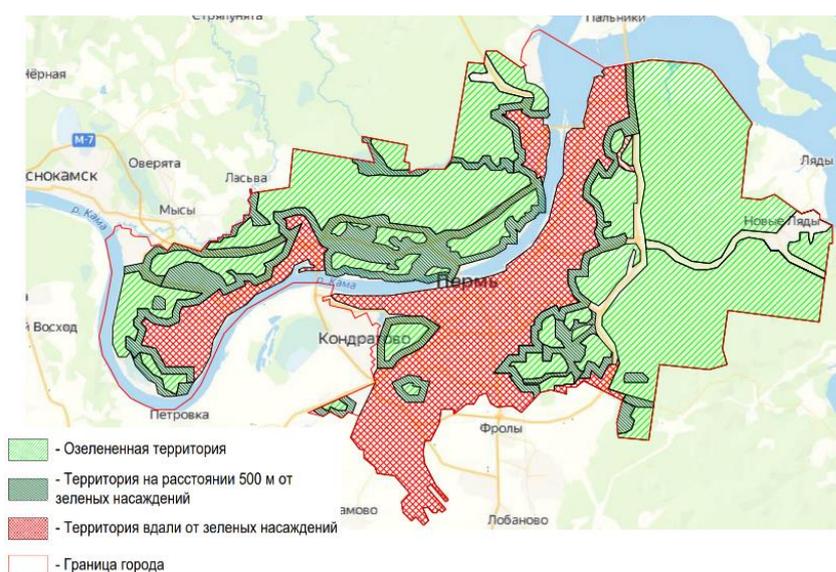


Рисунок 2. Карта г. Пермь с указанием территорий, находящихся вдали от крупных массивов.

### **Выводы**

Проведенные расчеты показали, что даже в таких обеспеченных зелеными насаждениями городах как Пермь большая часть жителей может проживать в зоне риска, то есть за пределами 500-метровой «буферной зоны» от крупных лесопарков: для города Пермь 21% жителей проживают в 500-метровой от зеленых массивов зоне и 79% - вне ее. Большая часть жителей не обеспечена должным образом зелеными насаждениями, и именно на таких жилых территориях необходимо применять первоочередные меры по озеленению городских пространств.

### **Библиография**

1. Мазаев А.В., Экзарьян В.Н. «Анализ динамики и оценка современной рекреационной нагрузки на зеленый фонд города Москвы». Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 9: Сборник статей IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции/ Сочи: ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Донской издательский центр, 2022. 456 с. ISBN 978-5-6047416-6-5 С. 282-292
2. Юскевич Н.Н., Лунц Л.Б. «Озеленение городов России» - Москва: Россельхозиздат, 1986 - с.158
3. David Rojas-Rueda, Mark J Nieuwenhuijsen, Mireia Gascon, Daniela Perez-Leon, Pierpaolo Mudu. Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies. Lancet Planet Health 2019; 3: 469–77
4. Urban trees found to improve mental and general health. // URL: <https://www.uow.edu.au/media/2019/urban-trees-found-to-improve-mental-and-general-health.php> (дата обращения 13.03.2024)

***Особенности объектного мониторинга водных систем  
в районе медно-никелевого производства***

***Кутейникова Д.М.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, darya.kuteko@inbox.ru),  
Хлебосолова О.А. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, hlebosolovaoa@mgri.ru)***

**Аннотация**

В работе рассматриваются проблемы организации мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства, обусловленные недостаточным нормативно-правовым сопровождением деятельности. Предложено создание специальной методики объектного мониторинга состояния водных систем с учетом особенностей загрязнения (химического состава, степени и динамики загрязнения). Обсуждаются предложения по организации мониторинга водной системы «Река Колосйоки – озеро Куэтсъярви», расположенной в районе действия Кольской ГМК (Печенгский муниципальный округ Мурманской области).

**Ключевые слова**

Мониторинг водных систем, медно-никелевое производство, река Колосйоки, озеро Куэтсъярви, Кольская ГМК.

**Теория**

Центры добычи и переработки меди и никеля в пределах Российской Федерации характеризуются существенными различиями в местоположении, истории открытия и эксплуатации. Вместе с тем, медно-никелевое производства всегда характеризуется существенным воздействием на все компоненты природной среды: формируются карьеры, шахты, отвалы, хвостохранилища, отстойники; в атмосферный воздух и водную систему поступает большое количество загрязнителей; нарушается целостность почвенного и растительного покрова. Главными загрязнителями водных систем в районе медно-никелевого производства являются тяжелые металлы, опасность которых для человека и биоты связана с их особой токсичностью и способностью к накоплению в живых организмах и илах.

Особенности мониторинга водных систем регламентируются статьей 30 Водного кодекса Российской Федерации [1] и Руководящим документом (РД) 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» [8]. Кроме этих документов существует ряд Федеральных законов, ГОСТов, Руководящих документов и Рекомендаций, в которых прямо или косвенно даются рекомендации и инструкции по проведению мониторинга водных систем.

Наиболее значимым документом, отвечающим на вопросы об объектном мониторинге водных систем в районе медно-никелевого производства, является РД 52.24.618-2000 Методические указания «Организация и функционирование системы специальных наблюдений за состоянием природной среды в районах развития металлургического производства». В нем изложены методико-методологические основы организации и функционирования мониторинга за загрязнением объектов природной среды в районах горнорудного производства и металлургического производства черных и цветных металлов [7].

Следует отметить, что 28 марта 2022 года приказом Росгидромета этот РД был отменен без замены «в целях совершенствования организации и проведения режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» [5]. Вместе с ним этим же приказом был отменен РД 52.24.564-96 «Метод оценки загрязненности пресноводных экосистем по показателям развития фитопланктонных сообществ» [2]. Этот документ также описывал методы оценки и анализа состояния водных объектов, которые можно было использовать для объектного мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства. Это обусловлено тем, что помимо аккумуляции тяжелых металлов в тканях гидробионтов состояние фитопланктонных сообществ является важнейшим показателем экологической обстановки, а на основе

таксономического состава фитопланктона производится оценка качества вод с определением ее класса на основе индекса сапробности [4].

В настоящее время при отсутствии какого-либо документа, регламентирующего мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства (подобного РД 52.24.618-2000), представляется целесообразной разработка нового положения, которое было бы полнее и точнее отмененного. Вместе с тем, в качестве основы для организации мониторинга водных систем и разработки предложений по внедрению новых подходов может использоваться прежний РД.

Анализ и оценка состояния водных систем должны учитывать особенности загрязнения (химический состав, способы поступления загрязнения в водные объекты, пути его миграции, динамику и степень загрязнения), а также местные особенности территории и акватории. Это необходимо для получения более информативных и достоверных сведений о водных объектах и своевременной разработке управленческих решений по конкретной ситуации. Задачи и функции объектного мониторинга водных объектов, загрязненных тяжелыми металлами (включая медь и никель), должны быть сформулированы таким образом, чтобы можно было проследить ведь путь элементов-загрязнителей от их источника до объекта-приемщика и накопителя. Наблюдаемыми показателями в этом случае становятся загрязняющие элементы, морфометрические характеристики водного объекта и берегов, донные отложения и их состав, а также состав вод.

Специальные наблюдения за загрязнением следует проводить, в первую очередь, на водных объектах, имеющих важное водохозяйственное значение. К таким объектам относится водная система «Река Колосйоки – озеро Куэтсъярви», расположенная в Печенгском муниципальном округе Мурманской области, поскольку загрязнения, принимаемые этой системой, попадают в реку Паз, имеющую большое хозяйственное значение, и далее в Баренцево море.

Отбор проб воды следует проводить в пунктах существующей сети режимных наблюдений. Дополнительные пункты отборы должны устанавливаться в местах поступления основной массы загрязняющих веществ от всех источников загрязнения [7]. Источником загрязнения для рассматриваемой системы «Река Колосйоки – озеро Куэтсъярви» являются ныне закрытый плавильный цех комбината Кольской ГМК, хвостохранилища и отстойники. В существующей системе мониторинга за загрязнением данной системы отсутствуют дополнительные пункты наблюдений, хотя их наличие представляется необходимым: в реку Колосйоки впадает река Малая Колосйоки, воды которой являются концентрированной смесью загрязнителей, так как река берет свое начало из болота вблизи отстойников хвостохранилища комбината (рис. 1).

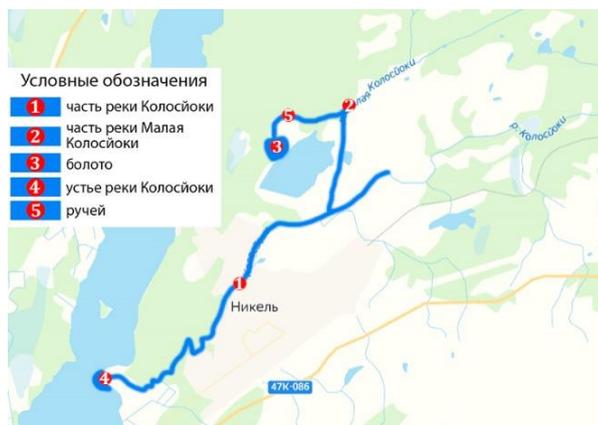


Рисунок 1. Водная система «Река Колосйоки - озеро Куэтсъярви» с впадающей в нее рекой Малая Колосйоки и болотом

Решение об установлении дополнительных пунктов наблюдения должно приниматься на каждой водной системе отдельно, в зависимости от местных особенностей. Наблюдения за состоянием реки Колосйоки следует организовать в двух пунктах – 14,7 км выше пгт Никель и в устье реки [3]. Мы предлагаем дополнить количество пунктов еще как минимум одним, расположенным в месте впадения реки Малая Колосйоки в Колосйоки для отслеживания состава стока и количества поступающих с ним загрязнений.

Мониторинг водных систем в районе медно-никелевого производства должен включать в себя, не только акваторию, но и весь долинный комплекс, в который входит прибрежная территория. В настоящее время такой мониторинг осуществляется по Р 52.24.788-2013 «Организация и ведение мониторинга водных объектов за состоянием дна, берегов, изменениями морфометрических особенностей, состоянием и режимом использования водоохраных зон, водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений», который не отвечает условиям медно-никелевого производства [6]. Особенности медно-никелевого производства таковы, что в процессе работ образуются шлаковые отвалы, которые по естественным или искусственным причинам попадают в водные объекты, а также оседают на их берегах, что отрицательно сказывается на состоянии почв и прибрежной растительности. Для того, чтобы избежать всех негативных последствий, предлагается расширить систему мониторинга наблюдением за состоянием берегов с точки зрения из зашлакованности. Это позволит оценить скорость и интенсивность загрязнения берегов, идентифицировать и оценить потенциальную опасность таких изменений на прибрежных территориях водных объектов, оценить влияние осаждения шлаков на берегах на скорость и интенсивность линейной и береговой эрозии, заболачивания и подтопления берегов; разработать методы очистки прибрежной территории от шлаков.

В системе мониторинга водных объектов в районе медно-никелевого производства по РД 52.24.618-2000 не учитывалась биотическая часть. Фито- и зоопланктон являются важными показателями качества воды, по ним можно судить об эвтрофикации и токсичности водной системы. Кроме того, эти данные были бы показательны для мониторинга восстановления водных систем, так как чувствительные к загрязнению «грубые» фильтраторы играют большую роль в процессе самоочищения воды. Их целенаправленное изучение в пробах воды может помочь в оценке степени загрязнения водной системы и разработать методов по её восстановлению.

### **Выводы**

Проведение мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства представляет собой существенную проблему, поскольку он проводился по методике, единой для всех металлургических предприятий страны, а в настоящее время нормативно-правовое регулирование этой деятельности не подкреплено соответствующими документами. Кроме того, в настоящее время не существует общей базы данных по различным природным зонам и субъектам РФ.

Представляется целесообразной разработка специальной методики объектного мониторинга водных систем для районов медно-никелевого производства, учитывающей специфику загрязнения, которое поступает в водные объекты, способы и пути его миграции (через естественную или искусственную систему), степень загрязнения и динамику.

Изучение проблемы организации мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства на примере загрязненных территорий в районе действия Кольской ГМК показывает, что при недостатке данных следует создать специальную программу, в которой будет увеличено количество пунктов наблюдений, включено ведение наблюдений за состоянием берегов и мониторинг биоты.

### **Библиография**

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023) [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_60683/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/), (дата обращения 08.03.2024).
2. Денисов Д.Б. Фитопланктон водоемов Мурманской области в зонах влияния металлургической промышленности [Электронный ресурс]. – URL: [https://inep.ksc.ru/documents/30\\_trudy\\_4\\_19%20\(1\).pdf](https://inep.ksc.ru/documents/30_trudy_4_19%20(1).pdf), (дата обращения 08.03.2024).
3. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2022 году [Электронный ресурс] – URL: <https://gov-murman.ru/region/environmentstate/>, свободный (дата обращения 09.03.2024).
4. Зубова Е.М., Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М., Черепанов А.А. Долговременная динамика основных компонентов экосистемы озера Куэтсъярви (система реки Пасвик, Мурманская область) 2020 [Электронный ресурс] – URL: [https://www.researchgate.net/publication/339211899\\_DOLGOVREMENNAA\\_DINAMIKA\\_OSNOVNYH\\_KOMPONENTOV\\_EKOSISTEMY\\_OZERA\\_KUETSJARVI\\_SISTEMA\\_REKI\\_PASVIK\\_MURMANSKAA\\_OBLAST](https://www.researchgate.net/publication/339211899_DOLGOVREMENNAA_DINAMIKA_OSNOVNYH_KOMPONENTOV_EKOSISTEMY_OZERA_KUETSJARVI_SISTEMA_REKI_PASVIK_MURMANSKAA_OBLAST), (дата обращения 08.03.2024).
5. Приказ Росгидромета № 111 от 28.03.2022 «Об отмене руководящих документов и рекомендаций Росгидромета» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/upload/iblock/407/%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20E2%84%96%2011%D0%BE%D1%82%2028.03.2022.pdf>, (дата обращения 08.03.2024).
6. Р 52.24.788-2013 Организация и ведение мониторинга водных объектов за состоянием дна, берегов, изменениями морфометрических особенностей, состоянием и режимом использования водоохраных зон, водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110274>, (дата обращения 08.03.2024).
7. РД 52.24.618-2000 Методические указания. Организация и функционирование системы специальных наблюдений за состоянием природной среды в районах развития металлургического производства [Электронный ресурс]. – URL: <https://law.rufox.ru/view/standarti/2404.htm>, (дата обращения 08.03.2024).
8. РД 52.24.309-2016 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/495872993>, (дата обращения 08.03.2024).

*Геоэкологическая оценка современного состояния  
подземных вод Смоленской области*

*Носов Д.А.\* (МГРИ, cat1987n9@yandex.ru),  
Щерба В.А. (МГРИ, shcherba\_va@mail.ru)*

**Аннотация**

В статье дана геоэкологическая оценка современного состояния подземных вод Смоленской области. По материалам производственной практики более детально изучены подземные воды Сафоновского района Смоленской области. Подземные воды на территории Смоленской области в целом соответствуют нормам, установленным СанПиН 1.2.3685-21, вместе с тем фиксируется повышенное содержание железа и стронция, что обусловлено особенностями эксплуатации водоносных горизонтов. В связи с этим, для доведения добываемой воды до норм питьевого качества по всем показателям необходима организация системы водоподготовки.

**Ключевые слова**

Подземные воды, водоносный горизонт, геоэкологическая оценка, водозабор, стронций, железо.

**Теория**

Подземные воды являются одновременно и частью недр, и частью общих водных ресурсов. Они используются в экономике и социальной сфере для хозяйственно-бытового и питьевого водоснабжения населения и представляют собой ценный природный ресурс. В условиях постоянно возрастающей нагрузки на окружающую среду и интенсивного загрязнения поверхностных вод расширение использования подземных вод не имеет альтернативы [4]. Известно, что химический состав питьевых вод и содержащихся в них различных примесей определяет степень ее пригодности. Многие заболевания на 70-90% связаны с потреблением некачественной питьевой воды. Региональное их распространение в различных геохимических провинциях обусловлено разнообразием природных и антропогенных факторов [2].

Инженерно-хозяйственные комплексы занимают значительные территории и различаются по степени освоения подземной гидросферы. Интенсивность антропогенной нагрузки обусловлена постоянным и длительным их функционированием. Специфическое воздействие локальных источников на подземные воды проявляется в своеобразном сочетании загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах, составе сточных вод, и технологическом процессе [1].

На территории Смоленской области питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение полностью осуществляется за счет подземных вод. Эксплуатируются в основном горизонты и комплексы верхнедевонских отложений, в меньшей степени – нижнекаменноугольных, в небольших объемах используются подземные воды четвертичных и меловых водоносных комплексов. В результате многолетней интенсивной эксплуатации подземных вод в городах Смоленске, Десногорске, Сафонове, Гагарине сформировались локальные депрессионные воронки. Границы депрессий не установлены в связи с недостаточным охватом территории наблюдательной сетью. В районе г. Смоленска депрессионная воронка сформирована в водоносном среднефаменском комплексе. Наибольшее понижение уровней отмечается в районе Бабьегорского и Верхне-Ясенного водозаборов и составляет 28 м и 31 м соответственно, что не превышает допустимых значений.

В настоящее время все водозаборы области работают в установившемся режиме. Гидрохимическое состояние подземных вод на территории области характеризуется повышенным содержанием в подземных водах железа и превышением ПДК по общей жесткости, имеющих природное происхождение. К верхнедевонским (озерско-хованским) отложениям приурочена крупная стронциеносная провинция, поэтому повышенные содержания стронция (до

3-6 и более ПДК) являются одной из основных проблем при решении задач питьевого водоснабжения. Наиболее высокое содержание стронция отмечается в плавско-хованском водоносном горизонте в Дорогобужском, Сафоновском и Ярцевском районах. Загрязнение основных водоносных горизонтов и комплексов связано, в основном, с подтягиванием некондиционных природных вод. Загрязнение подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов и комплексов от техногенных источников на территории области не установлено [3].

Результаты исследований, проведенных гидрогеологами, свидетельствуют о том, что пространственно-временное изменение концентраций  $Str^{2+}$  в подземной гидросфере определяется сочетанием природных и антропогенных факторов. Среди природных факторов наиболее значащим является наличие целестина и стронцианита в карбонатных толщах. Доминирующее значение среди антропогенных факторов имеет водоотбор, нарушающий энергетический и водный баланс в подземной гидросфере. Многолетнее воздействие водоотбора проявляется в усилении водообмена в эксплуатируемых водоносных горизонтах каменноугольного возраста и приводит к нарушению физико-химических равновесий в водоносной системе, способствуя увеличению концентраций данного элемента в подземной гидросфере. Количественные медико-биологические оценки риска для различных токсикантов позволили установить, что наиболее негативное воздействие наблюдается по стронцию (0,14 мг/кг) [6].

Рассматриваемый участок недр расположен в посёлке Шахта-3 города Сафоново Смоленской области. На участке недр расположен водозабор, состоящий из одной рабочей скважины ГVK 66200224 и одной резервной – ГVK 66200225. Изучаемый район характеризуется достаточно интенсивной эксплуатацией подземных вод. В районе города Сафоново существующее водоснабжение полностью базируется на подземных водах водоносного плавско-хованского карбонатного горизонта. На изучаемой территории имеется 7 групповых и 14 одиночных водозаборов. Около 80% питьевых, хозяйственно-бытовых и технических потребностей города обеспечивается за счет водозаборов МУП «Водоканал». В геоморфологическом отношении водозабор ФКУ ИК-3 УФСИН России по Смоленской области расположен на водоразделе рек Вопец и Быстренка, относящихся к бассейну Днепра. Ближайшим водотоком к участку недр является река Вопец, протекающая в 900 м юго-западнее водозабора. Абсолютные отметки поверхности земли в пределах участка недр составляют 220-225 м [3].

Водоносный плавско-хованский карбонатный горизонт в пределах участка недр можно охарактеризовать как надежно защищенный, так как он перекрывается толщей слабопроницаемых отложений: суглинков четвертичной системы и глин каменноугольной системы. Общая мощность водоупорных пород в разрезе скважин составляет 77,5-80 м. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из вышележащих водоносных горизонтов.

Формирование химического состава подземных вод на рассматриваемой территории (в том числе водоносного плавско-хованского карбонатного горизонта) происходит под влиянием естественных условий водообмена. Качество подземных вод данного горизонта изучено по результатам анализов проб воды по водозаборам города Сафоново и его окрестностей. Регулярные анализы воды также проводятся и на рассматриваемом водозаборе. По изучаемому району наблюдается превышение нормы железа в водах водоносного плавско-хованского карбонатного горизонта, на содержание которого влияет переток в зонах питания целевого горизонта из водоносных горизонтов четвертичной системы, содержащих железо органического происхождения. Также характерной особенностью данного водоносного горизонта является высокое содержание стронция. Этим отличаются и подземные воды нижележащего лебедянского горизонта. Причиной высокой концентрации стронция является целестиновая минерализация,

которая развита в загипсованной толще в низах разреза лебедянского горизонта, где за счет изоморфного замещения кальция на стронций происходило длительное накопление целестина.

По результатам наблюдений за качеством подземных вод на рассматриваемом водозаборе за период 2016-2022 гг. выявлено превышение норм питьевого качества по нескольким показателям (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика качества воды водоносного плавско-хованского карбонатного горизонта за 2016-2022 гг.

Показатели качества	Единица измерения	ПДК по СанПиНу 1.2.3685-21 [5]	Фактическое содержание
Запах	Балл	$\leq 2$	0-1
Привкус	Балл	$\leq 2$	0-1
Цветность	Градус	$\leq 20$	0,63-15,2
Мутность	мг/л	$\leq 1,5$	< 0,2-10,2
Окисляемость	мгО <sub>2</sub> /л	$\leq 5$	0,42-0,8
рН	ед.	6-9	7,38-7,94
Сухой остаток	мг/л	$\leq 1000$	416-475,8
Общая жесткость	мг-экв/л	$\leq 7$	6,5-8,5
Железо	мг/л	0,3	< 0,1-1,22
Медь	мг/л	$\leq 1$	0,001-0,19
Сульфаты	мг/л	$\leq 500$	10,5-60,2
Нитриты	мг/л	$\leq 3$	< 0,003-0,021
Фторид-ион	мг/л	$\leq 1,5$	< 0,1-1,53
Ртуть	мг/л	$\leq 0,0005$	< 0,00001
Свинец	мг/л	$\leq 0,01$	< 0,002-0,0029
Стронций	мг/л	$\leq 7$	18,4-44,2

Превышения показателей мутности (до 10,2 мг/л) и железа (до 1,22 мг/л) наблюдаются в отдельных пробах и, вероятно, больше связаны с нарушением методики отбора проб воды, а также, с прерывистым режимом эксплуатации водозабора в последние годы и застоем воды в стволе скважины. Более устойчивый характер имеет содержание в подземных водах водоносного плавско-хованского карбонатного горизонта стронция, а также превышение общей жесткости. По результатам имеющихся анализов, за последние 7 лет содержание стронция выше нормы в 2,6-6,3 раза (18,4-44,2 мг/л). Превышение нормы общей жесткости наблюдается не во всех пробах (в наличии результаты от 6,5 мг-экв/л), но присутствует регулярно до 1,2 раза (до 8,5 мг-экв/л). Также имеется разовое незначительное превышение содержания фторидов – 1,53 мг/л (норма – 1,5 мг/л). Остальные показатели химического состава подземных вод соответствуют нормативным показателям.

Целевой водоносный плавско-хованский горизонт в районе Сафоново широко эксплуатируется и содержит пресные воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с сухим остатком 0,3-0,5 г/л. Общая жесткость обычно не превышает нормы (7 мг-экв/л), либо имеет небольшие превышения. Органолептические свойства воды удовлетворительные, вода прозрачная, без запаха и вкуса, основные микрокомпоненты содержатся в допустимых концентрациях. В целом, качественные показатели подземных вод водоносного плавско-хованского горизонта отвечают нормативам СанПиНа 1.2.3685-21, за исключением повышенного содержания железа и стронция стабильного (до 10 мг/л) в отдельных водозаборных скважинах в отдельные временные периоды. Качество подземных вод водоносного плавско-хованского

карбонатного горизонта на целевом участке недр в процессе эксплуатации сохранится. Этому благоприятствуют геолого-гидрогеологические условия. Скорее всего, превышения норм качества воды по показателям железа, стронция и жесткости будут наблюдаться и в дальнейшем. Поэтому эксплуатация водозабора на целевом участке недр возможна только при условии организации водоподготовки.

### **Выводы**

Подземные воды на территории Сафоновского района Смоленской области в целом соответствуют нормам, установленным СанПиН 1.2.3685-21, однако фиксируется повышенное содержание железа и стронция, что обусловлено особенностями водоносного горизонта. Поэтому для доведения добываемой воды до норм питьевого качества по всем показателям необходима организация системы водоподготовки.

### **Библиография**

1. Дементьев Л.Ф. Системные исследования в нефтепромышленной геологии. М.: Недра, 1988. – 203 с.
2. Злобина В.Л., Медовар Ю.А. Количественная оценка рисков подземных вод. Матер. Межд. научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2009». – М.: Изд-во РУДН, 2009. – Т. 2. – С. 131-134.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году. Вып. 45. М.: ФГБУ «Гидроспецгеология», 2022. – 414 с.
4. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – 28 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 28.02.2024).
6. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. Монография – М.: Мир науки, 2017. – 191 с.

*Оценка современного состояния лесов Мещеры после пожаров с использованием  
материалов дистанционных методов зондирования*

*Попов И.С. \* (МГРИ, sunpade@gmail.com),  
Слащева А.В. (МГРИ, slashchevaav@mgri.ru)*

**Аннотация**

Целью данного исследования является анализ динамики современного состояния лесов Мещеры после пожаров на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса.

**Ключевые слова**

Дистанционное зондирование Земли, лесные ресурсы, картографирование, лесные пожары.

**Теория**

Космические средства наблюдения Земли являются одним из наиболее эффективных методов для получения информации о состоянии земного покрова, океана и атмосферы, что подтверждается многолетними успешными работами в данной области. Эти работы привели к значительному прогрессу в развитии методов и технологий дистанционного зондирования, усилению их роли в информационном обеспечении фундаментальных исследований и решении прикладных задач.

В настоящее время в мире разворачиваются масштабные, поддерживаемые на государственном уровне программы глобального мониторинга биологических ресурсов, и прежде всего лесов, на основе принципиально новых технологий дистанционного зондирования Земли из космоса.

Леса России относятся к важнейшей составляющей биоресурсного потенциала, занимая более 49% площади земель страны и около 20% общей площади лесного покрова планеты

Разработанные в этом столетии методы и технологии открыли новую эру спутникового зондирования растительного покрова и позволили создать принципиально новые автоматизированные системы для работы с огромными массивами данных дистанционных наблюдений. В начале 2000-х годов была создана в рамках международного проекта GLC2000 по данным спутникового инструмента SPOT-VEGETATION карта наземных экосистем Северной Евразии, нашедшую широкое применение в нашей стране и за рубежом. Эта карта и опыт ее создания послужили отправной точкой для формирования в нашей стране новой научной школы автоматизированного спутникового картографирования наземных экосистем, успешно развивающейся в настоящее время.

Разработанные к настоящему времени технологии работы с данными ДЗЗ позволили создать уникальный сервис ВЕГА-SCIENCE [2], используемый в различных научных проектах для решения задач мониторинга растительного покрова. Основной задачей ВЕГА-SCIENCE является обеспечение удобного доступа к данным ДЗЗ и предоставление различных инструментов анализа спутниковых данных и результатов их обработки. Пользователям сервиса ВЕГА-SCIENCE доступны ежедневно пополняемые архивы спутниковых данных различных спутниковых систем, в том числе данные спутников Terra, Aqua, Landsat, Метеор М, Sentinel 1, Sentinel 2 и др. [1]

Использование автоматизированных технологий позволило создать по данным MODIS временной ряд ежегодных карт растительного покрова России и получить уникальную информацию о динамике лесов сначала 2000 годов. Анализ полученного временного ряда спутниковых карт позволило создать по данным MODIS временной ряд ежегодных карт растительного покрова России и получить уникальную информацию о динамике лесов текущего столетия. Анализ полученного временного ряда спутниковых карт позволил, в частности, выявить существенное сокращение покрытой лесом площади нашей страны и установить, что в

динамике породной структуры лесов наблюдается снижение доли хвойных и рост участия лиственных лесов.

На основе карты растительного покрова по данным MODIS проведем массовую оценку лесных площадей на территории Мещерского края. Оценивая состав леса его изменения до и после пожаров. [4]

Динамика изменения состава леса представлена на рис.1,2.

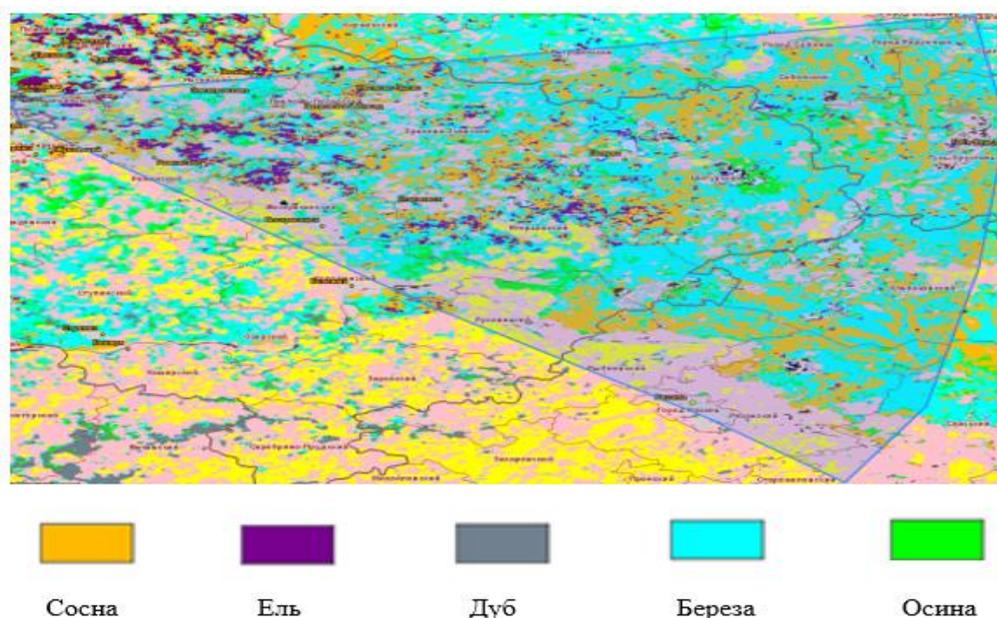


Рисунок.1. Карта растительного покрова по данным Landsat. М 1:500000

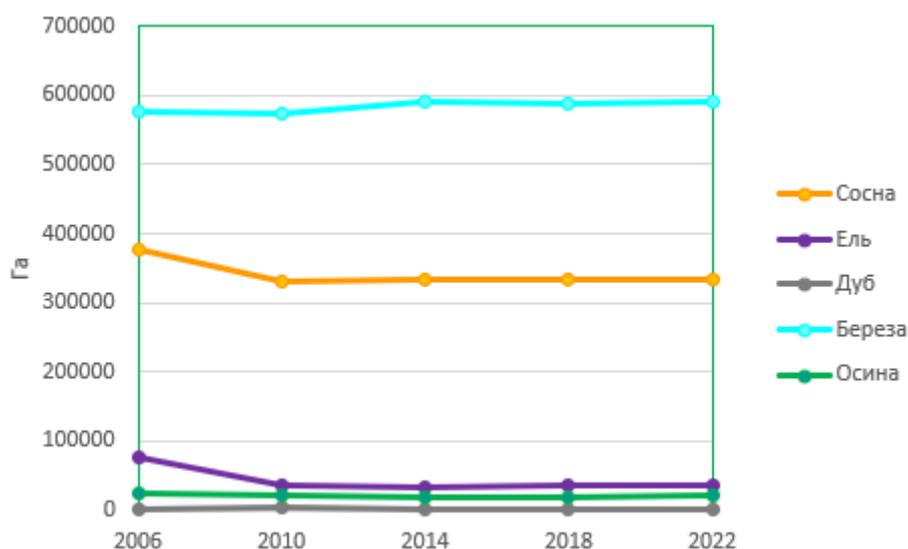


Рисунок.2. Динамика изменения площадей лесобразующих пород

Породный состав деревьев, произраставших на территории до и после пожара показан на рис 3.



2006 г. 2014 г.

Рисунок. 3. Породный состав леса в 2006 г. и 2014 г.

Сокращение площадей леса относится к последствиям природных пожаров в 2010 году, информация о которых, свидетельствующая об увеличении в этот же период необлесенных гарей приведена на рис 4,5,6. [3]



Рисунок. 4. Гары на территории Мещерского края в 2010 г. М 1:500000

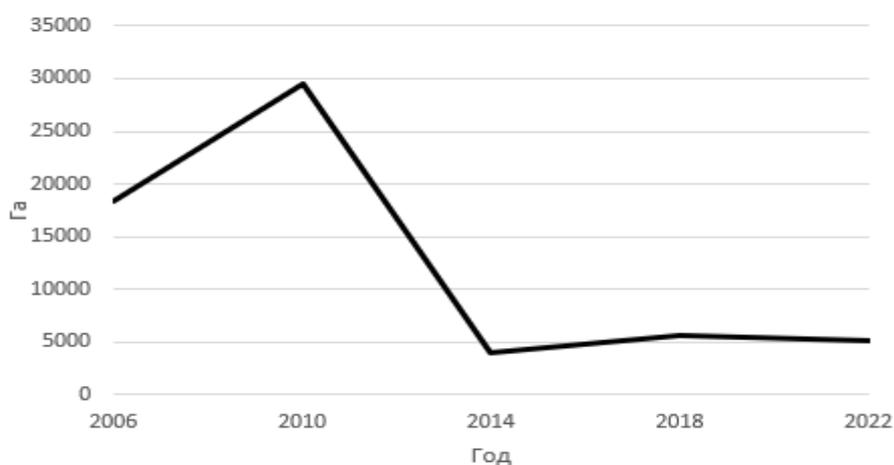


Рисунок.5. Динамика изменения площадей гары

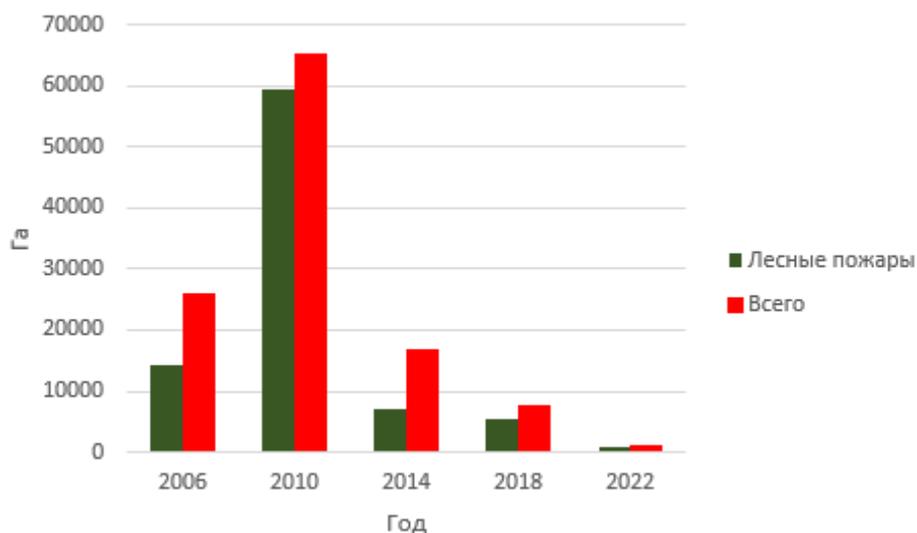


Рисунок. 6. Пройденные огнем площади в зоне космического мониторинга

### Выводы

Приведенные примеры убедительно свидетельствуют о широких возможностях системы BEGA-SCIENCE, позволяющие по данным ДЗЗ производить анализ получаемой информации о состоянии и динамике исследуемого объекта. Имеющиеся в системе данные о горении лесов на неохраямых территориях наглядно демонстрируют резкий рост площади пожаров в 2010 году, требующий учета при дальнейшей организации охраны лесов региона. В этом году выявлен наибольший процент (92%) соотношения лесных пожаров к общим на исследуемой территории. Несмотря на значительный объем пожаров породной состав леса не подвергался сильной трансформации. Доля присутствия ели до и после пожара снизилась с 7% до 4%. сосны - с 36% до 34%, а процент содержания березы увеличился с 55 до 60%. количество деревьев пород дуба и осины практически не изменилось. Наибольшая площадь гарей наблюдалась в 2010 году и составила 30000 га, к 2023 году она снизилась до 500 га. Площадь произрастания сосны до пожара и после снизилась на 12%, а площадь ели- на рекордные 55%. Площадь распространения березы к 2023 году увеличилась на 3%, площади деревьев других пород практически не изменились. Возросшая доля березы говорит о том, что данная территория была подвержена изменению лесообразующего состава, из-за характерного для быстрорастущей березы успешного естественного возобновления. Таким образом, можно установить, что в динамике породной структуры лесов Мещерского края наблюдается снижение доли хвойных и рост участия лиственных лесов.

### Библиография

1. 1 Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. - М.: ИКИ РАН, 2016. - 208 с.
2. 2 Инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sci-vega.ru/maps/>
3. 3 Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Сайгин И.А. Методика ежегодного картографирования необлесенных гарей на основе спутниковых данных.
4. 4 Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS //

*Анализ современных принципов управления трансграничными водными объектами на  
примере реки Иртыш*

*Самойлова П.П.\* (МГРИ, e-mail: polina.samoylova.ecom22@mail.ru),  
соавтор Абрамова Е.А. (МГРИ, e-mail: abramovaea@mgri.ru)*

**Аннотация**

Вода – это основа для существования всего живого, его функционирования и развития. В политической сфере этот стратегический ресурс может являться одновременно как источником крупных конфликтов, так и международного сотрудничества. Для ряда стран дефицит пресной воды стал реальным ограничителем экономического роста, а также источником социальных проблем.

Иртыш, протекающий по территории Китая, Казахстана и России, является важнейшим водным объектом своего региона, от которого зависят жизни множества сотен тысяч людей и экономическое развитие этих стран. При этом из-за своего расположения, водная система Иртыша подвержена множеству экологических проблем и является предметом споров и разногласий.

Для осуществления рационального использования ресурсов реки Иртыш, сохранения её благоприятного экологического состояния и разрешения разногласий между странами необходимо определить истоки этих проблем. Актуальным является изучение причин этих вопросов сегодня – что в последствии может стать ключом к их решению завтра.

**Ключевые слова**

Трансграничные водные объекты, международная деятельность, экологическая защита, управление водными ресурсами.

**Теория**

Трансграничная река – река, которая протекает по территории двух или нескольких государств, пересекает их или разделяет. Классификация трансграничных водных объектов представлена на рисунке 1.

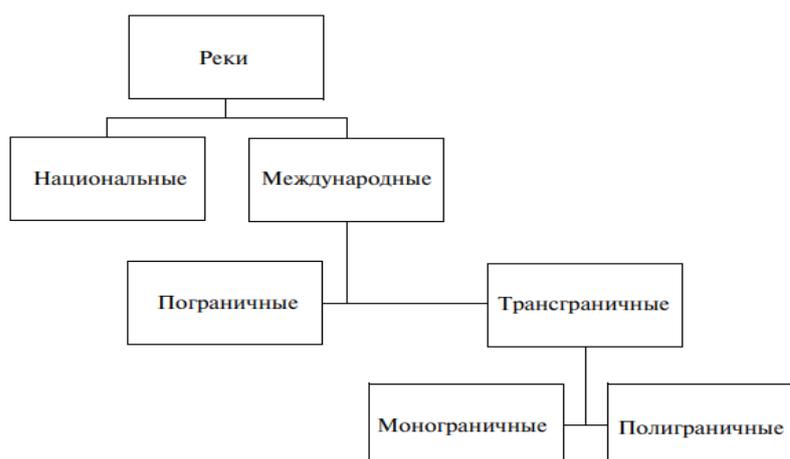


Рисунок 1. Классификация рек по принадлежности разным странам

Иртыш – одна из крупнейших рек России. Свое начало река берет у Китайско-Монгольской границы, протекает по Китаю 593 км, далее по Казахстану 1698 км и попадает в Россию до слияния с Обью на 4248 км.

Основными экологическими проблемами являются:

I. Высокая хозяйственная нагрузка, вследствие увеличения использования ресурсов в производстве и сельском хозяйстве.

На берегах создан крупнейший индустриально-аграрный комплекс и высокий уровень освоенности территории. Здесь размещены 80 городов, 68 ПГТ, 6635 сельских пунктов;

II. Важной проблемой является истощение водных ресурсов Иртыша. Отмечено, что Китай в настоящее время в значительной мере «регулирует» водный сток в верховьях Иртыша, а стратегия его развития, увеличит потребление до 50 % формирующегося на его территории стока (сейчас около 15-20%).

Современный Казахстан также намерен осуществлять опережающий рост в соответствии со стратегией развития до 2050 г. Уже сегодня Иртыш питает водами столицу Астану и г. Караганда. Так на территорию РФ поступает только 31% стока.

III. Загрязнение бытовыми, промышленными, нефтяными отходами. Существенную хозяйственную нагрузку оказывают замусоривание прибрежных зон и хождение грузовых судов. С конца 90-х производственные сбросы увеличились на 65%, что также негативно сказывается на качестве воды.

В пределах России качество воды р. Иртыш с 2018 г. по сей день характеризуется как «загрязненная», до 2017 г. была – «слабо загрязненная». Превышение показателей ПДК р. Иртыш с 2014 по 2021г. в районе г. Тобольск представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели ПДК р. Иртыш в районе г. Тобольск

Вещества/ Год	2014	2017	2019	2021
<b>БПК<sub>5</sub></b>	2,90	1,60	9,60	2,80
<b>ХПК</b>	47,0	30,2	65,1	36,8
<b>Нефтепродукты</b>	2	-	-	-
<b>Фенолы</b>	3	4	3	8
<b>Аммонийный азот</b>	1	1	1	1
<b>Нитритный азот</b>	2	2	1	3
<b>Соединения меди</b>	4	6	31	9
<b>Соединения железа</b>	9	3	6	5
<b>Соединения марганца</b>	12	6	7	30

Международные принципы управления трансграничной рекой Иртыш.

Российско- Казахстанское соглашение определяет принципы отношений между странами «в духе равноправия и партнерства, в целях сохранения, защиты и восстановления ресурсов». В соглашении между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов четко оговорена координация любых работ на трансграничном объекте, а также ответственность и возмещение потерпевшей стороне вреда от осуществления хозяйственной деятельности другой стороны.

В Казахстанско-Китайском соглашении фигурируют «принцип взаимного уважения независимости, суверенитета и территориальной целостности..., равенства и взаимной выгоды», а также «взаимной уступчивости». Соглашение призывает к необходимости «придерживаться

принципов справедливости и рациональности, а также тесно сотрудничать с позиции искренности, добрососедства и дружбы».

В соглашении между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о рациональном использовании и охране трансграничных вод предлагаются иные принципы: «мирного сосуществования, взаимопонимания, справедливого и рационального использования и охраны трансграничных вод с учётом экономических, социальных и демографических факторов». Данное соглашение основано на «проведение дружественных консультаций» и информированию о возможных серьёзных трансграничных загрязнениях, но никак не на конкретных методах регулирования общего вопроса.

Международное управление водными ресурсами реки Иртыш усложняется отношениями с Китайской стороной, которая, находясь в наиболее выгодном географическом положении по сравнению с другими странами, всячески избегает трехсторонних соглашений. Обосновывается данная позиция тем, что Иртыш попадает на территорию РФ на границе с Казахстаном, и правительство Китая не хочет брать на себя ответственность за «чужие» загрязнения. При этом КНР имеет двухсторонние соглашения с каждой стороной по отдельности.

Основные принципы из всех соглашений можно представить в виде таблицы.

Таблица 2

Принципы международного управления рекой Иртыш

Принципы	Россия	Казахстан	Китай
<b>Признание необходимости совместного участия всех заинтересованных сторон</b>	+	+	—
<b>Международное сотрудничество по бассейну</b>	+	+	±
<b>Приоритет экономических и демографических факторов</b>	—	±	+
<b>Взаимной уступчивости</b>	—	±	+
<b>Ответственность за проводимую деятельность</b>	+	+	—
<b>Соглашения носят консультативный характер</b>	—	—	+
<b>Равноправие и партнерство</b>	+	+	—

### **Выводы**

Анализируя принципы международного управления ресурсами реки Иртыш, можно сделать следующие выводы:

-Нижняя часть бассейна, расположенная в пределах РФ, находится в самом невыгодном положении, так как загрязнённые и истощенные воды с территорий других государств, оказывают сильное влияние на главную реку региона – Обь;

-Река испытывает сильную антропогенную нагрузку в верхнем и среднем бассейне, вследствие чего территорию России пересекает уже загрязнённой;

-Межгосударственное трансграничное управление осложняется противоречивыми отношениям с Китайской стороной, не желающей принимать трехсторонние соглашения;

-Соглашения между Россией и Казахстаном вполне соответствуют принципам рационального природопользования, основываясь на сотрудничестве и обязательной взаимной ответственности;

-Все соглашения с Китайской стороной не имеют четких положений, а основаны на содружестве и уступчивости в угоду экономическим и демографическим факторам.

### **Библиография**

1. Алексеевский Н.И., Завадский А.С. Особенности гидрологического мониторинга на участках и в бассейнах международных рек.- Москва, Ленинские горы, 2014. – 151 с. : ил. ; 21 см. – Библиогр.: с. 149–151. – 100 экз. – ISBN 9785-906962-43-0. – Текст : непосредственный.

2. Бурлибаева Д.М., Кисебаев Д.К., Уйсинбайз А.Ж., Чередниченко А.В., Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Динамика стока реки Иртыш в условиях изменения водопользования. -г. Алматы, Казахстан: Университет «Туран», 2017. – 144, [1] с. : ил. ; 29 см. – Библиогр.: с. 131–133. – 110 экз. – ISBN 978-5-9228-1632-8. – Текст : непосредственный.

3. Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А., Пузанов А.А. Трансграничный Иртыш: особенности национального водопользования. Тихоокеанская география № 1.– Москва 2022 ; 21 см. – Библиогр.: с.59–67.– 100 экз. — ISBN 978-5-9973-4489-4. – Текст : непосредственный.

4. Казахстанско-китайское трансграничное водное сотрудничество.- Юрид. сб. № 36. – Ташкент, Науч.-информ. центр МКБК 2015 – 215, [1] с. : портр.; 21 см. – Библиогр. в подстроч. примеч. – Имен. указ.: с. 8-12. – 300 экз. (1-й з-д 1–100). – ISBN 978-5-336-00204-1. – Текст : непосредственный.

5. Мухэтар Айхэмйти Экономика и природопользование в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китая.- Социальная и экономическая география – Новосибирск ; 20 см. – Библиогр.: с. 192–196. – 500 экз. – ISBN 978-5-9909988-3-4. – Текст : непосредственный.

*Создание региональной ООПТ «Никель – Заполярный» для изучения естественного и  
искусственного восстановления березовых редколесий и тундр  
Сосна Е.М.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет  
им. Серго Орджоникидзе», [emsosna@yandex.ru](mailto:emsosna@yandex.ru)),  
Хлебосолова О.А. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет им. Серго Орджоникидзе», [hlebosolovaoa@mgri.ru](mailto:hlebosolovaoa@mgri.ru))*

#### **Аннотация**

В работе рассмотрена проблема расширения региональной сети особо охраняемых природных территорий Печенгского муниципального округа Мурманской области за счет создания новой ООПТ «Никель-Заполярный». Предложено ее создание на нарушенных землях, сформировавшихся за 70 лет вокруг промышленной площадки «Никель» Кольской ГМК. Обсуждается содержание «Материалов экологического обследования» и «Положения о новой ООПТ», а также перспективы деятельности по сохранению и реабилитации нарушенных земель Арктической зоны Российской Федерации.

#### **Ключевые слова:**

ООПТ, нарушенные земли, Никель, Кольская ГМК.

#### **Теория**

Создание региональных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) предусматривает, согласно действующему Федеральному закону № 33 «Об особо охраняемых природных территориях» ряд действий порядок которых и объем работ зависит от категории ООПТ [4]. Кроме того, в каждом субъекте РФ разработаны дополнительные нормативно-правовые акты, определяющие требования к созданию ООПТ. В пакет документов, необходимых для создания региональной ООПТ, в качестве обязательного элемента входят материалы экологического обследования. Они собираются из имеющихся источников (фондовых и опубликованных ранее данных о территории), а также на основе проведения дополнительных научно-исследовательских работ. Следовательно, подготовка материалов экологического обследования территории являются важным этапом деятельности по расширению региональной сети ООПТ [2].

Целью нашего исследования стала подготовка материалов экологического обследования для проектирования региональной ООПТ «Никель-Заполярный», расположенной в Печенгском муниципальном округе Мурманской области. Согласно региональному законодательству, содержание материалов должно соответствовать требованиям, сформулированным в Постановлении Правительства Мурманской области от 15.10.2020 № 701-ПП «Об утверждении Порядка подготовки и состава материалов, обосновывающих создание особо охраняемых природных территорий регионального значения, изменение режима их особой охраны» [2]. В нашем исследовании оно было взято за основу (как для подготовки «Материалов экологического обследования», так и для подготовки «Положения о новой ООПТ»).

Следует отметить, что на территории Печенгского муниципального округа Мурманской области в настоящее время природоохранную деятельность осуществляют различные типы федеральных и региональных ООПТ. К числу действующих региональных ООПТ относятся: природные парки и памятники природы (общей площадью 158 969 га или 18,3 % территории муниципального округа) [6].

В список перспективных ООПТ Мурманской области, расположенных в пределах данного округа включены: государственные природные заказники федерального и регионального уровня, памятники природы (общей площадью 179 500 га или 20,7 % территории муниципального округа) [6].

Важным условием сохранения природы и развития в Печенгском муниципальном округе рекреации и туризма, служит восстановление нарушенных земель, прежде всего березовых редколесий и тундр. Решение этой проблемы связано с разработкой эффективных мер реабилитации техногенных пустошей, сформировавшихся вокруг промплощадок Кольской ГМК. Как показали результаты научных исследований по долговременному экологическому мониторингу в районе действия промплощадок «Никель» и «Заполярный» 2006-2012 годах [1], а также результаты экспедиций «Открываем Россию заново» под руководством О.А. Хлебосоловой в 2022 – 2023 годах [6], требуется исключение этих участков из хозяйственного использования и программ рекультивации земель после останова плавильного цеха комбината в пгт Никель.

Практика создания региональных ООПТ Мурманской области свидетельствует о том, что они создаются прежде всего для сохранения эталонных участков, слабо затронутых хозяйственной деятельностью человека. Среди них нет участков, испытавших сильное азротехногенное воздействие с повреждением коренных экосистем до состояния техногенных пустошей. Все это усложняет решение вопроса о создании ООПТ «Никель-Заполярный», но в то же время создает прецедент в российской природоохранной практике, когда проведение научных исследований по восстановлению экосистем становится приоритетной задачей создания ООПТ. Такую территорию можно условно назвать «Областью восстановления дикой природы» [6].

Анализ требований к составу материалов экологического обследования территории для обоснования придания ей статуса ООПТ [2] указывает на то, что материалы должны включать следующие обязательные разделы (тома): (1) общие сведения; (2) подробный анализ нормативно-правовых документов, опубликованных данных и натурных обследований.

Во второй том входит описание целей создания объекта и его ценности, месторасположения, географического положения, границ, научно-обоснованные рекомендации по режиму особой охраны объекта, оценка нарушенности, сведения о животном мире, флоре и растительности, сведения о лесном фонде, сведения о редких видах, сведения о биологическом разнообразии. Кратко рассмотрим особенности проектируемой территории, представленные во втором томе.

Территория «Никель-Заполярный» располагается в ландшафтном отношении на урочищах крупных массивов, гряд и холмов Балтийского щита, они сформированы на кристаллических породах архея и протерозоя. Климат умеренный. Почвенный покров представлен подзолами железисто-гумусовыми маломощными, горными тундровыми почвами (примитивными, щебенчатыми, торфяно-глеевыми и торфяно-болотными со сфагновым травяным торфом) [1]. Гидрологическая сеть представлена многочисленными ручьями, реками, болотами и озерами, относящимися преимущественно к бассейну реки Паз.

Степень нарушенности территории мозаична, процент проективного покрытия растительностью колеблется от 85% до 0%. Выделено 3 зоны поражения: 0-3 км – зона чрезвычайно высокой и высокой степени нарушенности, 3-15 км – сильной, 15-30 км – слабой степени [1].

Для подачи документов в комиссию по ООПТ Мурманской области помимо материалов экологического обоснования требуется подготовка Положения [2]. Его обязательными разделами являются:

- 1) Общие положения.
- 2) Цели создания и задачи ООПТ.
- 3) Виды разрешенного использования земельных участков, расположенных в границах ООПТ.
- 4) Режим особой охраны ООПТ.
- 5) Организация охраны и обеспечение функционирования ООПТ.
- 6) Ответственность за нарушение режима особой охраны ООПТ.
- 7) Заключительные положения.

8) **Приложения.**

Согласно требованиям, в нем следует указать наиболее значимые функциональные особенности нового ООПТ «Никель-Заполярный» (они приведены в описании ниже).

Категория – природный парк, профиль – комплексный. ООПТ регионального значения, подчиняющаяся Печенгскому муниципальному округу Мурманской области. Ценность территории: может стать первой в России, особо охраняемой территорией по изучению воздействия медно-никелевого производства на арктические экосистемы и сравнительной оценки эффективности методов искусственного и естественного восстановления нарушенных земель.

Проектируемая ООПТ «Никель-Заполярный» будет располагаться в пределах Печенгского муниципального округа Мурманской области и ограничена: на западе промплощадкой «Никель» Кольской ГМК и озером Куэтсъярви, на востоке землями обороны, безопасности и землями специального назначения [3], на юге автомобильной дорогой Заполярный – Сальмиярви, на севере федеральной автомобильной дорогой Р-21 «Кола».

Общая площадь особо охраняемой природной территории составляет порядка 10 800 га. Категория земель не установлена, территория включает в себя следующие номера кадастровых земельных участков – 51:03:0040102:25, 51:03:0040102:294 [3].

Целью создания данной ООПТ может стать мониторинг изменений нарушенных экосистем тундр и березового редколесья после прекращения выбросов медно-никелевого производства в условиях естественного и искусственного восстановления. Важными задачами ООПТ станут: мониторинг загрязнения почв и биоты, разработка методов искусственного и естественного восстановления арктических экосистем.

На территории рекомендуется минимальное пребывание людей, предлагается формирование зоны мониторинга («покоя»), участков апробации методов искусственного восстановления (прошлых и новых), участков экологических троп и других.

Имеющиеся на сегодняшний день данные научных исследований были систематизированы в рамках XVIII Всероссийского конкурса достижений талантливой молодежи «Национальное достояние России» и представлены на заключительном (очном) этапе конкурса [5]. В результате проведенного анализа нами были выделены наиболее сложные вопросы, требующие дальнейшего изучения: подробное описание границ проектируемой ООПТ; предоставление полного списка редких и находящихся под угрозой исчезновения объектов растительного и животного мира; картосхемы и другой иллюстративный материал; перечень разрешенных и запрещенных действий на территории ООПТ. Все вышеперечисленные пункты будут доработаны в рамках специальных научно-исследовательских работ.

**Выводы**

Исследование направлено на создание особо охраняемой природной территории регионального значения площадью 10800 га в пределах нарушенных земель вокруг промышленной площадки «Никель» Кольской ГМК, где с 1943 по 2020 годы функционировало предприятие по добыче и переработке медно-никелевых руд.

Систематизированы данные предыдущих исследований, проведены дополнительные исследования, подготовлены электронные базы данных и карты для составления «Материалов экологического обследования» новой ООПТ «Никель – Заполярный».

В настоящее время оформляется текст «Положения о новой ООПТ» для подготовки полного пакета документов в Комиссию по созданию ООПТ Правительства Мурманской области. Создание подобного прецедента может стать первым значимым событием в заповедании и последующей реабилитации земель Арктической зоны Российской Федерации, нарушенных хозяйственной деятельностью человека.

### **Библиография**

1. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки «Никель» и «Заполярный»): влияние на наземные экосистемы / Под общ. ред. О.А. Хлебосоловой. Рязань: НП «Голос губернии», 2012. 92 с
2. Мурманская область. Постановления. Об утверждении Порядка подготовки и состава материалов, обосновывающих создание особо охраняемых природных территорий регионального значения, изменение режима их особой охраны: Постановление № 701-ПП: [утвержден постановлением Правительства Мурманской области от 15 октября 2020 года] [Электронный ресурс]: Система ГАРАНТ. – 10 с. – URL: <https://base.garant.ru/74765858/>, (дата обращения 16.03.2024).
3. Публичная кадастровая карта URL: <https://pkk.rosreestr.ru/#/search/69.42930006844715,30.437140264737792> (дата обращения 13.03.2024).
4. Российская Федерация. Законы. Об особо охраняемых природных территория (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон № 33-ФЗ: [принят Государственной Думой 15 февраля 1995 года] [Электронный ресурс]: Система ГАРАНТ. – 43 с. – URL: <http://law.ru/fox.ru/view/standarti/2404.htm>, (дата обращения 16.03.2024).
5. Сосна Е.М. Проектирование новой категории ООПТ (на примере экспериментального научно-исследовательского полигона «Никель-Заполярный») // Сборник тезисов работ участников XVIII Всероссийской конференции обучающихся «Национальное достояние России» и XVI Всероссийского молодежного форума «АПК – Молодежь, наука, инновации»/ Под ред. А.А. Румянцева, Е.А. Румянцевой – М.:НС «Интеграция» и др., 2024. – 680–681 с.
6. Хлебосолова О.А. Расширение сети региональных ООПТ участками восстановления нарушенных земель (на примере Печенгского округа Мурманской области) / О.А. Хлебосолова, Е.М. Сосна, Д.М. Кутейникова // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 10: Сборник статей X Юбилейной национальной научно-практической конференции (5–7 октября 2023, Сочи). – Сочи: ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности», Копицентр, 2023. – С. 326 – 336 с.

*Использование аэрофото- и космических снимков в качестве основы при управлении  
объектами техногенного загрязнения урбанизированных территорий*

*Хомич А.С.\* (МГРИ, khomich.nst@mail ),  
Экзарьян В.Н. (МГРИ, vnekzar@rambler.ru )*

**Аннотация**

В статье рассматривается актуальность применения дешифрирования аэрофотоснимков в области экологической геохимии с целью управления объектами техногенных загрязнений урбанизированных территорий.

Авторами представлен перечень методов дешифрирования аэрофото- и космических снимков, их применение в целях идентификации источников загрязнения и отслеживания процесса миграции загрязняющих веществ в городах. Рассмотрены перспективы практического применения дешифрирования при помощи лидара и гиперспектрального зондирования для будущих исследований.

**Ключевые слова**

Дешифрирование, экологическая геохимия, аэрофотоснимки, космические снимки, техногенное загрязнение.

**Теория**

Современные города испытывают давление в результате роста техногенного загрязнения, которое, в свою очередь, вызывает серьезные экологические проблемы, в том числе проблемы здоровья населения. В связи с этим методы анализа данных космических снимков и аэрофотосъемки являются важными инструментами для идентификации источников загрязнения и комплексной оценки их распространения в городской среде.

На сегодняшний день современные технические средства съемки позволяют не только оперативно получать снимки, но и мгновенно обрабатывать полученную информацию, накапливать данные в сетевых архивах и обеспечивать свободный доступ широкому кругу заинтересованных лиц.

Дешифрирование аэрофото- и космических снимков включает в себя следующие виды: визуальная интерпретация данных, цифровая обработка изображений и спектральный анализ [1].

Визуальная интерпретация основывается на определении характеристик объектов, идентифицированных на снимке. Данный метод обеспечивает точные результаты, однако требует специальных навыков и предикта. Цифровая обработка изображений в совокупности с внедрением алгоритмов машинного обучения используется для автоматизации процесса расшифровки полученных снимков – такой способ позволяет автоматически обнаруживать и выделять объекты на снимке и анализировать их свойства.

Спектральный анализ снимков широко применяется для идентификации и определения характеристик загрязняющих веществ и основывается на анализе и особенностях характеристик изображений, которые получают при помощи специальных датчиков.

Рассмотренные методы дешифрирования аэрофото- и космических снимков являются основой не только для идентификации источников загрязнения в городской среде и оценки интенсивности распространения, но и для разработки новых направлений в области изучения загрязнений окружающей среды в городах [3]. Однако, как и любой автоматизированный процесс, дешифрирование требует перманентного совершенствования.

Одним из способов совершенствования метода дешифрирования может стать применение искусственного интеллекта, а именно разработка более сложных алгоритмов машинного обучения. Искусственный интеллект в рамках такого обучения сможет автоматически распознавать объекты на снимках, группируя их, например, дороги, леса, здания и т.д., благодаря

чему процесс интерпретации данных ускоряется. Кроме того, анализируя спектральные характеристики изображения, искусственный интеллект будет способен определять тип почв, виды растительности и ее состояния, степень загрязнения водных объектов. Это может лечь в основу совершенствования системы мониторинговых наблюдений.

Дешифрирование аэрофото- и космических снимков также должно подразумевать интегративный процесс с целью объединения информации из разных источников. Спутниковые снимки, снимки с дронов, аэрофотоснимки содержат в себе информацию о различных масштабах, назначения, явления, нарушениях. Следовательно, их объединение позволит идентифицировать большее количество объектов. Помимо снимков в процесс интеграции могут входить иные виды источников информации, например, климатические данные, данные о заболеваемости населения. Эффективным решением также может стать процесс сравнения новой информации с полученной ранее. Анализируя временные изменения, можно рассчитать площадь нарушений естественного покрова, распределения зеленых зон и т.д.

Процесс интеграции различных источников информации способен стать не только основой для более масштабного изучения техногенного загрязнения, но и управления его источниками. В данном случае целесообразно проводить мультидисциплинарный анализ – анализ здоровья населения, изменения окружающей среды, социальные факторы с целью выявления сложных взаимосвязей между различными переменными.

Развитие технологий дистанционного зондирования и дешифрирования аэрофото- и космических снимков требует расширение возможностей анализа и интерпретации, одним из наиболее оптимальных решений является развитие лазерного радиолокационного зондирования (лидар) и гиперспектрального зондирования.

Лидар представляет собой особую методику дистанционного зондирования, которое основывается на использовании лазерного излучения с целью измерения расстояний до определенных объектов или поверхности Земли в целом не только на борту спутников, но и в качестве наземных платформ.

Особенность лидара в том, что с его помощью создаются трехмерные модели поверхности Земли и объектов, что позволяет обнаруживать микротопографические особенности исследуемой территории, которые, несмотря на незначительность, могут влиять на процессы миграции загрязняющих веществ. Более того, лидар способен исследовать рельеф залесенной местности, что для любого полевого работника остается сложной задачей. При помощи лидара становится возможным обнаруживать места захоронения отходов и опасных токсичных веществ, кроме того, данное устройство способно создавать модели таких явлений как распространение туманов и диффузии загрязняющих веществ, что показывает динамику загрязнения приповерхностной атмосферы. Недостатком, требующим совершенства, является то, что датчики в данном устройстве не всегда способны «видеть» всю поверхность.

В области управления техногенным загрязнением лидар может применяться для создания трехмерных карт загрязнения, определения наиболее подверженных загрязнению районов или моделирования потоков воздуха в городах [4].

Говоря о гиперспектральном зондировании (Рисунок 1), следует обратить внимание на то, что данный метод позволяет обнаружить и классифицировать объекты на основе спектральных характеристик.

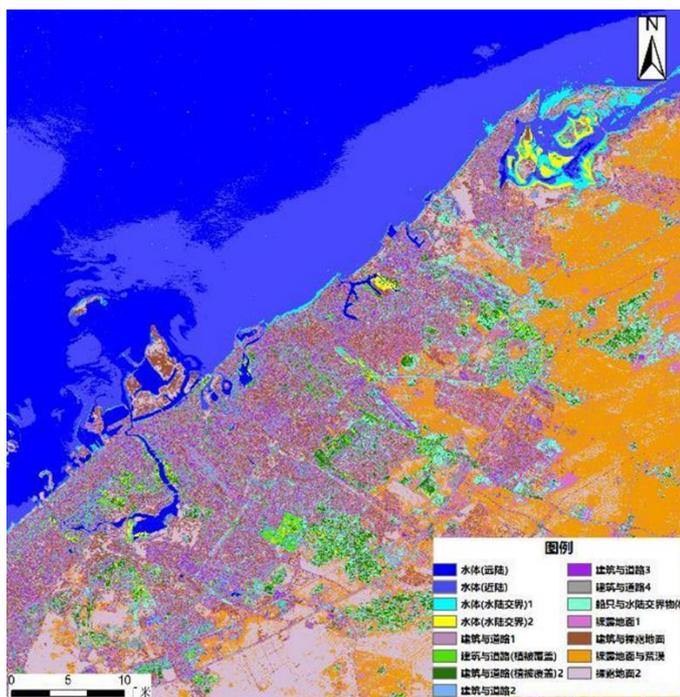


Рисунок 1. Снимок, сделанный гиперспектральным спутником Gaofen-5 01A, показывающий различные виды наземных объектов/CNSA - Космическое агентство Китая [4]

Техника гиперспектрального зондирования представляет собой измерение спектральных характеристик света, отражающегося от объекта исследования или от поверхности. Гиперспектральные снимки отображают информацию в большом количестве спектральных каналов, например, может использоваться для определения химического состава почвы, для обнаружения парниковых газов, мониторинга качества водных объектов и обследования минеральных ресурсов или выполнять полный анализ лесного покрова с выделением местоположения отдельных деревьев и кустарников. Кроме того, при помощи гиперспектрального анализа представляется возможным обнаруживать нефтяные пятна, геохимические аномалии и ассоциации [2].

### **Выводы**

Дешифрирование аэрофото- и космических снимков представляет собой эффективный метод в области управления объектами техногенного загрязнения. Примером развития данного направления может стать применение искусственного интеллекта в целях автоматизации процессов обработки информации и разработки схем, неочевидных для человека. Помимо внедрения искусственного интеллекта, целесообразно расширять область применения и развивать технические характеристики лидара, что позволит определять и объединять большинство показателей необходимых для эколого-геохимических исследований.

Объединение различных данных со снимков с информацией о климатической составляющей, здоровья населения, социально-экономических и других аспектах позволит получать практически полноценную схему их влияния друг на друга и разрабатывать новые методики и стратегии улучшения качества жизни в городе.

Дешифрирование аэрофото- и космических снимков позволяет выявлять факторы и источники загрязнения природной среды и совместно с показателями здоровья населения по исследуемым территориям, даст возможность обнаружить зоны повышенного риска заболеваемости. Дешифрирование должно стать одним из приоритетных направлений в экологической геохимии.

### **Библиография**

1. Батракова Г.М., Ивенских О.В., Пономарчук А.И. Применение дистанционного зондирования земли для экологической оценки территорий складирования отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2012. – № 4. – С. 73–84.
2. Козинев И.А., Мальцев Г.Н. Формирование и обработка гиперспектральных изображений в оптико-электронных системах дистанционного зондирования Земли // Оптика и спектроскопия. - 2016. - №6. - С. 1005-1019.
3. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О., Чугунов В.А., Кожевников В.А. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли // Московский экономический журнал. – 2019. – С. 68.
4. China's hyperspectral remote-sensing satellite put into use // China National Space Administration URL: <https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c10467349/content.html> (дата обращения: 12.03.2024).

*Актуальные проблемы экологического законодательства в сфере недропользования*

*Быстров А.А.\* (МГРИ, [bystrov8008@gmail.com](mailto:bystrov8008@gmail.com)),*

*Лунькин Д.А. (МГРИ, [lunkinda@mgi.ru](mailto:lunkinda@mgi.ru))*

**Аннотация**

Статья рассматривает проблемы экологического законодательства в контексте недропользования. Авторы анализируют текущее состояние законодательной базы, выявляют пробелы и недостатки, а также обсуждают возможные пути их решения.

**Ключевые слова**

Экологическое законодательство, недропользование, устойчивое развитие, состояние экосистем.

**Теория**

В современном мире вопросы экологии и устойчивого развития занимают центральное место в общественном дискурсе и политической повестке. Одной из ключевых областей, где эти вопросы становятся особенно актуальными, является недропользование. Это связано с тем, что добыча и использование природных ресурсов имеют значительное влияние на окружающую среду, экосистемы и климат. С одной стороны, недропользование является важным фактором экономического развития и удовлетворения потребностей человечества в ресурсах, с другой – несет в себе риски серьезного негативного воздействия на экологическую обстановку.

Цель данной работы – исследовать существующие проблемы экологического законодательства в контексте недропользования. Особое внимание будет уделено анализу текущего состояния законодательной базы, выявлению основных пробелов и недостатков в законодательстве, а также обсуждению возможных путей их решения.

Важность данной темы предопределена не только экологическими, но и социальными, экономическими аспектами устойчивого развития. Правильное регулирование недропользования, с учетом экологических стандартов и требований, может способствовать не только сохранению природных ресурсов, но и обеспечению долгосрочной экономической стабильности и здоровья населения.

Актуальность темы обусловлена растущим глобальным интересом к экологическим последствиям при эксплуатации природных ресурсов. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на природу, изменение климата и истощение природных ресурсов важность эффективного и экологически ответственного недропользования становится особенно актуальной. Необходимость сбалансировать экономические интересы и потребности в ресурсах с охраной окружающей среды и устойчивым развитием делает изучение и анализ экологического законодательства в этой сфере крайне важным. Это исследование поможет выявить ключевые проблемы и предложить возможные пути их решения, что актуально как для правоведов, так и для экологов, государственных органов, представителей бизнеса и общественности.

Актуальные проблемы экологического законодательства, связанные с недропользованием, заключаются в нескольких ключевых аспектах. Во-первых, это часто недостаточная строгость норм в области охраны окружающей среды при осуществлении добычи полезных ископаемых. Это приводит к значительному воздействию на экосистемы, включая загрязнение поверхностных и подземных вод, почвы и воздуха, а также сокращение численности различных видов флоры и фауны. Во-вторых, существующее законодательство зачастую не учитывает необходимость комплексного подхода к оценке воздействия на окружающую среду, что не позволяет полноценно оценивать долгосрочные последствия недропользования. [3]

Другой важный аспект – это слабое правоприменение и контроль за исполнением экологических норм. Нередко фиксируются случаи, когда компании, занимающиеся добычей

полезных ископаемых, нарушают экологические стандарты, однако избегают серьезных санкций. Это создает негативный прецедент и снижает эффективность законодательных мер.



Рисунок 1. Масштабный разлив нефти

Также стоит отметить проблему недостаточной прозрачности и участия общественности в процессе принятия решений, связанных с недропользованием. Это ведет к отсутствию адекватного общественного контроля и ограничивает возможности для общественного влияния на процессы, которые могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду. [3]

В целом, проблематика экологического законодательства в сфере недропользования требует более тщательного и комплексного подхода, учитывающего как необходимость развития отрасли, так и важность защиты окружающей среды для будущих поколений. Это включает в себя ужесточение норм, улучшение механизмов контроля и привлечения к ответственности, а также расширение возможностей для общественного участия и прозрачности процессов.

Особое внимание заслуживает вопрос адекватности компенсационных мер за нанесенный вред окружающей среде. Нередко компенсации, предусмотренные законодательством, не соответствуют реальному ущербу, нанесенному экосистемам. Это создает ситуацию, при которой экономическая выгода от недропользования значительно превышает расходы на восстановление окружающей среды, что способствует продолжению экологически вредных практик. [1]

Кроме того, существует проблема несоответствия между национальным и международным экологическим законодательством. В мировом масштабе разработаны различные соглашения и стандарты в области охраны окружающей среды, однако их имплементация в национальное законодательство отдельных стран часто происходит не полностью или с задержками. Это ведет к дисбалансу в практике недропользования на международном уровне и затрудняет эффективное регулирование в этой сфере.

Еще один аспект – это необходимость учета климатических изменений при разработке и применении экологических норм в сфере недропользования. В условиях изменения климата важно, чтобы законодательство способствовало сокращению выбросов парниковых газов и стимулировало использование более «чистых» и безопасных технологий.

Решение этих проблем требует совместных усилий правительств, международных организаций, бизнеса и гражданского общества. Важно обновлять и усиливать законодательные рамки, обеспечивая их соответствие современным экологическим вызовам и международным стандартам. Также критически важно улучшить механизмы контроля, обеспечить эффективное правоприменение и расширить возможности для общественного участия и контроля.

Принимая во внимание глобальные климатические изменения, законодательство должно способствовать сокращению воздействия на окружающую среду и стимулировать переход к более устойчивым методам недропользования. Только так можно достигнуть стабильного баланса между экономическим развитием и сохранением здоровых экосистем для будущих поколений. [4]

Важно осознавать, что проблемы экологического законодательства не могут быть решены изолированно. Они требуют координированных усилий на всех уровнях – от местных сообществ до международных организаций. Повышение образовательного уровня и экологической осведомленности населения, активное вовлечение общественности в экологические инициативы и обсуждение законодательных изменений – все это является важной частью устойчивого управления природными ресурсами.

Экологически ответственное недропользование – это не просто задача для правительства и бизнеса, но и обязанность каждого члена общества. В конечном счете, наша способность решать экологические проблемы и обеспечивать баланс между экономическим развитием и защитой природы определяет качество жизни текущего и будущих поколений. Это осознание должно стать основой для формирования и реализации экологической политики в области недропользования.

### **Выводы**

Подводя итоги, следует подчеркнуть важность комплексного и многоаспектного подхода к управлению природными ресурсами. Проанализировав текущее состояние законодательства, мы видим, что перед законодателями и обществом стоит ряд серьезных задач, включая усиление экологических стандартов, обеспечение эффективного контроля и правоприменения, увеличение уровня прозрачности и участия общественности в принятии решений.

Также становится ясно, что национальное законодательство должно быть более тесно интегрировано с международными экологическими нормами и стандартами, а в учете мер по недропользованию необходимо уделять внимание глобальным климатическим изменениям. Реализация этих мероприятий позволит обеспечить устойчивое развитие, сохранение биоразнообразия и защиту окружающей среды для будущих поколений.

Бережное и ответственное отношение к природным ресурсам, совмещенное с продуманным экологическим законодательством, является ключевым фактором в достижении гармонии между экономическими интересами и необходимостью сохранения здоровой экосистемы.

### **Библиография**

1. Анисимов, А. П. Экологическое право / А.П. Анисимов, А.Я. Рыженков, А.Е. Черноморец. - М.: Юрайт, Юрайт, 2017. - 182 с. 2. Бандорин, Л.Е. Экологическое право / Л.Е. Бандорин. - М.: Велби, 2021. - 183 с.
2. Боголюбов, С. А. Актуальные проблемы экологического права / С.А. Боголюбов. - М.: Юрайт, 2022. - 146 с.
3. Боголюбов, С. А. Актуальные проблемы экологического права: моногр. / С.А. Боголюбов. - Москва: СИНТЕГ, 2021. - 153 с.
4. Боголюбов, С. А. Экологическое право / С.А. Боголюбов. - М.: Высшее образование, 2022. - 290 с.
5. Боголюбов, С. А. Экологическое право / С.А. Боголюбов. - М.: Норма, Инфра-М, 2022. - 290 с.
6. Бринчук, М. М. Экологическое право / М.М. Бринчук. - М.: Городец, 2020. - 131 с.
7. Бринчук, М. М. Экологическое право / М.М. Бринчук. - М.: МОДЭК, МПСИ, 2021. - 148 с.

8. Бринчук, М.М. Экологическое право / М.М. Бринчук. - М.: ЮРИСТЪ, 2022. - 288 с.

*Анализ технологий устранения экологически негативных техногенных явлений в  
Арктической зоне*

*Васильев Д.С.\* (РУДН, [dima\\_vas\\_vasilev@mail.ru](mailto:dima_vas_vasilev@mail.ru)),  
Малюков В.П. (РУДН, [maliukov\\_vp@pfur.ru](mailto:maliukov_vp@pfur.ru))*

**Аннотация**

Экологически и технологически безопасное освоение Арктической зоны РФ является важным элементом государственной политики. За последние годы значительно увеличились транспортные перевозки по Российской Арктике, в 2023 году грузооборот Северного морского пути составил 34 млн т. и по плану развития Северного морского пути на период до 2035 года рост грузооборота будет составлять около 12% в год (из стран Азиатско-Тихоокеанского региона и других регионов), что увеличивает техногенную нагрузку на окружающую среду.

В работе рассмотрены инновационные технологии ликвидации разливов нефти, повышающие эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации, развивающиеся с учетом экстремальных температур, ледяного покрова и экологической чувствительности местной среды при разработке арктических нефтегазовых месторождений.

**Ключевые слова**

Арктическая зона, Северный морской путь, разливы нефти, инновационные технологии.

**Теория**

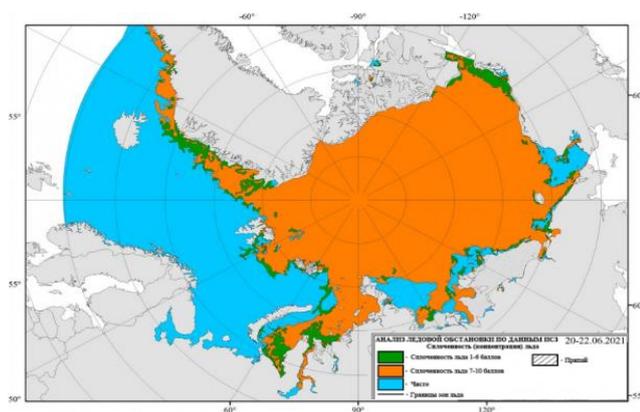


Рисунок 1. Ледовая обстановка по данным спутника Земли

Арктические условия имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при выработке подходов к ликвидации разливов нефти. Основным является наличие постоянного или присутствующего продолжительное время обширного ледяного покрова (рисунок 1).

К факторам использования различных технических средств в условиях Арктики относятся низкие температуры воздуха и воды, удалённость месторождений от существующей инфраструктуры. Вместе с тем, низкие температуры и ледяной покров в значительной степени препятствуют распространению нефти, поскольку нефть приобретает высокую степень вязкости в холодной морской воде [1].

**Методы обнаружения границ и определения разлитой нефти**

Обнаружить пятно от разлива нефти и получить некоторый объём первоначальной информации можно с помощью специального оборудования, которое позволяет контролировать нефтяные утечки. В целом, главной задачей выступает определение объёма нефтяного разлива,

его местоположение, а также направление перемещения, исходя из первоначальных данных и информации о природных условиях в месте разлива.

Для выявления места разлива и положения нефтяного пятна могут быть использованы следующие методы обнаружения нефти, вмёрзшей в лед или же разлитой непосредственно под ледяным покровом: гидролокационные станции, которые базируются под водой; различные георадары, которые могут быть расположены либо на земле, либо в воздухе; ледовые керны. Максимально эффективными методами в данном случае представляются методы дистанционного зондирования (с помощью георадаров и гидролокационных станций). Для поиска нефти под ледяным покровом наиболее эффективными выступают гидроакустические средства обнаружения. Однако они являются менее эффективными в случае вмержания нефти в лёд.

Для поиска вмёрзшей в нефти лед, а также для выявления нефтяных пятен под гладким льдом, образовавшимся не более одного года назад, наиболее эффективным средством представляются георадары. Однако при этом эффективность георадаров может быть в значительной степени снижена, если нефть вмержала в лед в результате диффузии или была разлита под паковыми льдами, которые подверглись определённой деформации [4].

Для выявления и прогнозирования возможного района нефтяного загрязнения особенно важное значение имеют процессы моделирования нефтяных разливов. В моделировании важно учитывать текущие актуальные природные условия в месте разлива, а также воздействия на нефтяное загрязнение со стороны средств ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН). Подобное моделирование позволит точно прогнозировать последствия разлива и планировать операцию по ликвидации нефтяного разлива, чтобы осуществляемые действия были максимально эффективными.

#### **Ликвидация разливов нефти в арктических акваториях**

Перед Россией на текущий момент стоят важные задачи, касающиеся поиска и освоения подводных углеводородных месторождений в Арктике, которые располагаются под сплошным ледяным покровом. В контексте данной деятельности система ликвидации аварийных разливов нефти должна быть хорошо проработана. Рассматриваемый тип углеводородных месторождений наиболее часто располагается в значительной отдалённости от готовой инфраструктуры для быстрой ликвидации последствий нефтяных разливов. Поскольку подобные месторождения находятся под ледяным покровом и на значительном отдалении, использование традиционных средств ликвидации аварийных разливов нефти является в значительной степени проблематичной ситуацией.

Максимальные расчетные объемы нефтяных разливов должны соответствовать потерям от одной фонтанирующей скважины с максимальным дебитом в течение трех суток. Это актуально для морских поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Вполне вероятно, что в качестве причин больших разливов нефти можно рассматривать аварии на нефтяных хранилищах, располагающихся в море, аварии на трубопроводах, находящихся под водой, а также на танкерах, расчетные величины которых нормированы.

Результаты исследований сорбционной емкости представленных коммерческих сорбентов приведены в таблице 1. Полученные данные свидетельствуют о том, что сорбционная емкость каждого материала незначительно колеблется в отношении сорбции различных видов нефтепродуктов (НП) и существенно отличается в зависимости от вида сорбента [3].

Таблица 1

Сорбционная емкость исследованных материалов

Образец НП	«Лессорб»	«Унисорб-экстра»	«ТШР»	«СоНет-1»
------------	-----------	------------------	-------	-----------

Дизельное топливо	3,19	1,608	6,76	1,108
Нефть	4,02	1,638	6,61	1,48
Моторное масло	3,56	1,66	7,3	1,33

Ликвидация нефтяных разливов под покровами льда может быть осуществлена за счет: сжигания нефти; сбора нефти с помощью механических способов: установкой боновых заграждений; естественного разложения (например, испарение нефти); применения различного рода сорбентов; применения диспергентов, приводящих к рассеиванию нефти в ускоренном режиме. Как правило, во время ликвидации разливов нефти на практике данные способы могут использоваться в различных комбинациях/

Рассмотренные выше способы представляются максимально эффективными в случае, если, разлив нефти произошел либо на открытом водном пространстве, либо под небольшим покровом льда. В подобных ситуациях во время полевых испытаний удавалось ликвидировать около 30-50% нефти, что считается хорошим результатом. Однако на практике подобная цифра, как правило, находится на уровне 10-15% и не превышает 30% [2].

На сегодняшний день для ликвидации нефтяных разливов различные компании-операторы предоставляют определённый набор технических средств, которые могут быть доставлены к месту разлива на особых вспомогательных судах: «обычными» и арктическими скиммерами (рисунок 2).

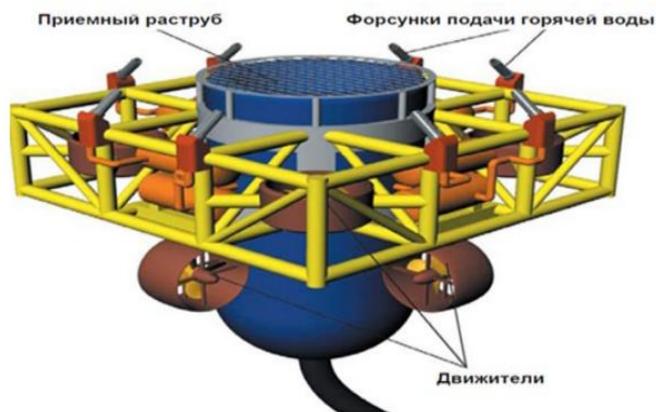


Рисунок 2. Скиммер, используемый комплексом ликвидации разливов нефти подо льдом

Со скиммера подаются потоки теплой воды на загрязнённый нефтью лед, который, в свою очередь подтапливается, освобождая нефть и повышая её вязкость. Освобождённая нефть и загрязненная вода засасываются в приемное устройство скиммера и попадают в ёмкость для хранения нефти. Далее возможна подача диспергентов в район загрязнения. После этого происходит транспортировка собранной нефти к месту её выгрузки

Снижение потерь тепла при подаче воды выступает одной из ключевых задач в разработке системы смыва нефти, вмерзшей в лед. Тепловые потери, как правило, связаны с турбулентным теплообменом в воде. Это можно сделать, приблизив сопло устройства, которое подает воду, на минимально возможное расстояние ко льду, загрязненному нефтью.

### **Выводы**

В ходе анализа были изучены существующие технологии, направленные на устранение экологических последствий техногенных катастроф, вызванных разливами углеводородов в Арктической зоне. В рамках исследования были оценены методы механического сбора разливов, использование абсорбентов, а также различные физико-химические методы, включая внедрение инновационных материалов и химических реагентов, способных эффективно связывать и удалять углеводороды из арктических вод.

### **Библиография**

1. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Природные и техногенные угрозы при поиске, разведке и разработке месторождений углеводородов в Арктике // Минер. Ресурсы России. Экономика и управление. – 2018. – №2 – С. 60-70.
2. Зацепя С.Н., Дианский Н.А., Журавель В.И. и др. Моделирование разливов нефти в море для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности при реализации нефтегазовых проектов. – Ч.1: Методология // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2015. - №4 (106). – С. 27-39.
3. Павлов А. В., Васильева Ж. В. Исследование сорбентов нефти и нефтепродуктов для ликвидации аварийных разливов нефти в морях арктического региона. – 2019. – № 5. – С.89-94.
4. Методические рекомендации по разработке типового плана по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для нефтегазовых компаний. М.: Федеральное Агентство по энергетике (Росэнерго). – 2014. – 28 с.

*Оценка влияния фотосинтетической радиации (ФАР) на урожайность картофеля в  
Ленинградской области*

*Ганеватте В.П.\* (Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
st115591@student.spbu.ru ),*

*Абанников В.Н. (Российский Государственный Гидрометеорологический Университет и  
Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
abvik@mail.ru ),*

*Подгайский Э.В. (Российский Государственный Гидрометеорологический Университет,  
podgaisky@gmail.com),*

*Виджаяратне Б.С. (Российский Государственный Гидрометеорологический Университет,  
bimasha.wijay99@gmail.com )*

**Аннотация**

Картофелеводство имеет важное значение для России, особенно в Ленинградской области, известном регионе выращивания картофеля на северо-западе. Устойчивость производства картофеля зависит от различных факторов, включая агротехнику, качество семян, свойства почвы и погодные условия. Ключевые метеорологические характеристики, такие как температура воздуха, осадки и фотосинтетическая активная радиация (ФАР), во многом определяют урожайность сельскохозяйственных культур.

В исследовании изучается возможное влияние ФАР на урожайность картофеля за 15-летний период. Этот интерес к ФАР обусловлен тем, что ее приход определяет потенциально возможную урожайность для интересующей широты местности, где выращивают картофель. Для Ленинградской области потенциальная урожайность составляет примерно 36 т/га, но такие лимитирующие факторы, как метеорологические и почвенные условия, а также агротехнические мероприятия позволяют собирать всего лишь 12 – 18 тонн с гектара [1].

**Ключевые слова**

Фотосинтетическая активная радиация, Производство картофеля, Ленинградская область, Агроклиматология.

**Теория**

В итоговом отчете об эффективности отраслей растениеводства в России за 2017 год, составленном с использованием данных доктрины продовольственной безопасности, отмечается, что производство картофеля на 3% ниже установленного показателя в 100% [3]. Этот дефицит создает риск недостижения желаемых показателей по общему сбору картофеля на фоне ожидаемого сокращения посевных площадей. В настоящее время цели продовольственной безопасности в растениеводстве удовлетворительно выполняются только в производстве зерна и сахара [4].

Все энергетические ресурсы, используемые на планете Земля, происходят непосредственно или косвенно из солнечной радиации. Растения, используя энергию ФАР запускают химическую реакцию (реакция фотосинтеза) по преобразованию углекислого газа и воды в органическое соединение – глюкозу. Излучение с длиной волны от 0,4 до 0,7 микрон является наиболее эффективным для фотосинтеза и называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). Максимальное количество энергии, которую поглощает поверхность Земли, зависит от угла падения солнечных лучей, который определяется суточным вращением Земли и ее орбитой вокруг Солнца [7].

В ходе проведения исследования были использованы данные о валовом сборе картофеля в Ленинградской области и показатель урожайности картофеля в период с 2004 по 2019 год, которые были предоставлены Федеральной службой государственной статистики РФ [2].

Для исследования были выбраны три метеостанции Ленинградской области: Тихвин, на востоке области, в 183 км от Санкт-Петербурга; Белогорка, 66 км к югу от Санкт-Петербурга; Санкт-Петербург (западная часть области). Ежедневные данные об ФАР на трёх метеостанциях с 2004 по 2019 год были взяты с сайта Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) США [6].

Согласно данным официальной статистики урожайность картофеля в Ленинградской области в целом увеличивалась с 2004 г. до 2015 г. В 2015 г. она достигла своего пика, а в 2016 г. урожайность картофеля снизилась, а затем снова начала расти до 2019 г. Динамика урожайности картофеля с 2004 г. по 2019 г. представлена на рисунке 1 [5].

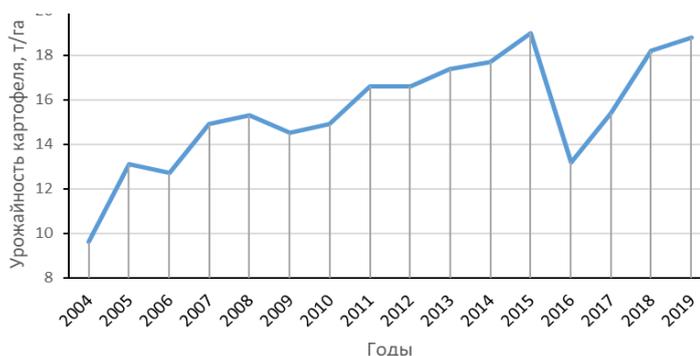


Рисунок 1. Урожайность картофеля в Ленинградской области за 2004-2019 гг.

В умеренных широтах анализ приходящей ФАР актуальна для теплого сезона – период вегетации сельскохозяйственных культур и растительных сообществ. В целом, в годовом ходе максимум приходящей ФАР наблюдается в июне месяце, минимум в декабре (рисунок 2).

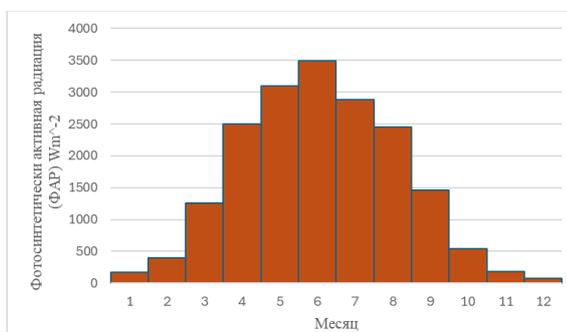


Рисунок 2. Пример годового хода ФАР (Тихвин в 2019 г.)

Такой характер годового хода ФАР обусловлен наклоном земной оси. В июне, во время летнего солнцестояния, Северное полушарие получает максимальные значения коротковолновой радиации (КВР), что приводит к более высоким значениям ФАР. В декабре, во время зимнего солнцестояния, Северное полушарие получает минимальные значения КВР, что приводит к более низким показателям ФАР.

Вегетационный период на территории Ленинградской области от даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через  $+5^{\circ}\text{C}$  весной и обратного перехода осенью, обычно продолжается с конца апреля до начала октября. После вычисления начальной и конечной дат вегетационного периода была проведена суммирование фотосинтетически активной радиации (ФАР) для всех трех станций за период с 2004 по 2019 годы. Многолетняя динамика суммы ФАР за вегетационный период по трем метеорологическим станциям приведена на рисунке 3.

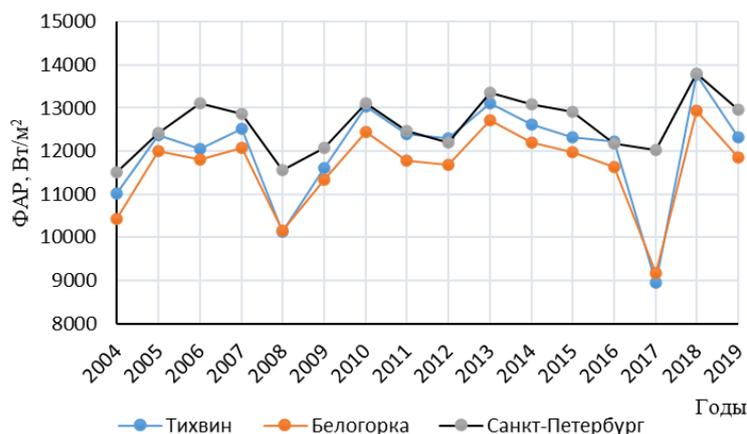


Рисунок 3. Сумма ФАР в течение вегетационного периода с 2004 по 2019 гг.

Картофель требует большого количества солнечного света для эффективного фотосинтеза. Солнечный свет обеспечивает растения энергией, необходимой для преобразования углекислого газа и воды в глюкозу и кислород. Глюкоза является основным источником энергии и способствует росту клубней и других органов картофеля. Анализируя рисунок 3 отображающий многолетний ход суммы ФАР с 2004 по 2019 год, можно заметить ее колебание между 8500 и 14000 Вт/м<sup>2</sup>. Максимальное зарегистрированное значение суммарной ФАР приходит на 2018 г., что свидетельствует о благоприятных условиях для возделывания картофеля. Согласно данным, Санкт-Петербург получил максимальное фотосинтетически активное излучение (ФАР) среди трех анализируемых районов.

Рассчитаны коэффициенты корреляции между урожайностью картофеля и с суммой ФАР за вегетационный период для исследуемых районов. В результате были получены следующие значения: м.ст. Тихвин,  $r = 0,35$ ; м.ст. Санкт-Петербург,  $r = 0,57$ ; м.ст. Белогорка,  $r = 0,4$ .

Максимальная связь между урожайностью картофеля и фотосинтетически активной радиацией на территории Ленинградской области характерна для Санкт-Петербурга и для этой станции определили характер корреляции и рассчитали уравнение регрессии (Рисунок 4).

### Выводы

В заключении можно сделать вывод о том, что ФАР играет значительную роль в формировании урожайности картофеля в Ленинградской области. Анализ за период с 2004 по 2019 год показал колебания уровней ФАР, обычно составляющих от 8500 до 14000 Вт/м<sup>2</sup>. Более того, в ходе исследования выявлено различие корреляций между урожайностью картофеля и ФАР в различных районах региона.

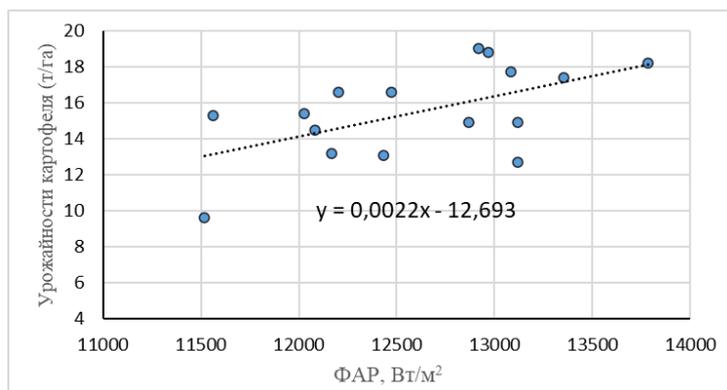


Рисунок 4. Регрессионный анализ ФАР и урожайности картофеля в районе Санкт-Петербурга

В то время как в Санкт-Петербурге наблюдается повышенное значение корреляции, в районах, таких как Белогорка и Тихвин, корреляция несколько слабее. Эти результаты подчеркивают важность учета местных вариаций суммарной ФАР при оценке динамики урожайности картофеля и предоставляют интерес для оптимизации севооборота сельскохозяйственных площадей, занятых под выращивание картофеля с целью увеличения ее производства в Ленинградской области.

### Библиография

1. Абанников В.Н. Оценка агрометеорологических и микроклиматических показателей для прогнозирования урожайности картофеля / Colloquium-journal, ч.4. № 16 (40). Польша, 2019 г. С.4-9. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-10514
2. База данных «Федеральной службы государственной статистики в Российской Федерации» извлечена из: [www.rosstat.gov.ru](http://www.rosstat.gov.ru) : Доступ к онлайн-ресурсам осуществлен 02.05.2023.
3. Итоги работы отрасли растениеводства в 2017 году и задачи на 2018 год. Министерство сельского хозяйства РФ. <https://mcx.gov.ru>: Доступ к онлайн-ресурсам осуществлен 28.04.2023.
4. Шокурова Е. Минсельхоз: Россия выполнит показатели продбезопасности по ряду продуктов. <https://www.agroinvestor.ru>: Доступ к онлайн-ресурсам осуществлен 02.05.2023.
5. Victor N. Abannikov, Visal P. Ganewatte, Aaed I. N. Mkhanna, Eduard V. Podgaiskii, and Svetlana V. Morozova. Influence of regional agrometeorological conditions on the yield of potatoes in the Leningrad region // труды конф. CIBTA-II-2023, BIO Web of Conferences, том 71, №01024, (2023). С.6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101024>
6. The Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) project by NASA , <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>: online resource ; accessed 28.02.2024.
7. Tsubo M., Walker S., Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa, 2004, 10p.

*Искусственный интеллект в системе предупреждения и контроля лесных пожаров в РФ*  
*Кирпичев В.Э. (МОУ ИРМО "Грановская СОШ", e-mail: kirpichev.vladimir@list.ru),*  
*Кодиров Ш.Ш. (Доцент кафедры "Информационно-измерительная техника" Южно-*  
*Уральского государственного университета, к.т.н., e-mail: kodirovss@susu.ru)*

#### **Аннотация**

В представленной работе предлагается решение одной из самых актуальных задач для Российской Федерации - выявление закономерностей и построение прогностических моделей возникновения пожаров. Представлены результаты разведочного и кластерного анализа данных, проведенные на реальных данных о лесных пожарах на территории Российской Федерации. Кроме того, с использованием машинного обучения построена прогностическая модель пожаров.

#### **Ключевые слова**

Прогнозирование лесных пожаров, искусственный интеллект, интеллектуальный анализ данных, пожары России, алгоритмы машинного обучения.

#### **Теория**

Россия по праву считается лесной державой, на неё приходится 1/5 часть всех лесов мира, 1/2 часть всех хвойных лесов, леса занимают ~50% всей площади страны и составляют 1,2 млрд. Га. Защита лесных ресурсов от пожара является важной задачей управления лесным хозяйством. Основная причина гибели лесов - это пожары. На расходы по тушению лесных пожаров выделяются и тратятся огромные средства. По данным министерства природных ресурсов ущерб от лесных пожаров в 2021 составил 10.6 млрд рублей. Следует заметить, что реальный экономический ущерб от лесных пожаров складывается не только из урона, нанесенного лесу, промышленным и другим объектам, но и из затрат, связанных непосредственно с тушением. Соответственно для того, чтобы минимизировать выше отмеченные ущербы и затраты, необходимо на ранних стадиях локализовать и ликвидировать пожары. Однако, для того чтобы на ранних стадиях предвидеть пожары (например, местоположение, тип пожара, возможное время возникновения), необходимо иметь достоверные прогнозы о рисках их возникновения. Для этого необходимо разработать систему мониторинга и прогнозирования рисков возникновения пожаров с применением передовых технологий обработки данных. Из сказанного выше становится очевидна огромная важность организации надёжной системы мониторинга и прогнозирования рисков возникновения пожаров для своевременного обнаружения и принятия мер по недопущению лесных пожаров, позволяющая минимизировать экономический, экологический (а в некоторых случаях и человеческий) ущерб [1-4].

Раньше проблема лесных возгораний была нерешимой ни в одной стране мира, поскольку условия возникновения пожара, характер его поведения и возможности его тушения зависят от сочетания множества самых разных факторов, как прямых, так и косвенных. Ныне существующие прогностические модели [3-6] имеют недостаточную точность прогнозирования, а также они построены на синтетических данных, что ограничивает возможность их применения в реальных условиях. Кроме того, в существующих моделях не учитываются временные характеристики возникновения типов пожаров. Следовательно, необходимо разработать алгоритм обработки данных и модель прогнозирования лесных пожаров, учитывающий временные и географические особенности территории Российской Федерации.

В представленной работе предлагается новая методика разработки алгоритма обработки данных и модели прогнозирования лесных пожаров по времени и по локации их возникновения на территории Российской Федерации.

#### **Конструирование новых элементов данных**

С целью минимизации неполноты информации и повышения репрезентативности набора данных, на основе выявленных закономерностей, с применением инструментов

«конструирования данных» (feature engineering) были рассчитаны и введены дополнительные дискредитирующие элементы данных. Были созданы новые переменные (год, месяц, день, квартал, день года, день недели, неделя года и праздники). С учетом новых переменных корреляционная матрица представлена на рисунке 1. Тип зависимости отражен в цветном формате: ярко красные поля означают наличие прямой зависимости. Зеленый цвет означает присутствие отрицательной корреляции. Поля белого цвета имеют очень слабую корреляцию, не зависят между собой.

	Контролируемый пал	Лесной пожар	Неконтролируемый пал	Природный пожар	Торфяной пожар
lon	-0,027	0,313	-0,239	-0,126	-0,020
lat	-0,120	0,504	-0,343	-0,177	0,009
Контролируемый пал	1,000	-0,397	-0,236	-0,177	-0,011
Лесной пожар	-0,397	1,000	-0,515	-0,386	-0,025
Неконтролируемый пал	-0,236	-0,515	1,000	-0,229	-0,015
Природный пожар	-0,177	-0,386	-0,229	1,000	-0,011
Торфяной пожар	-0,011	-0,025	-0,015	-0,011	1,000
Year	-0,020	0,151	-0,112	-0,059	0,009
Month	-0,131	0,362	-0,284	-0,038	0,017
Day	0,035	-0,009	-0,011	-0,009	-0,003
Quarter	-0,135	0,321	-0,227	-0,045	0,015
Dayofyear	-0,127	0,363	-0,287	-0,039	0,016
Dayofweek	-0,012	0,004	0,009	-0,004	-0,001
Weekofyear	-0,125	0,361	-0,288	-0,037	0,016
Holidays	-0,016	-0,003	0,014	0,005	-0,002

Рисунок 1. Корреляционная матрица

### Прогностическая модель

С применением ряда алгоритмов машинного обучения была разработана прогностическая модель. Оценка точности модели проводилась на контрольных данных для проверки, которые не использовались при обучении модели. Таблица с оценочными метриками изображена на рисунке 2. Метрика accuracy (отношение количества правильных прогнозов к общему количеству) показала точность в 92%, но в связи с дисбалансом классов пришлось отказаться от этой метрики. Модификация balanced accuracy показала точность в 82%. Метрики recall и precision показали точность в 81% и 83% соответственно. Большинство ошибок алгоритм совершает при работе со вторым классом (торфяной пожар), так как количество образцов в обучающем датасете недостаточно (462 строки).

Метрики оценки	Type id				
	1	2	3	4	5
Accuracy:	0,9249				
Accuracy (Balanced):	0,8153				
Recall:	0,8153				
Precision:	0,8330				
Recall of classes:	0,9086	0,4500	0,9653	0,8769	0,8758
Precision of classes:	0,9142	0,5294	0,9586	0,8732	0,8894

Рисунок 2. Метрическая оценка точности

### **Кластерный анализ данных**

Кластерный анализ методом k-means качественно разделил данные на 5 кластеров. В интервале до 140 дня года наблюдается ярко выраженное смещение двух кластеров. Наличие определенных закономерностей подтверждено.

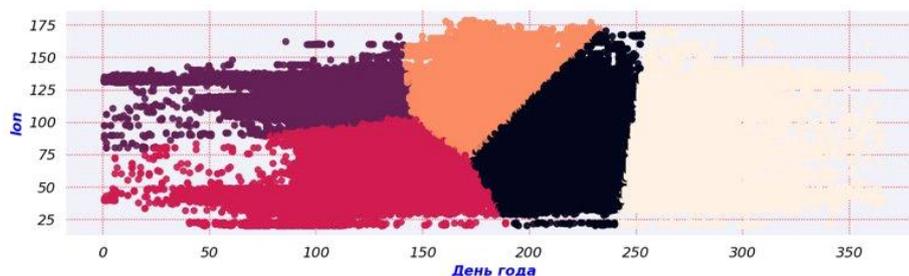


Рисунок. 3 Кластерный анализ

### **Выводы**

- С применением алгоритма обработки данных и метода разведочного анализа данных (exploratory data analysis) выявлены неочевидные закономерности возникновения лесных пожаров по времени и локации их возникновения. В частности, по графикам агрегированных значений возникновения лесных пожаров по месяцам года, по неделям года, по дням года, по дням месяца и дням недели, выявлены явные закономерности возникновения пожаров по времени.

- С целью минимизации неполноты информации и повышения репрезентативности набора данных о возникновении лесных пожаров, на основе выявленных закономерностей, с применением инструментов «инженерии данных» (data engineering) были рассчитаны и введены дополнительные дискредитирующие элементы данных.

- Для оценки статистической взаимосвязи между типами лесных пожаров и введенными элементами данных рассчитаны парные коэффициенты корреляции и построена корреляционная матрица. По значениям коэффициентов корреляции было установлено, что рассчитанные и введенные дополнительные элементы данных являются значимыми, могут использоваться в качестве входных данных для построения модели прогнозирования лесных пожаров.

- На основе алгоритма «к-ближайших соседей (k-NN)» разработана модель прогнозирования лесных пожаров по времени и локации их возникновения. Разработанная модель на экспериментальных тестовых данных продемонстрировала аккуратность (accuracy), точность (precision) и полноту (recall) прогнозирования от 0,82 до 0,925, что превосходит по точности традиционных методов на 15-20%.

- С применением такого метода кластеризации, как k-средних (k-means clustering), экспериментальные данные о лесных пожарах по времени и локации их возникновения были кластеризованы. Это было сделано для того, чтобы дополнительно оценить схожесть и различие между типами лесных пожаров.

- Результаты данного исследования могут быть внедрены в единую систему мониторинга и оповещения чрезвычайных ситуаций, что позволило бы обнаруживать возможные угрозы будущих возгораний и оперативно принимать меры для предотвращения их развития.

### **Библиография**

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и

проблемы/Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004.

2. Коваль Ю.Н. Анализ пожаров на территории Усинского лесничества / Коваль Ю.Н. Анализ пожаров на территории Усинского лесничества // Безопасность жизнедеятельности. - 2021. - №1 (421). - С. 50-53.

3. Станкевич Т.С. Разработка метода оперативного прогнозирования динамики развития лесного пожара посредством искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2018. - Т. 22. - № 9. - С. 111-120.

4. Барталев С.А., Стыщенко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров. – Лесоведение, – 2015. № 2, с. 83-94.

5. Бондур В.Г., Гинзбург А.С. Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга. – Доклады Академии наук, – 2016. т. 466, № 4, с. 473-477. doi:10.7868/S0869565216040186.

6. Бондур В.Г., Гордо К.А., Кладов В.Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории Северной Евразии по данным космического мониторинга. – Исследование Земли из космоса, – 2016. № 6, с. 3-20. Doi:10.7868/S0205961416060105.

7. Кирпичев В.Э. Применение технологий и инструментов искусственного интеллекта в прогнозировании лесных пожаров Российской Федерации // Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности», Железногорск, 26 мая 2023 года. 2023. – С. 262-264.

**Оптимизация мероприятий комплексной  
защиты населения при аварии на АЭС**  
*Хлопук О.Л.\* (МГРИ, hlopuk-olga@rambler.ru),  
Поляков В.М. (МГРИ, texnoles@mail.ru)*

**Аннотация**

В случаях аварий на АЭС, сопровождающимися выходом радиоактивных веществ за пределы производственной площадки, применяются следующие мероприятия защиты населения: эвакуация, укрытие в специальных защитных сооружениях и приспособленных для этих целей помещениях, использование индивидуальных средств защиты, йодная профилактика. Эти мероприятия хорошо изучены по отдельности. Определена их эффективность в плане возможности уменьшения радиационного поражения населения. В то же время, защита населения производится путем комплексного применения этих мероприятий на фоне динамики распространения радиоактивных веществ, попавших в окружающую среду. Сами мероприятия, также проводятся во времени и на загрязненной радиоактивными веществами территории. Поэтому для того, чтобы оценить эффективность комплекса мероприятий при защите населения, необходимо разработать математическую модель проведения комплексной защиты населения.

**Ключевые слова**

Йодная профилактика, эффективная доза, укрытия, средства индивидуальной защиты органов дыхания, йодид калия, нестабильный йод, эвакуация.

**Теория**

В случае возникновения аварии на АЭС население, проживающее вблизи данного опасного объекта, может подвергаться радиационному воздействию. Оно формируется за счет внешнего и внутреннего облучения людей, находящихся на загрязненных радиоактивными веществами территориях. Согласно [4], общая доза облучения состоит из суммы эффективных доз внутреннего и внешнего облучения:  $E = E_{\text{внеш}} + E_{\text{внут}}$ .

На ранней фазе аварии, наибольший вклад в формирование вреда от внутреннего облучения, дает облучение щитовидной железы за счет накопления в ней нестабильных изотопов йода. Поэтому в данном исследовании мы рассмотрели два пути радиационного воздействия на людей – внешнее и внутреннее облучение организма человека за счет распада всех радионуклидов, загрязняющих территорию и облучение щитовидной железы в следствии накопления в ней нестабильных изотопов йода.

Обобщая данные о процессах накопления радионуклидов в организме человека и особенностей проведения защитных мероприятий, можно предложить следующую формулу для вычисления доз облучения в случае применения комплексной защиты:

$$E'(t, s) = E_{\text{внеш}}'(t, s) + E_{\text{внут}}'(t, s), \quad (1)$$

Где  $E_{\text{внеш}}'(t, s) = \frac{E_{\text{внеш}}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{укр}}}$  для всех радионуклидов;  $E_{\text{внут}}'(t, s) = \frac{E_{\text{внут}}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{сизод}}}$  для всех радионуклидов, кроме изотопов йода.

Эффективность йодной профилактики с учетом динамики радиационной обстановки, а также одновременного проведения других защитных мероприятий нами оценивалась в работе [5]. Предложены следующие зависимости для определения внутреннего облучения щитовидной железы:

$$E_{\text{внут},i}'(t, s, t_{\text{ип}}) = \frac{E_{\text{внут},i}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{СИЗОД}}} * K_{\text{осл}}^{\text{йп}}, \text{ где } K_{\text{осл}}^{\text{йп}} = \frac{(100 - R(t_{\text{ип}}))}{100} \quad (2)$$

Таким образом, общая эффективная доза облучения:

$$E'(t, s, t_{\text{ип}}) = \frac{E_{\text{внеш}}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{эв}} \cdot K_{\text{осл}}^{\text{укр}}} + \frac{E_{\text{внут}}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{СИЗОД}}} + \frac{w \cdot E_{\text{внут},i}(t, s)}{K_{\text{осл}}^{\text{СИЗОД}}} * K_{\text{осл}}^{\text{йп}} \quad (3)$$

Где  $E_{\text{внеш}}(t, s)$ ,  $E_{\text{внут}}(t, s)$ ,  $E_{\text{внут},i}(t, s)$  – эффективная или эквивалентная доза облучения, которую вычисляют с учетом перемещения людей при возникновении радиационной аварии, во времени и пространстве;  $R(t_{\text{ип}})$  – степень защиты щитовидной железы при принятии препарата йодида калия в зависимости от момента принятия стабильного йода;  $s$  – расстояние от радиационно-опасного объекта;  $t$  – время с момента начала поступления изотопов нестабильного йода в организм;  $t_{\text{ип}}$  – время между приемом препарата йодида калия и моментом поступления радиационного йода в организм человека;  $K_{\text{осл}}^{\text{эв}}$  – коэффициент ослабления при эвакуации [1];  $K_{\text{осл}}^{\text{укр}}$  – коэффициент ослабления укрытиями [1];  $K_{\text{осл}}^{\text{СИЗОД}}$  – коэффициент ослабления СИЗОД [1], которые будут предотвращать попадание радионуклидов в организм;  $K_{\text{осл}}^{\text{йп}}$  – коэффициент ослабления с помощью приема препарата йодида калия, который предотвращает накопление радиоактивного йода в щитовидной железе [2],  $w = 0.05$  – тканевый взвешивающий коэффициент для щитовидной железы, при переходе от эквивалентной дозе облучения к эффективной.

Также важным параметром, является скорость накопления дозы - мощность. С ее помощью мы будем вычислять дозы облучения без учета проведения защитных мероприятий. Расчет будем проводить для двух случаев: если человек остается на одном месте (4); если человек будет перемещаться по местности (5). Аналогичные выражения и для внутренних доз облучения.

$$E_{\text{внеш}} = \int_{t_1}^{t_2} P_{\text{внеш}}(t, s) dt, \quad (4)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  - время начало и конца облучения.

$$E_{\text{внеш}} = \iint_D P_{\text{внеш}}(t, s) dt ds, \quad (5)$$

где область  $D$  будет выбираться в зависимости от времени после начала аварии и расстояния, на котором находится человек.

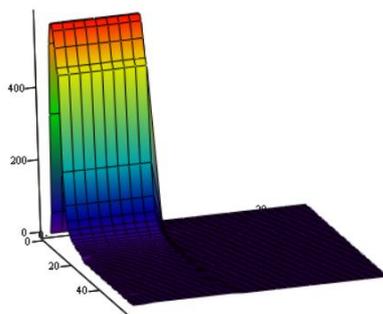


Рисунок 1. График двумерной функции мощности эквивалентной дозы

В качестве показателя эффективности комплексной защиты населения нами принят качественный показатель  $W = W_1(x_1, y) \cap W_2(x_2, y)$ , который представляет объединение двух показателей эффективности и по своей сути является математическим эквивалентом степени достижения цели любого защитного мероприятия – снизить дозу облучения человека.  $W_1(x_1, y)$  – показатель эффективности комплексной защиты населения.  $W_2(x_2, y)$  – показатель эффективности снижения облучения щитовидной железы до допустимого уровня. Показатели эффективности  $W_1(x_1, y)$  и  $W_2(x_2, y)$  принимают два значения: 1, если цель снижения облучения до допустимого уровня достигнута, и 0, если – не достигнута. Вектор характеристик  $x_2 = (t, s, t_{\text{ип}})$  описывает действия при проведении йодной профилактики и применении специальных СИЗОД, а вектор  $x_1 = (t, s, t_{\text{ип}})$  описывает действия при укрытии людей в защитных сооружениях, использовании различных СИЗОД, а также при проведении йодной профилактики. Все это управляемые переменные описывающие те или иные организационные решения по комплексной защите. Вектор  $y = (s1, m, r)$  для обоих показателей описывает обстановку, в которой проводятся защитные мероприятия. Он содержит следующие компоненты:  $s1$  – расстояние от источника опасности в момент аварии, время суток  $m$  и местоположение людей  $r$ .

Критерием эффективности  $\max W_1(x_1, y)$  является – не превышение допустимого, в аварийных ситуациях, уровня облучения всего организма, который мы обозначили через  $Z_1, Z_1 = 100$  мЗв, согласно [3]. Таким образом, показатель эффективности можно представить в виде выражения (6):

$$W_1(t, s, t_{\text{ип}}, m, r, s1) = \begin{cases} 1, & \text{при } E' \leq Z_1 \\ 0, & \text{при } E' > Z_1 \end{cases} \quad (6)$$

Критерием эффективности  $\max W_2(x_2, y)$  является – не превышение допустимого, в аварийных ситуациях, уровня облучения щитовидной железы, который мы обозначили через  $Z_2, Z_2 = 50$  мЗв для детей,  $Z_2 = 250$  мЗв для взрослых, согласно [3]. Следовательно, показатель эффективности можно представить в виде (7):

$$W_2(t, s, t_{\text{ип}}, m, r, s1) = \begin{cases} 1, & \text{при } E_{\text{внут},i}' \leq Z_2 \\ 0, & \text{при } E_{\text{внут},i}' > Z_2 \end{cases} \quad (7)$$

### Выводы

В результате исследования будет произведена оценка эффективности комплексной защиты населения, при совместном рассмотрении процессов распространения радионуклидов в

случае аварии, перемещения населения в 50-километровой зоне радиационного загрязнения, рассмотрении процессов защиты щитовидной железы с помощью стабильного йода, защиты от облучения с помощью средств индивидуальной защиты органов дыхания и укрытия людей в защитных сооружениях. Для этого был разработан показатель эффективности комплексной защиты населения, и математическая модель, позволяющая уточнить время проведения защитных мероприятий, а также оценена эффективность принятия препарата стабильного йода на различных расстояниях от источника радиационной аварии и в различные моменты времени после начала аварии, при разнообразных моделях поведения людей.

### **Библиография**

1. Балтрукова Т.Б., Баринов В.А. и другие. Радиационная медицина: учебное пособие. – СПб.: Политехника-сервис, 2013. – Ч.3: Основы обеспечения радиационной безопасности. – 151 с.
2. Лягинская А.М., Ермалцкий А.П., Осипов В.А. и другие. Руководство по йодной профилактике в случае возникновения радиационной аварии: Методические рекомендации. -М.: Федеральное медико-биологическое агентство, 2010. -44 с.
3. Романович И.К., Балонов. М.И., Бардовский А.Н. и другие. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. -М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. -100 с.
4. Стамат И.П., Барковский А.Н. и другие. Оценка поглощенных и эффективных доз ионизирующих излучений у населения, постоянно проживающего на радиоактивных следах атмосферных ядерных взрывов: Методические указания. —М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001.— 112 с.
5. Хлопук О.Л., Поляков В.М. Оценка эффективности организационных мероприятий йодной профилактики в зонах радиационно-опасных объектов. Тезисы докладов XVI международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» Т.5 М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023. Стр. 208-212.

*Характер симметрии четырёхлучевых кораллов из среднего девона живетского 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 живетских 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 гастроваскулярной 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 возникла 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 имела).

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  $S_1=1,57\text{мм}^2$ .

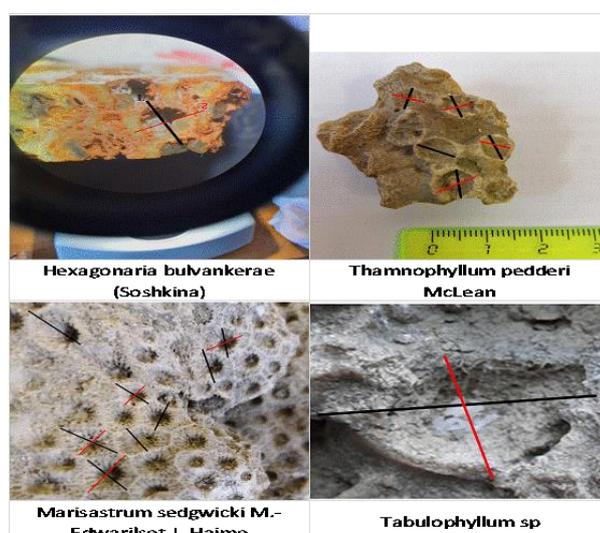


Рисунок 1. Оси симметрии у кораллитов различных родов ругоз

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.

**СЕКЦИЯ 4.**

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ И ГОРНОГО ДЕЛА**

**Подсекция 4.1. Актуальные проблемы автоматизации и энергетики геологической разведки  
и горного дела**

**Повышение производительности экскаватора ЭКГ-10 путем модернизации внутренней  
поверхности ковша футеровкой из высокомолекулярного полиэтилена**

**Галиулин И.В.\* (МГРИ, [ilya.galiulin@bk.ru](mailto:ilya.galiulin@bk.ru)),  
Соловьев И.М. (МГРИ, [solovyevim@mgri.ru](mailto:solovyevim@mgri.ru))**

**Аннотация**

Повышение производительности работы экскаватора ЭКГ-10 путем применения усовершенствованного покрытия ковша в условиях Зангезурского медно-молибденового комбината.

Внутренняя поверхность ковша покрывается пластинами из высокомолекулярного полиэтилена на болтовых креплениях, что значительно увеличивает ресурс ковша и снижает налипание породы при работе. Замена изношенных пластин осуществляется непосредственно на предприятии.

**Ключевые слова**

Производительность, экскаватор, покрытие, футеровка, модернизация.

**Теория**

В 2016 – 2017 году в распоряжение Зангезурского медно-молибденового комбината (ЗММК) поступил экскаватор ЭКГ-10 с полноповоротной механической лопатой с емкостью ковша 10 м<sup>3</sup>. В ходе работ была выявлена существенная проблема – из-за влажности пород и низкой температуры воздуха происходит налипание горной массы на ковше экскаватора. Это приводит к снижению производительности. В процентном соотношении падение производительности составляет 15 – 30 % от объема работ.

Решение проблемы налипания возможно двумя методами. Первый – чистка ковша ручным способом (механическими, тепловыми, пневматическими или гидравлическими средствами). Второй – футеровка поверхности ковша (высокомолекулярным полиэтиленом или другими видами пластмасс).

Недостатком первого метода является затрата времени и ресурсов на дополнительную обработку ковша. Для такой обработки требуется останавливать работу экскаватора до завершения очистки. Очистка достаточно трудоемка, выполняется силами одного рабочего с применением дополнительного рабочего оборудования, занимает много времени и создает риски получения травм при работе.

Второй метод выгодно отличается, так как после футеровки ковш практически не требует чистки и производительность экскаватора значительно возрастает. Также повышается ресурс работы ковша.

В качестве материала футеровки в современных условиях экономически выгоден высокомолекулярный полиэтилен. Этот материал имеет относительно не высокую цену. Обладает такими свойствами как износостойкость, химическая стойкость, ударопрочность и ударная вязкость, не трескается при перепаде температур и имеет низкую адгезию при взаимодействии с различными породами. Такое покрытие не промерзает, что снижает налипание влажного сырья.

Экспериментальным путем было установлено, что налипание породы в ковше происходит, как правило, за 3 – 5 черпаний, а по окончании погрузки остаток породы в ковше

составляет 20 – 30% его емкости. Очистки ковша вручную составляют 1,5 – 2,2 чел./час в смену, что приводит к значительному снижению производительности экскаватора.

Были установлены зоны внутренней поверхности ковша, где больше всего идет налипание горной породы. Именно на эти зоны и были установлены пластины профилактического материала. Также была определена зависимость адгезии горной породы к различным поверхностям от температуры:

$$y = \alpha \cdot e^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2} + \varepsilon \quad (1)$$

где:  $x$  – температура;  $y$  – адгезия породы к различным поверхностям;  $\varepsilon$  – случайные ошибки;  $\alpha$  – значение адгезии при  $t = 0$  °C;  $b$  – температура, при которой максимальное усилие на сдвиг;  $c$  – условно постоянная.

График зависимости адгезии породы к профилактическому материалу (высокомолекулярный полиэтилен) показан на рисунке 1.

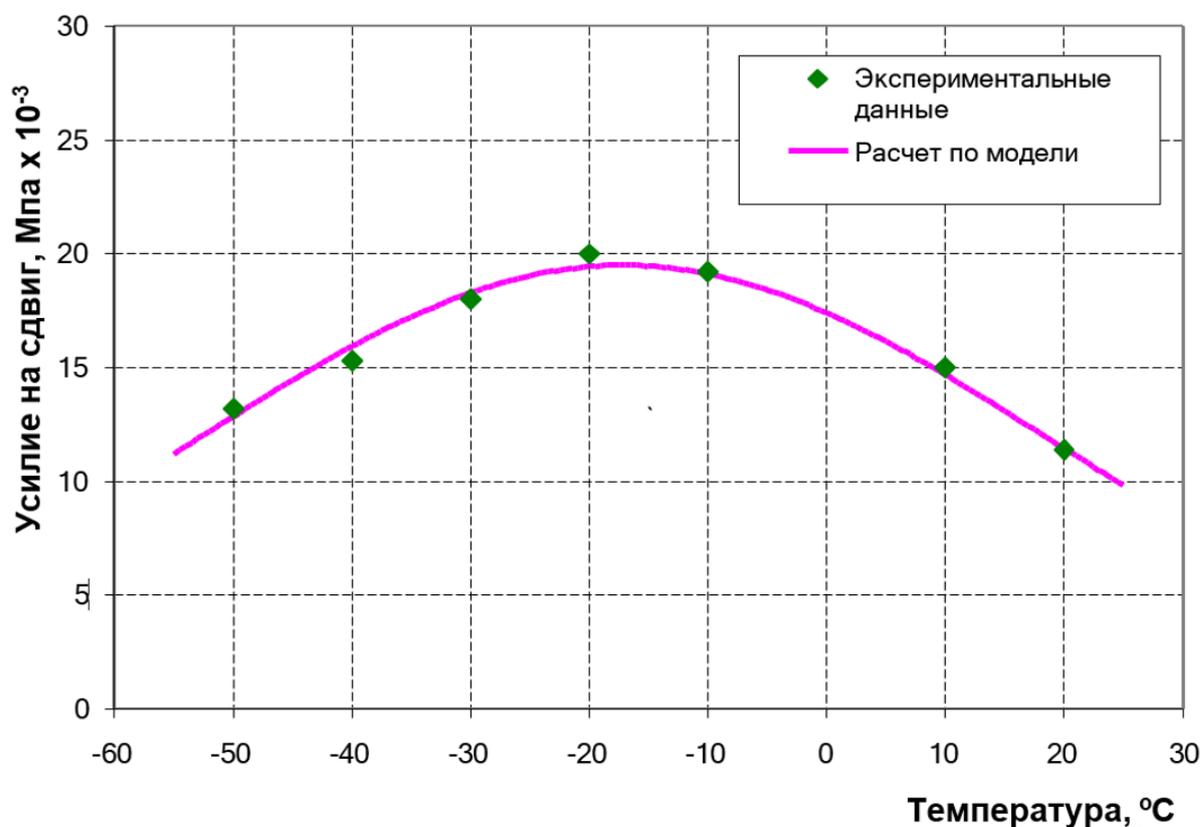


Рисунок 1. Зависимость адгезии породы к профилактическому материалу от температуры окружающей среды

В результате расчетов установлено, что трудоемкость очистки внутренней поверхности ковша при использовании композиционного материала не превышает 0,2 – 0,4 чел./час в смену, что приводит к снижению себестоимости экскавации примерно на 20%.

Опытная эксплуатация экскаваторов с ковшами, покрытыми высокомолекулярным полиэтиленом, показала, что при использовании данного покрытия периодичность замены ковша уменьшается вдвое по сравнению с базовым вариантом. График хронологии замен ковша показан

на рисунке 2. А риски прилипания и примерзания породы снижаются в 3 – 10 раз в зависимости от температуры окружающей среды и физико-химических свойств породы.

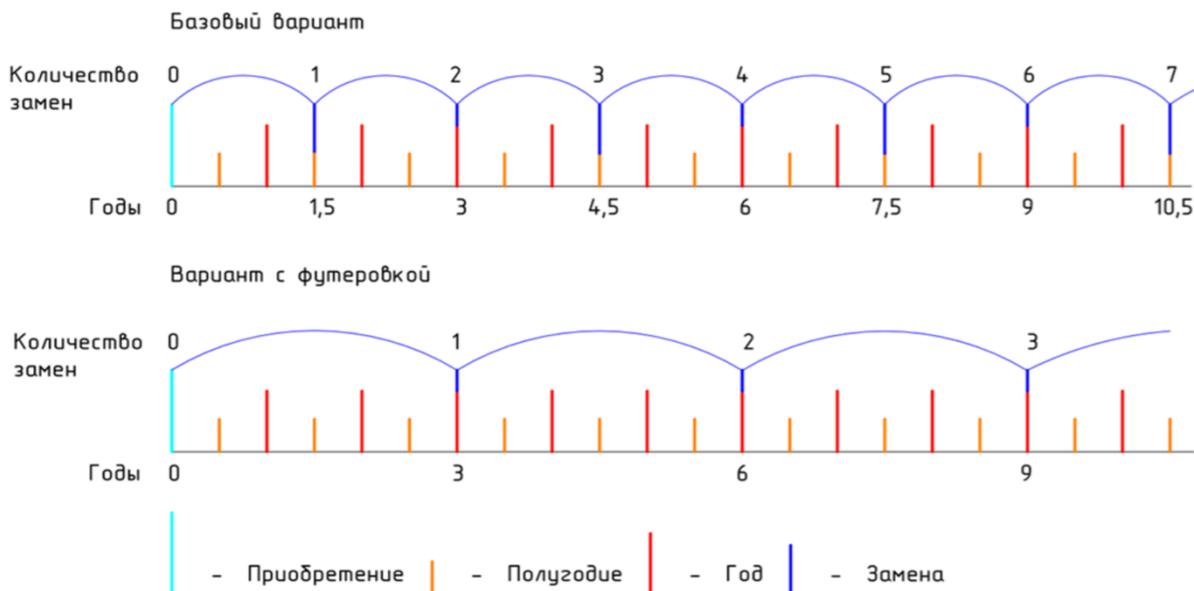


Рисунок. 2 Хронология замен ковша в базовом и в альтернативном вариантах в горизонте планирования 10-и лет

В таблице 1 показано сравнение экономических показателей ковшей без футеровки и с футеровкой. Из расчетов видно, что способ с футеровкой ковша наиболее выгоден. Выгода составила 1 400 100 рублей.

Таблица 1

Наименование числовых показателей	Без футеровки	С футеровкой
Количество замен за 10 лет, г	8	4
Стоимость нового ковша (доставка + НДС), руб	420000	420000
Стоимость футеровочного материала (доставка + НДС + крепежные материалы), руб	—	69975
Срок службы ковша, г	1,5	3
Итого	3360000	1959900

### Выводы

Покрытие ковшей экскаваторов высокомолекулярным полиэтиленом является перспективной технологией модернизации рабочего оборудования этих машин. Периодичность замены ковшей, покрытых высокомолекулярным полиэтиленом, снижается в два раза, по сравнению с базовым вариантом. Себестоимость экскавации уменьшается примерно на 20%. Обслуживать ковши с покрытием значительно проще, снижаются риски получения травм.

### **Библиография**

1. Бернс Б., Хавранек П.М. Руководство по оценке эффективности инвестиций (методика UNIDO): Пер. с английского перераб. И доп. Изд. – М: АОЗТ «Интерэкспорт», «ИНФРА-М», 1995 г.
2. Отраслевые обзоры по рынкам металлов. Информационно-аналитический журнал «Металлургический бюллетень». – Интернет издание. <https://metalbulletin.ru/>
3. Презентационные материалы: «Стратегическое развитие Зангезурского ММК с целью увеличения переработки руды до 30000000 т в год» - ЗАО «ЗММК», 2023 г.
4. Программа закрытия Каджаранского медно-молибденового рудника в Сюникской области Республики Армения – Каджаран, ЗАО «Зангезурский медно-молибденовый комбинат», 2016.

*О перспективах использования электроимпульсного бурения*

*Лебедев М.Е.\* (МГРИ, maxfan54@gmail.com),*

*Соловьев А.М. (МГРИ, solovevam@mgri.ru )*

**Аннотация**

Эффективность проходки при помощи электрических импульсов может быть выше, чем механическими способами. В докладе изложена информация о принципах электроимпульсного бурения и современном состоянии исследований по этой теме.

**Ключевые слова**

Электроимпульсное бурение, бурение скважин.

**Теория**

Традиционные способы воздействия на горные породы, основанные на их механическом разрушении, практически приблизились к пределу своих технических возможностей. В связи с этим в мире возникла проблема разработки новых, более эффективных способов разрушения горных пород, обеспечивающих на длительную перспективу конкурентоспособность таких устройств по сравнению с лучшими в мире образцами буровой техники.

Эффективность проходки при помощи электрических импульсов может иметь преимущество перед другими методами бурения.

Метод проходки при помощи электрических импульсов, основанный на эффекте Воробьевых, заключается в том, что при бурении скважина заполняется промывочной жидкостью, электрическая прочность которой превышает электрическую прочность породы забоя. К забою скважины прижимаются 2 электрода и через них подаются кратковременные электрические импульсы напряжения (рис.1).

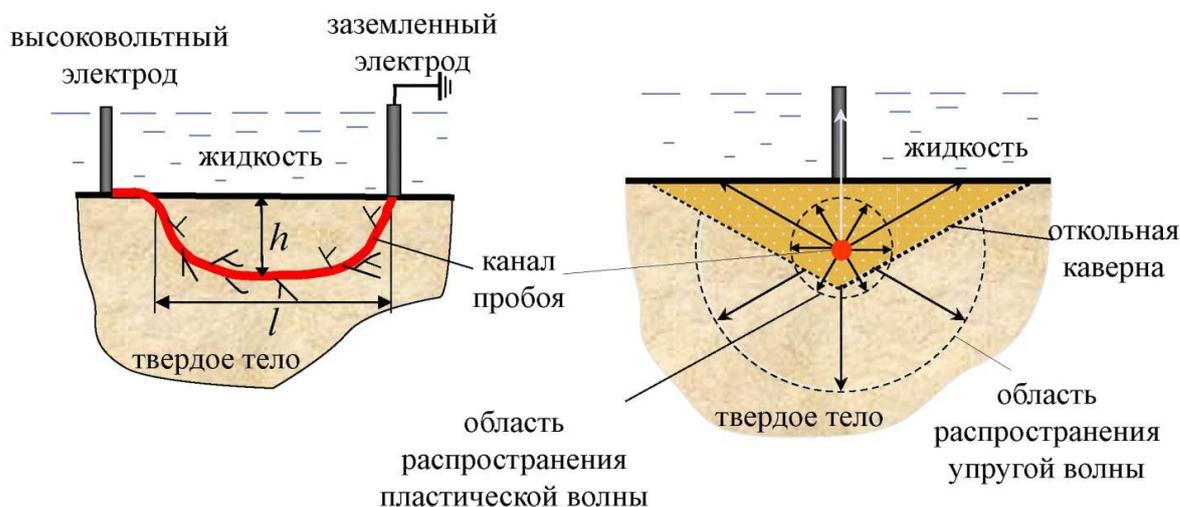


Рисунок 1. Принцип разрушения горной породы электрическим импульсом

Электрическая схема электроимпульсного воздействия на горные породы может быть описана с помощью уравнения Кирхгофа:

$$L \frac{di}{dt} + (r_z + R_c) \cdot i = U, \frac{dU}{dt} = - \frac{i}{C} \quad (1)$$

Где:  $C$  – емкость,  $i$  – ток,  $r_z$  – сопротивление,  $U$  – напряжение,  $R_c$  – сопротивление канала,  $L$  – индуктивность.

При этом принципиальная электрическая схема будет выглядеть как последовательное соединение R-L-C элементов (рис.2).

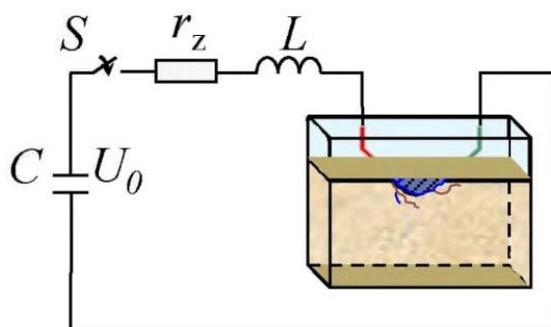


Рисунок 2. Электрическая схема для создания разряда

Разряд проходит через твердое тело. Электрический пробой сопровождается эффективным разрушением породы. В этом и заключается суть данного метода проходки.

Для сравнения рассмотрим самый распространённый метод проходки - роторное бурение. При всеобщей известности данного метода он не всегда является самым эффективным или выгодным, так как, например, при использовании этого метода требуется подбор соответствующего долота и использование специального породоразрушающего инструмента. Так же не мало важным фактором в рассмотрении разницы данных методик является стоимость проходки.

Для более наглядного рассмотрения данного вопроса рассмотрим график сравнения стоимости традиционного роторного бурения и технологии электроимпульсного бурения в кристаллических горных породах (рис.3).

Как мы видим при равных вводных данных стоимость электроимпульсного метода бурения имеет более низкую стоимость, что дает более выгодные условия для использования и развития данной технологии.

Как и любой метод проходки, электроимпульсный метод имеет свои недостатки, такие как:

- Твёрдая изоляция, используемая в буровом снаряде, испытывает многократное воздействие импульсного напряжения при высоких градиентах электрического поля, что существенно уменьшает срок её службы, и требует специальных исследований;
- Неоптимальные режимы промывки скважины, в связи с использованием дорогих масел в качестве промывочной жидкости;
- Малый ресурс применяемых источников высоковольтных импульсов;
- В настоящее время не найден надежный способ использования буровых растворов на водной основе.

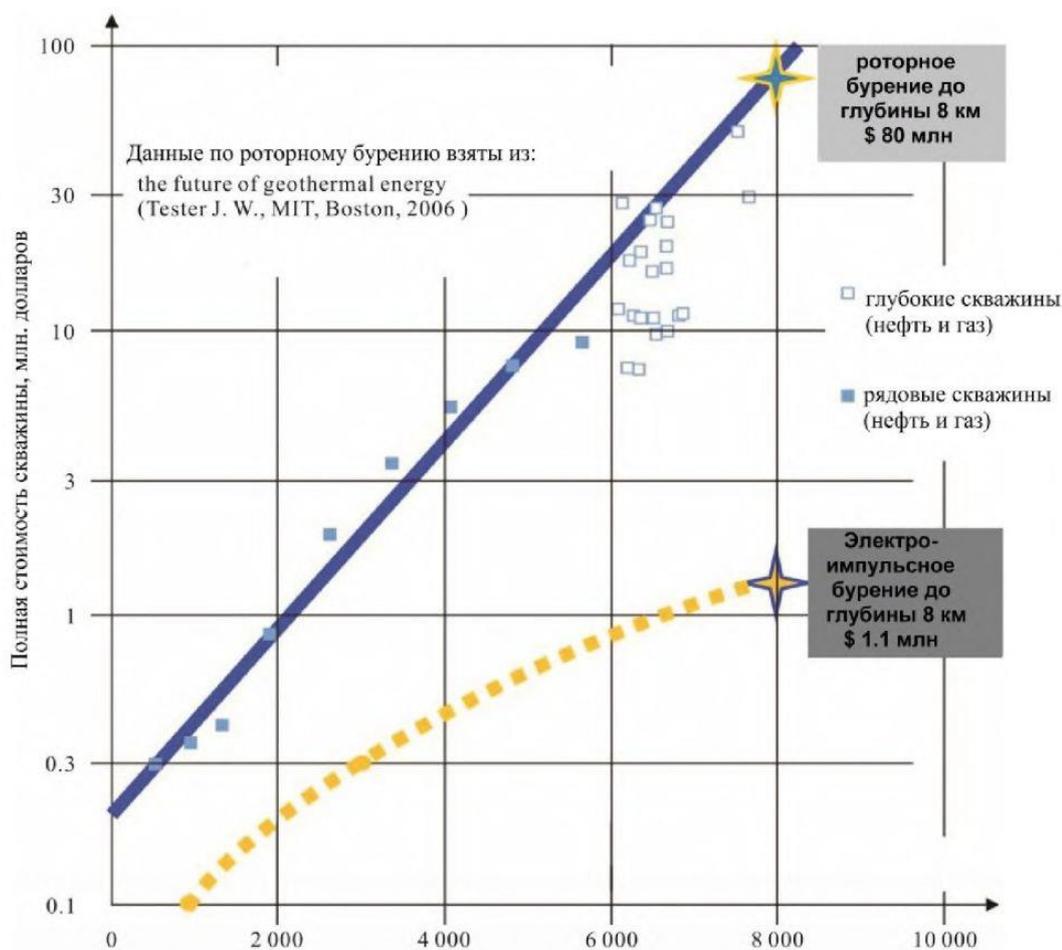


Рисунок 3. График сравнения стоимости традиционного роторного бурения и технологии электроимпульсного бурения в кристаллических горных породах

### Выводы

Метод бурения при помощи электрических импульсов имеет огромный потенциал в перспективе. Учитывая данные, указанные выше, можно сказать, что так как данный метод является одним из новейших, то это делает его перспективным для развития и изучения. Одним из таких факторов является экономическое преимущество. Учитывая разницу финансовых вложений, эта разница может быть вложена в модернизацию и улучшение данной технологии.

### Библиография

1. Важов В.Ф. Развитие научно-технологических основ электроимпульсного бурения и резания горных пород // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Томск 2015 г.
2. Нусупбеков Б.Р. и др. О способе электроимпульсного бурения скважин и разрушения твердых тел // Журнал технической физики, т. 87, вып. 6, 2017 г.
3. Рязанов Н.Д. Прогресс в бурении скважин - за электроимпульсным способом бурения // American Scientific Journal, №32, 2019 г.
4. Hans O. Schiegg, Arild Rødland, Guizhi Zhu, David A. Yuen, Electro-Pulse-Boring (EPB): Novel Super- Deep Drilling Technology for Low Cost Electricity // Journal of Earth Science, Vol. 26, No. 1, p. 037-046, 2015 г.

*Прямой привод на базе синхронного электродвигателя с постоянными магнитами для  
горных конвейеров*

*Крылков М.Ю.\* (МГРИ, m.krylkov@mail.ru),  
Логачёв Д.О. (МГРИ, logachevda@mgri.ru),  
Крылков Н.М. (Учалинский ГОК, 777nikkrylkov@mail.ru)*

**Аннотация**

Рассмотрены основы векторного способа управления синхронным двигателем с постоянными магнитами для привода горных конвейеров, дана информация о преобразованиях координат, уравнение электромагнитного момента машины. Представлено описание работы системы.

Реализация поставленной цели осуществлена в среде Matlab-Simulink. Проведено имитационное моделирование работы электродвигателя совместно с его системой управления. Представлены результаты моделирования.

**Ключевые слова**

Векторное управление, синхронный двигатель с постоянными магнитами, моделирование системы управления, Matlab-Simulink.

**Теория**

Векторное управление является наиболее эффективным способом управления бесщёточными электродвигателями. Данный способ управления позволяет независимо регулировать скорость вращения и момент электропривода. Основной принцип - управление положением вектора магнитного потока якоря в пространстве, и, как следствие, регулирование электромагнитного момента двигателя. Векторный способ управления двигателями переменного тока характеризуется высокой точностью регулирования скорости. Данный способ управления приводит к повышению коэффициента полезного действия (КПД) электропривода [1].

Синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) может использоваться как исполнительный механизм в системе привода горных конвейеров (рис.1).

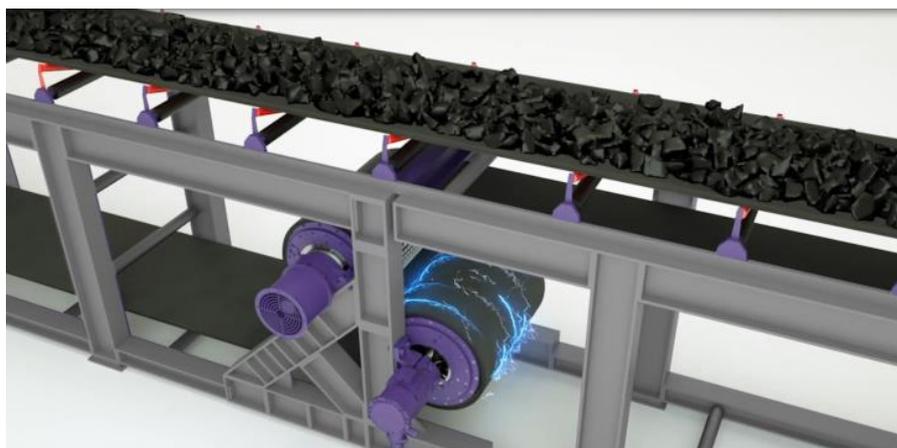


Рисунок 1. Привод ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного электродвигателя (схема «мотор-барабан») [решение китайской компании Jiasung]

Он обладает более высоким КПД и лучшими массогабаритными показателями, большим диапазоном регулирования частоты вращения по сравнению с традиционно применяемым асинхронным электродвигателем. На рисунке 2 показана схема привода ленточного конвейера

(ЛК) на основе традиционного асинхронного (рис.2а) и синхронного двигателей (рис.2б).

Электроприводы горных конвейерных установок должны обеспечивать работу в длительном режиме при переменной нагрузке обычно без реверсирования направления движения.

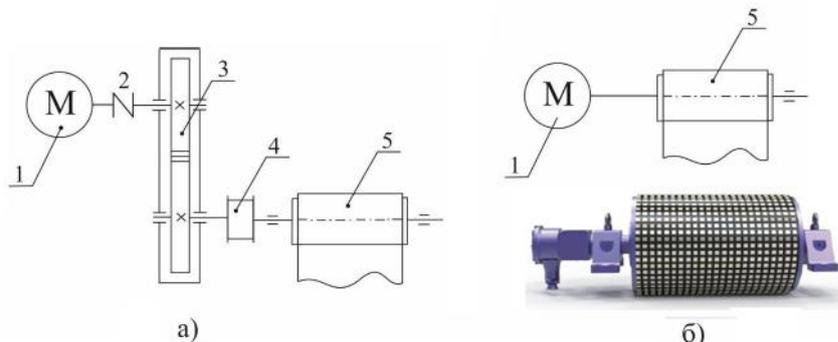


Рисунок 2. Схема привода ЛК на базе асинхронного электродвигателя (а) и безредукторного синхронного электродвигателя по типу «мотор-барабан» (б): 1 – двигатель, 2 – упругая муфта, 3 – редуктор, 4 – зубчатая муфта, 5 – приводной барабан ЛК

Очевидно, что отсутствие механических компонентов в синхронных безредукторных электроприводах ленточных конвейеров способствует увеличению их надежности и эффективности, имеет уменьшенный момент инерции, что позволяет повышать предельные динамические показатели привода.

Система «мотор-барабан» стала применяется на рудниках и карьерах в цифровых приводах конвейеров. Привод состоит из электродвигателя оборудования управления и защиты.

Математическая модель СДПМ в системе координат  $d, q$  (рис.4), ориентированной по магнитной оси ротора описывается системой (1)

$$\begin{aligned} \frac{dI_d}{dt} &= \frac{1}{L_d} (U_d - R_s I_d + \omega L_q I_q); \\ \frac{dI_q}{dt} &= \frac{1}{L_q} (U_q - R_s I_q - \omega L_d I_d - \omega \Psi_f); \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_c - \beta \cdot \Omega); \quad \omega = Z_p \Omega; \\ M &= \frac{3}{2} Z_p [\Psi_f I_q + (L_d - L_q) I_d I_q], \end{aligned} \tag{1}$$

где  $I_d, I_q, U_d, U_q$  – токи и напряжения статора по осям  $d$  и  $q$ ;  $M, M_c$  – электромагнитный и нагрузочный моменты;  $\omega$  – частота вращения ротора, электрическая частота;  $J$  – момент инерции ротора;  $\beta$  – коэффициент вязкого трения (коэффициент демпфирования);  $\Psi_f$  – создаваемое постоянными магнитами;  $L_d, L_q$  – индуктивности обмотки статора по продольной и поперечной осям ротора.

Модель системы управления электродвигателем СДПМ в Matlab-Simulink представлена на рисунке 3. Она включает в себя источник питания (DC Voltage Source), генератор ШИМ-сигнала (PWM Generator), трехфазный мостовой инвертор напряжения (Universal Bridge). В

качестве модели СДПМ, используется стандартный блок "Permanent Magnet Synchronous Machine" библиотеки SimPowerSystems, ПИ-регуляторы токов по осям  $d$  и  $q$ , блок задания потокосцепления. Матрицы фазных или координатных преобразований вычисляются при помощи блока "Subsystem".

Используются три системы координат (СК).

#### **Неподвижная трехфазная система координат**

Система имеет три пересекающиеся в начале координат, оси ( $A, B, C$ ): оси расположены под углом  $120^\circ$  друг к другу, что отображено на рисунке 4.

#### **Неподвижная Декартова система координат**

Перпендикулярные оси  $\alpha$  и  $\beta$ , изображенные на рисунке 4, выбираются при условии совпадения одной из них с одной из осей трехфазной системы. Переход от трехфазной к прямоугольной (декартовой) СК в литературе называется преобразованием Кларк [5].

#### **Вращающаяся Декартова система координат**

Перпендикулярные оси  $d$  и  $q$ , выбираемые по оси полюсов и перпендикулярно ей соответственно, вращаются вокруг начала координат, совпадающего с началом трех- или двухфазной неподвижной системы, с угловой скоростью  $\omega_k$ , равной частоте вращения ротора. Именно в данной системе координат осуществляется векторное управление, т.к. в этом случае уравнения машины, например электромагнитного момента, принимают простейший вид, эти оси показаны на рисунке 4 (В).

Переход между вращающейся СК к неподвижной называется в зарубежной литературе преобразованием Парка [2,3,5].

В результате моделирования получали графические зависимости угловой скорости вала двигателя и электромагнитного момента типа тех, которые представлены на рисунке 4.

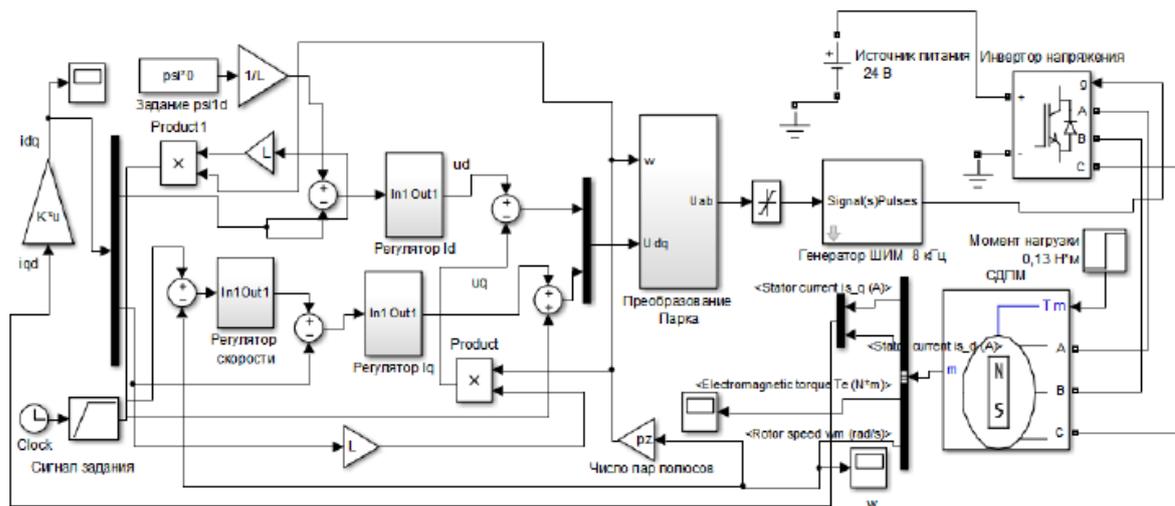


Рисунок 3. Схема модели привода на базе СДПМ в Matlab-Simulink

Данная структура должна постоянно осуществлять преобразования Кларк и Парка [4].

Электроприводы конвейерных установок обычно работают в длительных режимах при переменных нагрузках без реверсирования направления движения. В некоторых случаях, например, при работе конвейерной установки на уклон, электропривод должен работать как в двигательном, так и в тормозном режимах.

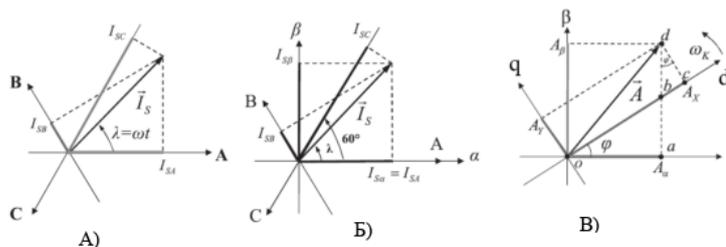


Рисунок 4. Три системы координат: А) система осей А, В, С;  $I_s$  - пространственный вектор тока статора. Б) система осей  $\alpha$  и  $\beta$  в совмещении с А, В, С. В) вращающаяся система d, q в совмещении с неподвижной

СДПМ делят на машины с внутренней ( $I$  - interior) и поверхностной ( $S$  - surface) установкой магнитов на роторе, различающихся индуктивностями по продольной оси  $L_d$  и по поперечной оси  $L_q$ , для схемы применения S-СПДМ эти индуктивности обычно равны:  $L_d = L_q$ .

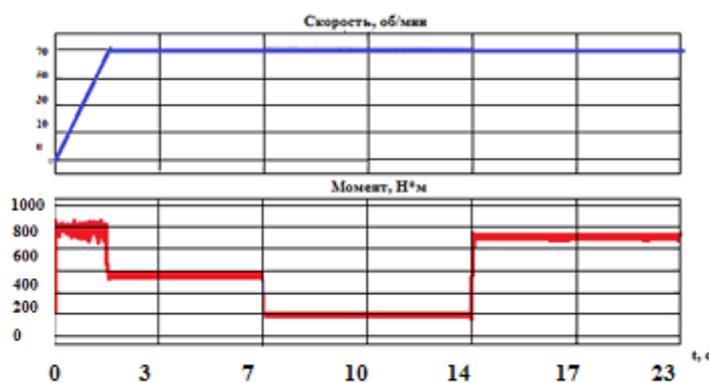


Рисунок 5. Графики изменения скорости вращения и момента на валу СДПМ при моделировании в Matlab-Simulink

В ходе моделирования производились имитационные пуски ЭД с нагрузкой, сброс и повторные нагружения машины. Частота вращения после разгона поддерживалась на эталонных (промышленных) уровнях на протяжении всего времени работы системы (рис.5). *Matlab-Simulink* имитационная модель системы управления СДПМ оказалась устойчивой и с хорошим качеством управления.

### Выводы

*Matlab-Simulink* имитационная модель привода ленточного конвейера на основе СДПМ устойчива и имеет хорошее качество управления.

К преимуществам синхронного электропривода по сравнению с векторно-управляемым асинхронным электроприводом относятся:

- лучшие массогабаритные показатели;
- более высокий коэффициент мощности двигателя;
- уменьшенный момент инерции, позволяющий повышать предельные динамические показатели привода.

Изучение студентами рассмотренной имитационной модели системы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами, способствует улучшению их подготовки по электроприводам горной техники, в плане современного цифрового уровня развития горного производства, в частности конвейерного рудного транспорта.

### **Библиография**

1. Векторное управление двигателем [Электронный ресурс] // Инженерные решения.  
URL : <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/vector>
2. Омара А.М., Слепцов М.А. 2019 г. Прямое управление моментом в тяговом электроприводе с магнитоэлектрическим двигателем на основе пространственно-векторной модуляции. Электричество. Выпуск № 5. с. 47—57
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина».— Иваново. 2008 — 298 с
4. Гаврилов Р.С. Управление синхронными машинами с постоянными магнитами: учебное пособие / Р.С. Гаврилов, Ю.Н. Мустафаев; Балт. гос. ун-т. — СПб., 2019.
5. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика). ЭФО, 2013. 63 с.

*Анализ системы разработки с использованием льдопородной закладки*  
**Докладчик: Шкаричев К.А.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва, [flikmatick@gmail.com](mailto:flikmatick@gmail.com)),**  
**Докладчик: Абрамов А.М.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва, [SSSAAA1337@ya.ru](mailto:SSSAAA1337@ya.ru)),**  
**Соавтор: профессор, д.т.н., Меркулов М.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва, [mvm.07@mail.ru](mailto:mvm.07@mail.ru))**

#### **Аннотация**

В данной работе проведен анализ системы разработки с применением льдопородной закладки. Рассматриваются ее достоинства и недостатки. Исследуется она на примере рудника Бадран, находящегося в Оймяконском районе республики Саха, известном своими тяжелыми климатическими условиями, которые сильно влияют на стоимость добычи руды.

Также показана важность дальнейшего совершенствования технологии добычи исходя из геоэкономического положения России.

#### **Ключевые слова**

Льдопородная закладка, криолитозона, рудник Бадран, система разработки.

#### **Теория**

Горнодобывающая промышленность всегда была наиважнейшим сектором экономики нашей страны. По данным Росстата, только за 2022 год доля ВВП РФ, получаемая от добычи полезных ископаемых, составила 13,9 %, что в пересчете на рубли составляет 19,4 трлн. Площадь территории криолитозоны Российской Федерации (АЗРФ) составляет около 10,5 млн. км<sup>2</sup>, которая занимает около 60% территории России.

При этом сырье, добываемое в данном регионе РФ, имеет значительный экспортный спрос (около 12 % ВВП) [3]. Поэтому актуальность проблемы очевидна. Кроме организационно-технических и климатологических факторов, ведение горных работ в условиях криолитозоны характеризуется рядом горно-геологических особенностей: снижение прочности породы при оттаивании; существенные трудности при организации вентиляции и пылеподавления (смерзание руды, заполнение старых выработок льдом и т.д. Задача специалистов горного дела - рассмотреть новые, более эффективные системы разработки, которые в конечном счете оказывают определяющее влияние на эффективность работ.

Одним из перспективных методов, повышающих экономичность добычи полезного ископаемого в условиях криолитозоны является использование льдопородной закладки. Льдопородная закладка с одной стороны является хладагентом, с другой - несущей конструкцией. Требуется соблюдение соотношения между количеством дробленой породы и воды, используемой как связующий элемент, которое изменяется в зависимости от температуры. Отклонение от предельного соотношения может привести к тому, что вода не наберет требуемой прочности за необходимый по технологии отрезок времени.

Скорость оттаивания зависит от разности температуры рудничного воздуха и горных пород, от теплоемкости и теплопроводности пород и материалов крепления, а также от объемного содержания воды в горных породах. [1]

Преимуществами льдопородной закладки является:

- сокращение расходов дефицитных вяжущих материалов,
- возможности использования естественного холода,
- снижение ущерба окружающей среде.

Недостатки, к которым относятся:

- низкая технологичность создания льдопородных массивов по сравнению с применяемыми системами с твердеющей закладкой,
- высокая трудоёмкость закладочных работ,
- сложность с доставкой воды и её хранением в незамерзшем состоянии в зимний период.

Рассмотрим проблему на примере рудника Бадран, расположенного в Оймяконском районе Республики Саха (Якутия) [3]. Для решения поставленной задачи необходимо определить:

- факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность и безопасность этого способа разработки;
- параметры, которые необходимо обеспечить;
- оценить преимущества метода, его эффективность и недостатки, влияние которых можно снизить.

К первым факторам относятся:

- минимальные значения температур массива пород приходятся на февраль – апрель месяцы, которые и являются наиболее подходящими для эффективного промораживания закладочного материала;
- температура воздуха в период наибольшего растепления (сентябрь – октябрь) в выработках изменяется от минус 4°С на горизонте 960 м до плюс 0,5°С на горизонте 680 м.

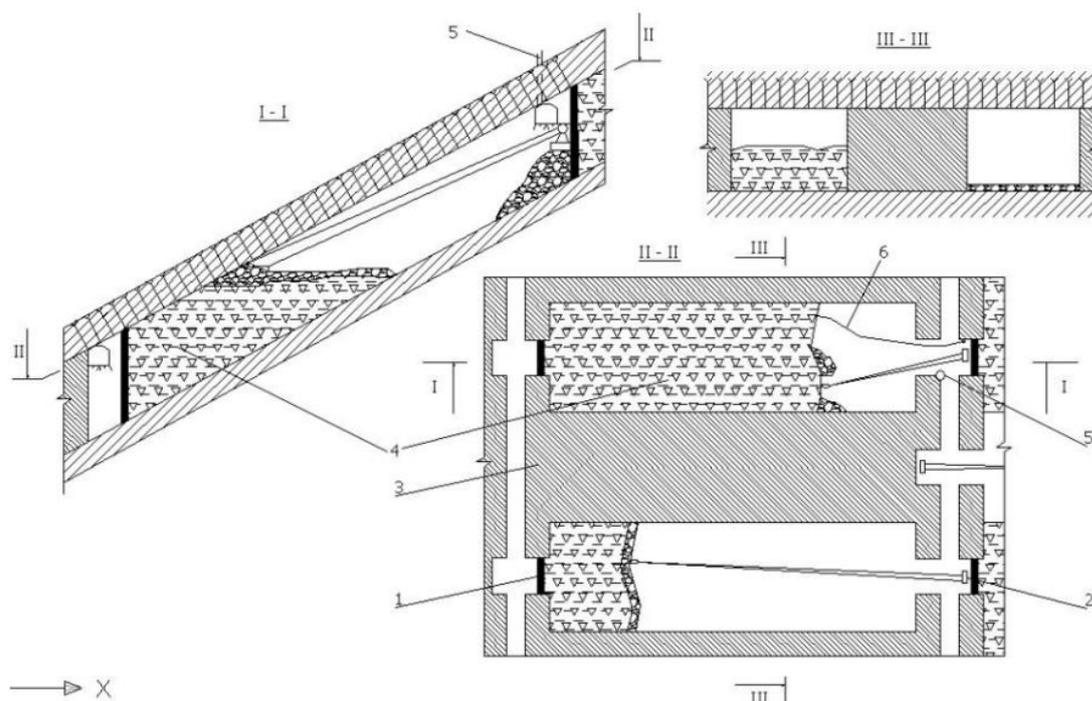


Рисунок 1. Технология добычи руды с использованием льдопородной закладки на руднике Бадран: 1 - перемычка; 2 - скреперная лебедка; 3 - междукамерные целики (вторичные камеры); 4 - первичные камеры; 5 - породоспуск; 6 - водоводный шланг

Добыча руды происходит в две стадии. В первую стадию, которая показана рисунке 1[1], происходит выемка и закладка камер с оставлением междукамерных целиков, которые

вынимаются во вторую стадию. Закладочные работы включают в себя доставку пустых пород, их укладку слоями, пропитывание водой и дальнейшее промораживание, которое может быть как естественным, так и с применением специального оборудования.

Параметры, которые следует соблюдать при этом способе обработки:

- температура массива горных пород с понижением горных работ изменяется от минус 11,9 С на верхних горизонтах до плюс 2,6 С на горизонте 640 м;
- установлено, что нулевые изотермы на 1 рудном столбе проходят в интервале добычных горизонтов 680 – 660 м.

К преимуществам предложенных решений можно отнести:

- обеспечить высокий уровень механизации и увеличить производительность забойного рабочего с 12-18 т/см до 35–40 т/см;
- снизить потери руды до 2 %, разубоживание до 8–10 %;
- снизить объем подготовительно-нарезных работ с 7–9 до 2–5 м/1000 т;
- обеспечить максимальное извлечение руды при меняющейся конфигурации и мощности рудного тела (в местах раздува и в ответвлениях);
- получить дополнительный объем руды из участков, отнесенных к забалансовым, из выработок эксплуатационной разведки;
- наряду с ценной рудой получить дополнительный источник закладочного материала из присечек и поперечных заходов.

К недостаткам метода следует отнести сезонный характер работ, связанный с оптимальными климатическими факторами,

Дальнейшие исследования могут быть связаны с разработкой всесезонной технологии обеспечения минимальные значения температур массива пород.

### **Выводы**

Выделены факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность и безопасность этого способа разработки, параметры, которые необходимо обеспечить, преимущества и недостатки предложенных решений. Намечены направления, требующие дальнейших исследований.

### **Библиография**

1. Петров, Дмитрий Николаевич. Обоснование рациональных параметров формирования льдопородной закладки при подземной разработке месторождений криолитозоны : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 25.00.22 / Петров Дмитрий Николаевич; [Место защиты: Ин-т гор. дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН]. - Якутск, 2014. - 19 с.

2. Райс, Виктор Владимирович. Определение параметров технологии с замораживаемой закладкой выработанного пространства при отработке ценных руд жильных месторождений в криолитозоне : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.22 / Райс Виктор Владимирович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»]. - Санкт-Петербург, 2019. - 216 с. : ил.

3. Западная голд майнинг лимитед: Бадран; операционный проект URL: <https://www.zapadnaya.ru/qa/badran.html#:~:text=Бадран%20-%20это%20подземный%20рудник,локализованы%20в%20нескольких%20рудных%20столбах> (дата обращения 17.03.2024)

**Обоснование технологии ремонта вала насоса типа ЦНС**

*Логачёв Д.А.\* (МГРИ, logachevda@mgi.ru),  
Башкuroв А.Ю. (МГРИ, bashkurovay@mgi.ru),  
Оливетский И.Н. (МГРИ, olivetskiy@mgi.ru),  
Адамова Л.С. (МГРИ, adamovals@mgi.ru)*

**Аннотация**

Цель данного тезиса заключается в необходимости выбора и применения технологии восстановления детали оборудования для обоснования эффективного развития горных работ на руднике.

Рассмотрены: принцип работы устройства насоса типа ЦНС, выбор технологии ремонта, преимущества и недостатки использования данного метода, экономический эффект.

**Ключевые слова**

Насос ЦНС, наплавка, проволоки, демонтаж.

**Теория**

Для изготовления главных деталей используются такие металлы, как: чугун СЧ20, сталь 35Л, сталь 40Х. Устройство насоса типа ЦНС приведено на рис.1

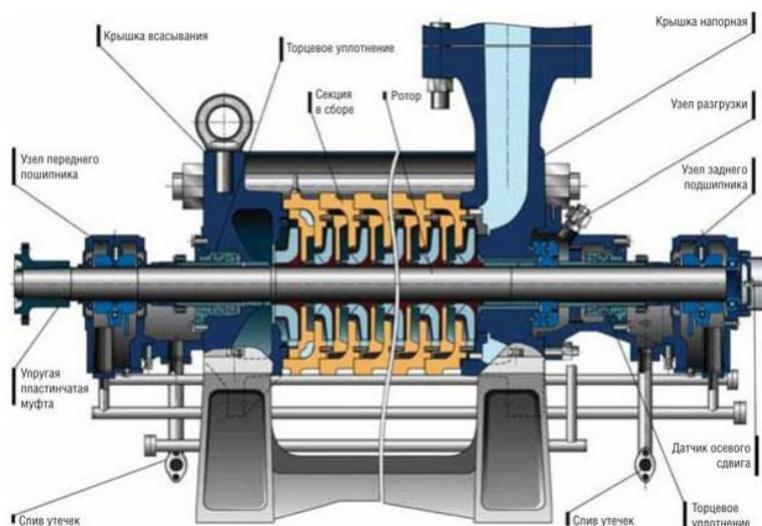


Рисунок 1. Принципиальное устройство насоса типа ЦНС

Долголетний опыт эксплуатации ЦНС в шахтных условиях показал ощутительное сокращение срока службы насосов до капитального ремонта при работе на загрязненной воде. Главные причины отказов насосов: неисправность подшипников, которая приводит к выработке поверхности или срезанию вала из-за заклинивания разрушенного сепаратора; амортизация защитной втулки сальника вала; затягивание каналов рабочих колес и направляющих аппаратов при откачке жестких вод с большим содержанием соли кальция и магния, которое ведет к понижению напора и, следовательно, подачи насоса, и экстремальный износ колец разгрузки. [1]

При работе насоса, вал испытывает вибрационную и циклическую нагрузку в результате чего, шпоночный паз между валом и рабочим колесом изнашивается и с течением времени, может привести к поломке самого насоса. Изнашиванию в шпоночных соединениях подвергаются как шпонки, так и шпоночные пазы, в следствие чего снижается прочность посадки детали на валу.

Из проведенного разбора, можно сделать заключение о том, что в большей степени изнашиваемыми деталями центробежных насосов, влияющими на общую наработку ЦНС до отказа являются: детали ротора, и подшипниковые узлы. А именно: рубашка вала, шпоночные пазы.

На основании проведенного структурно-функционального анализа были сформулированы следующие выводы:

- учитывая материал изготовления насоса, возможно провести восстановление цилиндрической наружной поверхности вала нанесением покрытий различными способами (ручная дуговая наплавка, дуговая наплавка под слоем флюса, наплавка в среде углекислого газа, вибродуговая наплавка)

- необходимо обосновать технологию восстановления вала и шпоночных пазов.

Ремонт производится в цеху, на специальной оборудованной площадке для ремонта насосов. Учитывая имеющееся оборудование, принимаем наплавку в среде углекислого газа на шпоночный паз и поверхность вала, поскольку данный способ обеспечивает исключительно малую зону термического воздействия и минимальный припуск на обработку по сравнению с ручной дуговой наплавкой, что исключительно важно для тела вращения.

Дуговая наплавка в среде защитных газов является наиболее распространенным способом восстановления деталей в ремонтном производстве не только в России, но и за рубежом.

Сущность этого метода состоит в том, что для выполнения наплавки в область горения электродуги подают подготовленный газ (под низким давлением), для того чтобы он смог вытеснить из данной зоны воздух. Для наплавки металлов необходимо брать неплавящиеся и плавящиеся стержни для сварки, а также использовать разные газы:

- инертные – аргон, гелий либо их смесь;
- активные – водород, углекислый газ (CO<sub>2</sub>).

Наплавка деталей из низколегированных и углеродистых сплавов чаще производится в среде углекислого газа с применением плавящихся электродов. Технология признается преимущественно целесообразной с точки зрения затрат средств на выполнение операции. В связи с этим среди механизированных вариантов наплавки металлов данная технология является очевидным лидером.

В следствие того, что при высоких температурах углекислый газ распадается на кислород и 2СО (монооксид углерода), на практике применяется смесь CO<sub>2</sub> с чистым кислородом и 2СО, что гарантирует продуктивное предохранение от азота металла в расплавленном состоянии. При этом газовая композиция имеет окислительные возможности, аналогичные тем, которые наблюдаются при использовании незащищенной газовой атмосферой сварочной проволоки. А это означает, что наплавление в среде углекислого газа надлежит производить со специальными мерами, направленными на качественное раскисление обрабатываемой детали. [3]

Достаточного уровня раскисления добиваются посредством применения проволок для сварки с раскисляющими элементами (от 1 до 2 % марганца и от 0,6 до 1 % кремния). Сечение наплавочной проволоки выбирают в интервале от 0,8 до 2 мм.

Рекомендуемые марки проволоки:

- порошковые – 3Х2В8Т, АН-5, АН-4 и аналогичные им;
- электродные – Св-18ХГС, 10ГС, 08ГС, 08Г2С.

Такие проволоки хорошо раскисляют сварочную ванну и заставляют всплывать окислы марганца и кремния, которые образуются в процессе наплавки, на поверхность расплава. Затем их без проблем удаляют, дождавшись кристаллизации металла.

Когда в проволоке отсутствуют раскислители (марганец, кремний) либо их объем невелик, при наплавлении наблюдается разбрызгивание металла. Это является причиной появления в наплавленном слое трещин и микропор. [5]

Преимущества и недостатки наплавления в среде углекислого газа:

- невысокая чувствительность основного металла к любым видам загрязнений, в том числе и к тем, которые вызываются коррозионными явлениями;
- малая область структурных модификаций металла при сохранении высокой плотности тока и уровня концентрации электродуги;
- возможность автоматизации и качественной механизации наплавочной операции;
- высокий уровень производительности процесса;
- практически полная защищенность ванны от негативных влияний окружающей среды;
- возможность выполнения наплавления в разных положениях электрода в пространстве.

Кроме того, дуговая наплавка в защитной атмосфере позволяет работать с металлами разных толщин и в процессе осуществления операции контролировать ее течение, внося требуемые коррективы.

Недостатком данного метода является разбрызгивание металла, которое происходит, когда выбранная сила тока превышает 500 ампер.

Демонтаж, разборка, сборка и монтаж насоса ЦНС – трудоемкий процесс и занимает от 14 до 24 часов, в этом ремонте участвуют два слесаря горно-шахтного оборудования, в расчете эти затраты не учитываются. [4] Экономический эффект достигается за счет снижения затрат на приобретение новой детали.

Параметры	Восстановление детали	Замена на новую деталь
1	2	3
Стоимость вала, руб.	-	38800
Стоимость ремонта, руб.	2468,42	
<b>Эконом. эффект от восстановления при замене вала, руб.</b>	<b>36 331,58</b>	

Рисунок 2. Расчет экономического эффекта

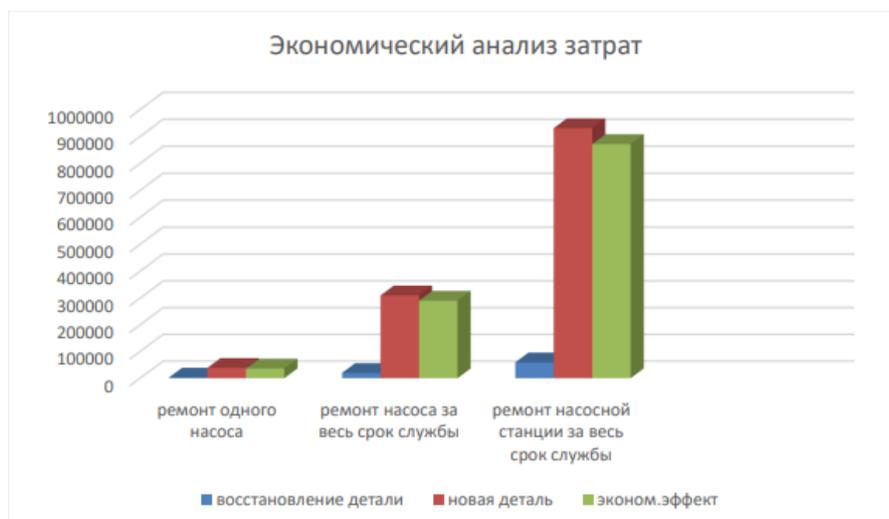


Рисунок 3. Экономический анализ затрат

### Выводы

Данный метод применения технологии восстановления вала насоса наплавкой в защитной среде позволяет восстановить работоспособность вышедшей из строя, продлить срок ее службы и исключить затраты на приобретение новой детали. [6]

Таким образом, применение технологии восстановления вала насоса наплавкой в защитной среде позволяет получить ожидаемый экономический эффект в размере 871 тыс. 957,92 руб. при эксплуатации трех насосов только в одной насосной камере за весь срок их службы.

### **Библиография**

1. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. – М.: «Недра», 1978.
2. Именитов В.Р. Системы разработки рудных месторождений. - М.: МГГУ 2000.
3. Машины и оборудование для шахт и рудников. Справочник Клорикьян С. Х., Старинчева В.В., Сребный М.А. и др. М.: МГГУ 1994.
4. Бурчаков А.С. Процессы подземных горных работ. —М.: «Недра», 1985, -575.
5. Баранов А. О. Расчет параметров технологических процессов при подземной добыче руд. - М.: «Недра», 1985-224 с.
6. Казикаев Д. М. Совместная разработка рудных месторождений открытым и подземными способами. - М.: «Недра», 1967-55 с.

*Автоматизация донной сейсморазведки  
Барменков Е.Ю., (МГРИ, [barmenkoveu@mgri.ru](mailto:barmenkoveu@mgri.ru)),  
Логачев Д.А.\* (МГРИ, [logachevda@mgri.ru](mailto:logachevda@mgri.ru))*

**Аннотация**

Данная научная статья посвящена исследованию и разработке метода автоматизации донных сейсморазведочных работ. В работе представлены результаты исследования, направленного на повышение эффективности и качества данных сейсморазведки на дне моря с использованием современных технологий. Представлен анализ технологий донной сейсморазведки.

**Ключевые слова**

Морские сейсморазведочные работы, шельф моря, самовсплытие, автоматизация.

**Теория**

Морская сейсморазведка является важной отраслью нефтегазовой промышленности, поскольку позволяет компаниям находить подземные запасы углеводородов. Рынок морской сейсморазведки значительно вырос за последние десятилетия в связи с увеличением спроса на энергоресурсы.

Рынок морской сейсморазведки характеризуется высокой конкуренцией между большим числом игроков, предлагающих услуги и оборудование для проведения сейсморазведочных работ. Среди основных игроков на рынке можно выделить такие компании, как Роснефть, Газпром, ЛУКОЙЛ, Schlumberger, CGG, WesternGeco, PGS, Spectrum и другие. Каждая из них имеет свои технологии и методики проведения сейсморазведочных работ.

Основные факторы, влияющие на развитие рынка морской сейсморазведки, включают в себя изменения цен на углеводороды, технологические инновации, регулирование в отрасли, а также сезонные изменения в спросе на услуги сейсморазведки. Например, в условиях падения цен на нефть и газ нефтегазовые компании могут сокращать свои расходы на исследования и разведку новых месторождений, что может привести к снижению спроса на услуги сейсморазведки.

Морская сейсморазведка в России является одной из ключевых отраслей нефтегазовой промышленности. Этот сегмент рынка характеризуется высокой конкуренцией и активным развитием новых технологий и методик исследований.

В последние годы на рынке морской сейсморазведки в России наблюдается тенденция к увеличению объемов работ и расширению географии проведения исследований. Это связано с постоянным ростом спроса на углеводороды, а также с появлением новых месторождений и перспективных регионов для добычи.

Ключевыми факторами успеха на рынке морской сейсморазведки в России являются техническое оснащение компаний, доступ к новейшим технологиям и квалификация специалистов. Также важную роль играет государственная поддержка и регулирование отрасли.

Наиболее популярными технологиями для проведения сейсморазведочных работ на морском шельфе являются использование буксируемых кос и донных сейсмических станций. Буксируемые косы отличает высокая скорость производства работ, а донные сейсмические станции (ДСС) позволяют получить более высокое качество данных. Минусом использования ДСС является высокая стоимость сейсморазведки.

Наиболее эффективным решением для сейсморазведки на шельфы является использование ДСС со скоростью работ сопоставимым с буксируемыми косами, что позволит существенно снизить стоимость. Такое возможно только при условии автоматизации процесса морской сейсморазведки. Рассмотрим подробнее в чем заключается особенность проведения донной сейсморазведки.

Морская донная сейсморазведка - это технология, используемая для изучения геологической структуры для поиска углеводородов на шельфе. Данная методика заключается в том, что специально оборудованное судно отправляет донные станции на дно моря, далее заданная акватория обрабатывается пневмоисточником, который создает акустические колебания. Волны уходят вглубь земли и отражаясь от ее неоднородной структуры возвращаются обратно и в этот момент их записывают ДСС. Итоговая обработка полученных данных позволяет получить глубинные изображения участков земли.

Методы морской донной сейсморазведки позволяют определить расположение нефти и газа на шельфе, а также полезны для прогнозирования землетрясений и других геологических явлений.

Однако использование морской донной сейсморазведки также связано с определенными ограничениями и негативными последствиями, такими как воздействие на морскую фауну и возможность засорения морской среды. Поэтому перед началом исследований необходимо проводить оценку воздействия на окружающую среду и принимаются меры для минимизации вреда.

На сегодняшний день наиболее популярными технологиями донной сейсморазведки является применение ДСС на фале. Работа с донными станциями Geospace (США) и CGGVeritas (Франция) проводится в ручном режиме. Процесс частично автоматизирован только у FairfieldNodal (США). FairfieldNodal использует конвейерную ленту для перемещения станций на судне. Но часто заказчики покупают технологию без конвейерной ленты с целью экономии.

Значительным ограничением для процесса автоматизации является использование фала. При большом объеме работ длина фала может составлять более 10 километров, что требует специализированное судно. Фал производит сейсмические шумы, что снижает качество данных.

Чтобы нивелировать недостатки вышеуказанных технологий и автоматизировать процесс сейсморазведки целесообразно использовать ДСС с функцией самовсплытия. Конструкция самовсплывающей ДСС представлена на рисунке 1. Таким образом нет необходимости использовать фал. ДСС становятся мобильными и автономными. Не нужно использовать специально оборудованное судно. Скорость производства работ существенно возрастает. Современные технологии позволяют считывать данные с ДСС без подключения к шкафам обслуживания. Использование навигационной спутниковой системы обеспечит идентификацию ДСС в пространстве, что позволит направлять судно в нужном направлении. Процесс сейсморазведки на шельфе моря при помощи самовсплывающих ДСС представлен на рисунке 2.



Рисунок 1. Конструкция самовсплывающей ДСС

Использование ДСС с функцией самовсплытия подразумевает наличие якоря, который остается на дне после всплытия. Для соблюдения экологических норм возможно использовать якорь, который со временем распадается на кварцевый песок и воду, что абсолютно безопасно для морской экосистемы.

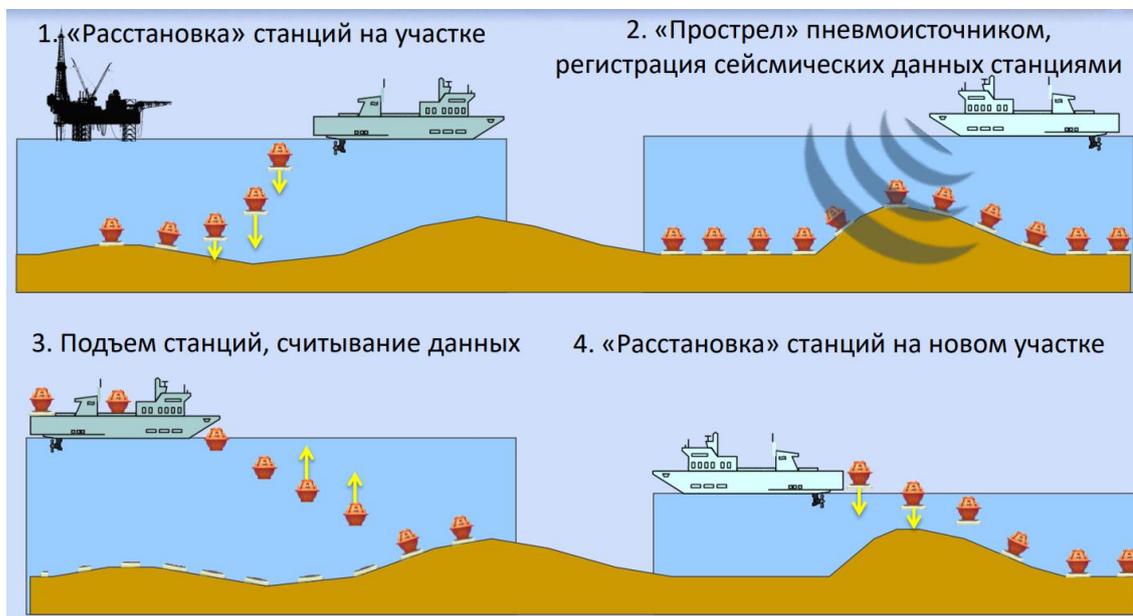


Рисунок 2. Сейсморазведка на шельфе моря при помощи самовсплывающих ДСС

Для повышения качества сейсмических данных целесообразно применение низкочастотных геофоноф, при помощи которых возможно получать широкополосные данные. Применение метода низкочастотного зондирования позволяет осуществлять прямой поиск углеводородов. Данный метод постепенно обретает все более широкую популярность.

### Выводы

Современные технологии позволяют автоматизировать процесс сейсморазведки при помощи донных сейсмических станций на шельфе, что позволит обеспечить производительность работ сопоставимую с буксируемыми косами и получить высокое качество данных.

### Библиография

1. Комплексный подход к проведению сейсморазведки на шельфе моря при помощи автономных самовсплывающих донных станций // <http://id-yug.com/> URL: <http://id-yug.com/index.php/ru/bulatovread/bulatov2017/2017-v1?id=712> (дата обращения: 20.03.2024).
2. Проблемы сейсморазведки на российском шельфе в условиях санкций и падения цен на нефть // <https://magazine.neftegaz.ru/> URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/aktualno/520544-problemy-seysmorazvedki-na-rossiyskom-shelfe-v-usloviyakh-sanktsiy-i-padeniya-tsen-na-neft/> (дата обращения: 19.03.2024).
3. ГРП на шельфе: результаты 2020 г. и планы на 2021–2022 гг. // <https://magazine.neftegaz.ru/> URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/geologorazvedka/667331-grr-na-shelfe-rezultaty-2020-g-i-planu-na-2021-2022-gg/> (дата обращения: 20.03.2024).
4. Мультичастотные высокоразрешающие сейсмические исследования на арктическом шельфе // <https://magazine.neftegaz.ru/> URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/arktika/767640-multichastotnye-vysokorazreshayushchie-seysmicheskie-issledovaniya-na-arkticheskom-shelfe/> (дата обращения: 19.03.2024).

5. Технологии морской сейсморазведки в широком частотном диапазоне: проблемы и возможности // <https://www.researchgate.net/> URL: [https://www.researchgate.net/publication/335404568\\_Tehnologii\\_morskoj\\_sejsmorazvedki\\_v\\_sirokom\\_castotnom\\_diapazone\\_problemy\\_i\\_vozmoznosti](https://www.researchgate.net/publication/335404568_Tehnologii_morskoj_sejsmorazvedki_v_sirokom_castotnom_diapazone_problemy_i_vozmoznosti) Opublikovano\_v\_zurnale\_Sejsmiceskie\_pribory\_2018\_t\_54\_No4\_s42-65 (дата обращения: 20.03.2024).

*О перспективе повышения энергоэффективности дизельных электростанций при  
производстве горных и геологоразведочных работ*

*Головин С.В.\* (МГРИ, golovinsv@mgi.ru),  
Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgi.ru),  
Адамова Л.С. (МГРИ, adamovals@mgi.ru)*

**Аннотация**

Высокие затраты на электро- и теплоэнергию в геологоразведке происходят из-за удаленности от централизованных сетей. Чтобы решить этот вопрос, широко применяются передвижные электростанции на дизельном топливе. Однако их эффективность ограничена до 48% из-за различных потерь. Для увеличения КПД предлагается использовать отработанные газы, удваивая эффективность, но это подходит только для отопительного сезона и не повышает электрическую эффективность. Из-за ограничений в улучшении КПД дизельных двигателей, предлагается развивать комплексные установки с двигателями Стирлинга.

**Ключевые слова**

Геологоразведочные работы, дизельные двигатели, утилизация теплоты, двигатель Стирлинга, тепло- и электроснабжение.

**Теория**

Одной из основных статей расхода при проведении геологоразведочных работ (ГРР) является энергообеспечение. Высокие расходы на тепло- и электроснабжение ГРР обусловлены удаленностью от централизованных сетей электроснабжения, высокой мобильностью и значительными расстояниями между потребителями. В таких условиях наиболее распространенным энергоисточником является мобильная электростанция на базе дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДЭС). Относительная простота и надежность помогли занять ДЭС значительную нишу автономного энергоснабжения.

Однако ДЭС обладают рядом преимуществ, они сталкиваются с серьезной проблемой - низким коэффициентом полезного действия. Двигатели внутреннего сгорания были изобретены во второй половине XIX века и практически не претерпели изменений. Даже лучшие дизельные двигатели имеют КПД до 48%, с остаточная энергия теряется на различные механические и тепловые потери. Реальное решение для повышения эффективности ДЭС - использование теплоты отработанных газов и системы охлаждения в отопительных системах производственных предприятий. Это позволяет удвоить общий КПД ДЭС. [2]. Недостатками такого решения является следующее: - утилизированная теплота востребована только в отопительный период; - система утилизации теплоты не повышает электрический КПД ДЭС.

На современном этапе развития научной мысли, техники и технологий возможность дальнейшего увеличения КПД двигателя практически исчерпала себя. конструкционных мер по повышению технического уровня ДВС приводит к усложнению конструкций, а соотношение мощности, расхода и другие технико-экономическими показатели имеет минимальную разницу с традиционными двигателями [1]. Поэтому, дальнейшую разработку энергетических комплексов для ГРР следует вести на основе исследований комплексных комбинированных установок, позволяющих не только наиболее полно использовать теплоту сгорания топлива, но и максимально преобразовать ее в электроэнергию.

Для повышения эффективности и экологической безопасности мобильных энергоустановок современные научно-технические возможности указывают на следующие направления: - обеспечение адиабатических процессов и их сочетание с турбинами и (или) двигателями Стирлинга; - гибридные приводы, объединяющие тепловые двигатели с электрохимическими генераторами и топливными элементами; - использование анаэробных

энергетических установок с замкнутым газообменом; - применение новых типов рабочих процессов в ДВС с высоким КПД и низкой температурой цикла [1].

Из перечисленных способов, наиболее перспективным считается использование двигателей Стирлинга для повышения энергоэффективности ДЭС за счет использования низкопотенциальной энергии уходящих газов для выработки электрической энергии. Уже в настоящее время двигатели Стирлинга уже получили широкое распространение в солнечных электростанциях с КПД до 33%, в качестве вспомогательных генераторов на подводных лодках и т.п. НАСА разрабатывает систему выработки электроэнергии Стирлингами для спутников на основе атомных элементов. Разработанный Исследовательским институтом № 711 Китайской государственной судостроительной корпорации (CSSC), базовый прототип первого китайского двигателя Стирлинга с большим диаметром цилиндра успешно прошел недавние эксплуатационные испытания. Прототип работал с номинальной мощностью 320 киловатт с коэффициентом преобразования тепловой энергии 40 процентов. Это самый мощный в мире двигатель Стирлинга, как сообщает CSSC, в аккаунте WeChat [4].

Рабочий цикл двигателя Стирлинга  $\beta$ -типа на рис. 1:

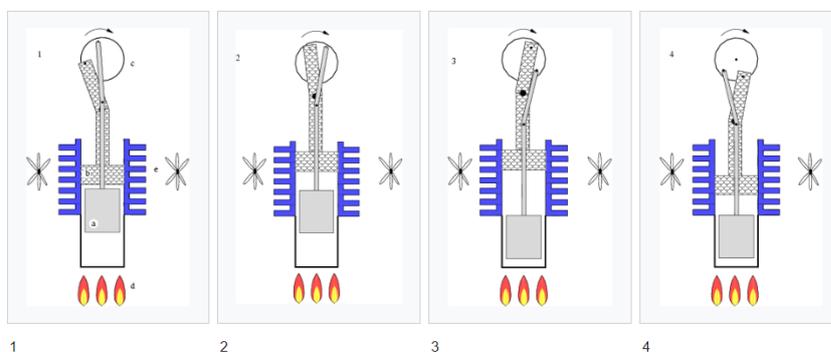


Рисунок 1. Рабочий цикл двигателя Стирлинга  $\beta$ -типа, где: а — вытеснительный поршень; б — рабочий поршень; с — маховик; d — огонь (область нагрева); e — охлаждающие ребра (область охлаждения)

Двигатель Стирлинга – двигатель внешнего сгорания, в котором рабочее тело движется в замкнутом объеме. Основной принцип работы двигателя Стирлинга заключается в постоянно чередуемых нагревании и охлаждении рабочего тела в закрытом цилиндре. Обычно в роли рабочего тела выступает воздух, но также используются водород и гелий. Существует множество различных конструкций двигателей Стирлинга, но все они так или иначе являются производными от трех основных типов: альфа, бета и гамма.

Теплоизменительный цилиндр нагревается внешним источником, что поднимает рабочий поршень за счет создаваемого давления, причем вытеснительный поршень немного отодвигается от стенок. Затем маховик сдвигает вытеснительный поршень вниз, перенося разогретый воздух в охлаждающую камеру, где он остывает и сжимается, пока рабочий поршень опускается. Поднимаясь, вытеснительный поршень перемещает охлажденный воздух вниз. В машине Стирлинга рабочий поршень движется на  $90^\circ$  по отношению к поршню-вытеснителю, определяя работу как двигатель или тепловой насос, в то время как при нулевом сдвиге машина не выполняет никакой работы [3].

P-V диаграмма идеализированного цикла Стирлинга приводится на рис 2.

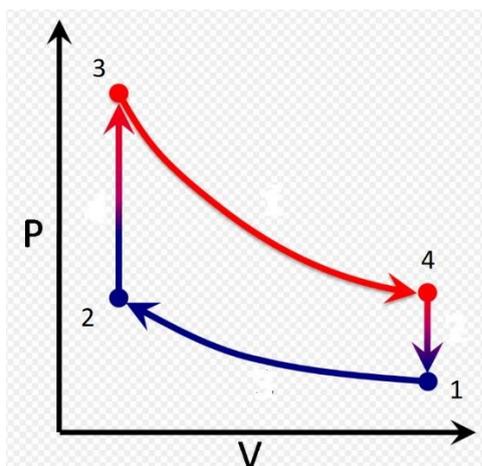


Рисунок 2. Идеализированного цикла Стирлинга. Цикл состоит из изотермы 1-2 сжатия и перехода к нагреванию рабочего тела, изохоры 2-3, по которой происходит нагрев рабочего тела. Рабочий ход происходит по изотерме 3-4, при этом рабочее тело переходит к охладителю. По изохоре 4-1 происходит охлаждение рабочего тела

Двигатель Стирлинга превосходит двигатель внутреннего сгорания по нескольким аспектам: крутящий момент почти не зависит от скорости вращения коленвала; - отсутствие системы высоковольтного зажигания, клапанной системы и распределительного вала; не требует постоянной регулировки, обладает высоким моторесурсом; простота конструкции позволяет долгосрочную автономную эксплуатацию; сгорание топлива вне двигателя обеспечивает равномерное горение и минимизацию выбросов; низкий уровень шума; гибкость в источниках тепловой энергии, от дров до ядерного топлива.

В целях повышения энергоэффективности ДЭС рассмотрим вариант комплексной энергоустановки, включающей ДВС с утилизацией теплоты уходящих газов и использованием двигателей Стирлинга на рисунке 3. Установка бинарного цикла работает следующим образом: по линии 1-2 в схеме I ДВС ДЭС происходит сжатие рабочей смеси, 2-3 подвод теплоты  $q_1$  изохорно и 3-4 подвод теплоты изобарно при горении топлива. По линии 4-5 ДВС совершает рабочий ход и 5-1 изобарный отбор теплоты  $q_2$ , которая при использовании системы утилизации теплоты поступает в нагреватель двигателя Стирлинга. Далее процесс протекает по циклу II, в соответствии с вышеописанным.

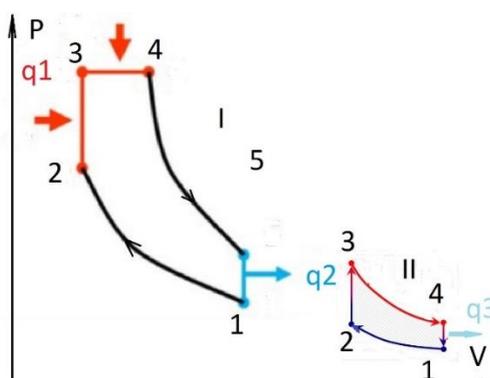


Рисунок 3. Термодинамический бинарный цикл дизельной электростанции и двигателя Стирлинга в P-V координатах, где I цикл дизельного двигателя электростанции и II цикл двигателя Стирлинга

Недостатки поршневых двигателей внешнего сгорания, такие как громоздкость и материалоемкость, делают их непрактичными для транспортных средств, однако в стационарных ДЭС на горных и геологоразведочных работах они могут быть полезны. Использование двигателей Стирлинга до 300 кВт требует дальнейших исследований. Даже при низком КПД 15-20%, они могут дополнительно выдавать 10-15 кВт электроэнергии, что экономит 2,5-3 кг топлива в час.

Дальнейшие исследования в области повышения эффективности ДЭС могут быть связаны с разработкой конкретных схем использования и определению наиболее эффективной конструкции и ее рабочих параметров.

### **Выводы**

Повышение эффективности стационарных ДЭС с утилизацией теплоты возможно за счет использования в бинарном цикле двигателя Стирлинга, что позволит повысить электрический КПД ДЭС, по крайней мере, на 10-15% и экономить до 2,5-3 кг/ч при нагрузках близких к номинальным.

### **Библиография**

1. С.А. Каргин «Проблемы повышения энергетической эффективности транспортных энергетических установок», Вестник АГТУ. Сер.: «Морская техника и технология», 2011 г. №2;
2. Меркулов М. В., Косьянов В. А., Головин С. В.: «Теплотехника, техническая термодинамика и теплоснабжение геологоразведочных работ», Учебник и практикум для вузов, Москва: Юрайт, 2021г. - 330с. - Цифровая копия.
3. Двигатель Стирлинга. Дата обращения: 07.11.2021. [Электронный источник] URL - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель\\_Стирлинга#Конфигурация](https://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_Стирлинга#Конфигурация)
4. Китай разрабатывает самый мощный в мире двигатель Стирлинга / Хабр. Дата обращения: 01.03.2024. [Электронный источник] URL - <https://habr.com/ru/news/597737/>
5. «Schmidt theory for stirling engines», Koichi Hirata перевод с японского [stirlingmotors.ru](http://stirlingmotors.ru), 1997 г.

*Математическая модель определения расчетной нагрузки буровой установки с учетом  
глубины бурения геологоразведочной скважины*

*Ломаев С.С.\* (МГРИ, serrega300491@mail.ru),  
Головин С.В. (МГРИ, golovinsv@mgi.ru),  
Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgi.ru),  
Адамова Л.С. (МГРИ, adamovals@mgi.ru)*

**Аннотация**

Прогнозирование электрических нагрузок является первым этапом проектирования систем энергоснабжения производственного объекта. Правильный выбор расчетных нагрузок определяет степень экономичности систем электроснабжения и уровень эффективности проводимых работ.

Применительно к буровым установкам колонкового бурения, анализ детерминированных и вероятностных методов определения расчетных электрических нагрузок показывает, что для определения расчетной нагрузки буровой установки целесообразно применять вероятностные методы определения расчетной мощности, базирующихся на статистических данных.

Проведенные замеры мощности и снятие графиков нагрузки на буровых установках показали, что наибольшее влияние на энергопотребление оказывает глубина бурения скважин. Анализ этой зависимости выразился в виде уравнения регрессии, которое было оценено с точки зрения корреляции коэффициентов регрессии, признано точным, адекватным и значимым, и может быть использовано в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

**Ключевые слова**

Бурение геологоразведочных скважин, буровая установка колонкового бурения, глубина бурения, расчетная электрическая нагрузка, математическая модель.

**Теория**

Определение расчетных нагрузок систем электроснабжения геологоразведочных работ (ГРР) можно производить рядом методов [2]. Эти методы можно разделить на 2 группы – детерминированные и вероятностные. К группе детерминированных методов можно отнести метод удельного расхода электроэнергии, метод наложения графиков нагрузки, метод коэффициента спроса и метод коэффициента использования и максимума (метод упорядоченных диаграмм). Группа вероятностных методов представлена статистическим методом. Методы первой группы используют технические нормы и эмпирические зависимости, а второй – статистические данные [5].

Однако, сложные условия проведения геологоразведочных работ (ГРР) – множественность горно-геологических условий разведки, разнообразие технических и технологических факторов, – обуславливают случайное изменение нагрузок буровой установки [1, 3, 4, 6], что определяет необходимость разработки статистических методов их определения [2, 5]. Для выявления такого рода зависимостей, в производственных условиях были проведены исследования с замерами мощности и снятием графиков нагрузки буровых станков СКБ-4, ЗИФ-650А и ЗИФ-650М при бурении с поверхности геологоразведочных скважин в экспедициях Северо-Восточного и Якутского производственных геологических объединений.

Анализ данных, полученных в результате серии замеров, выявил, что из всех основных энергетических показателей только удельная максимальная мощность РУД имеет более устойчивую зависимость от глубины скважины  $H$ , график РУД  $\sim f(H)$  имеет вид гиперболы (рисунок 1) и может быть описан уравнением регрессии [8]

$$P_{уд} = aH^k \quad (1)$$

где  $a$  и  $k$  – коэффициенты уравнения;  
 $H$  – глубина скважины, м.

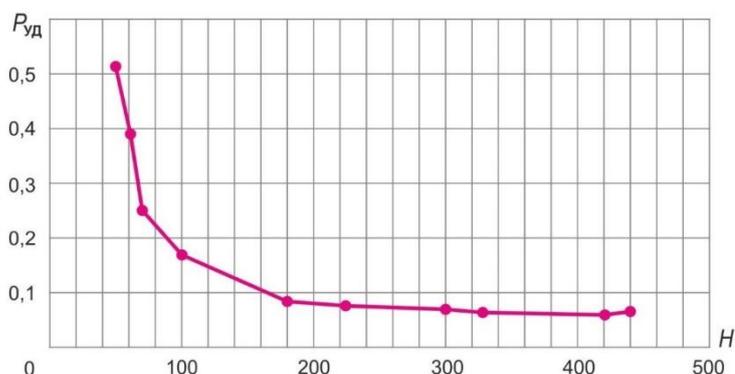


Рисунок 1. Зависимость удельной мощности ( $P_{уд}$ ) от глубины скважины ( $H$ )

Логарифмируем обе части уравнения (1), получим

$$\ln P_{уд} = \ln a + k \ln H \quad (2)$$

Введем новые переменные  $\ln P_{уд} = y$ ,  $\ln a = A$  и  $\ln H = x$ , и уравнение регрессии примет вид

$$y = A + k x \quad (3)$$

Для определения коэффициентов уравнения регрессии будем использовать метод наименьших квадратов, что позволит снизить случайную ошибку.

Угловой коэффициент прямой  $k$  определяется следующим образом:

$$k = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{(\overline{x^2}) - (\bar{x})^2} \quad (4)$$

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – средние значения параметров;  
 $\overline{x^2}$  – среднее значение квадрата параметра  $x$ ;  
 $\overline{xy}$  – среднее значение произведения параметров.  
Уравнение регрессии можно записать в виде

$$\begin{aligned} y - \bar{y} &= k(x - \bar{x}) \\ y &= kx + \bar{y} - k\bar{x} \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A = \bar{y} - k\bar{x}$

Лианезированное уравнение регрессии после установления значения коэффициентов регрессии примет вид

$$y = -0,779x + 1,8299 \quad (6)$$

После обратной замены, перейдя от логарифмов к истинным значениям, получим уравнение регрессии удельной максимальной мощности от глубины скважины

$$P_{уд} = 1,83h^{-0,779}, \frac{\text{кВт}}{\text{м}} \quad (7)$$

где  $h$  – текущая глубина скважины, м.

Для использования полученного уравнения регрессии в качестве математической модели необходимо оценить:

- 1) точность модели;
- 2) адекватность модели;
- 3) значимость модели;

а также определить область применения модели [11].

1) Точность модели  $\tau$  характеризуется отношением среднеквадратичного отклонения  $\sigma_r$  к среднему значению  $\overline{P_{уд}}$ , не превышающим 10 %.

$$\tau = \sigma_r / \overline{P_{уд}} \times 100 \% < 10 \% \quad (8)$$

Результаты расчетов показали точность модели 9,2 %, что является приемлемым.

2) Адекватность модели подтверждается высоким коэффициентом корреляции  $r = 0,983$ , свидетельствующим о сильной связи параметров в уравнении регрессии.

3) Значимость модели оценивается отношением расчетного значения критерия Фишера  $F_p$  к его критическому табличному значению  $F_{кр}$ . В нашем случае

$$F_p = (n - 2) \times R^2 / (1 - R^2) = 475, F_{кр} = 3,23 \quad (9)$$

где  $n$  – это число замеров;

$R$  – коэффициент детерминации.

Соотношение  $F_p > F_{кр}$  подтверждает гипотезу о значимости модели [11].

Проведенное обоснование позволяет заключить, что уравнение регрессии (7)

$$P_{уд} = 1,83h^{-0,779}, \text{кВт/м} \quad (10)$$

является точным, адекватным и значимым, то есть может быть использовано в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

Уравнение получено на основе статистических данных на интервале глубин скважины от 33 до 432 метров. Поэтому, предложенная модель адекватно описывает мощность на этом интервале глубин и может быть использована с вероятностью отклонения 0,9, не превышающим

10 % от истинных значений на интервале бурения до 450 метров. Это ограничение и является областью применения данной модели.

### **Выводы**

Исследования с замерами мощности и снятием графиков нагрузки, проведенные в производственных условиях по разработанной методике, составили базу статистических исследований. Корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на электрические нагрузки оказывает глубина бурения скважин, а предпочтительным параметром для определения расчетной нагрузки является использование удельной мощности, связь между которыми описывается уравнением регрессии, которое после линеаризации и обратного перехода от логарифмов к истинным значениям приняло вид, позволяющий использовать полученное уравнение регрессии в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

### **Библиография**

1. Головин С.В., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Повышение энергоэффективности разведочного бурения посредством автоматического регулирования работы теплоутилизационных установок // Горный журнал. 2018. № 11. С. 51-55.
2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка точности расчета электрических нагрузок промышленных предприятий // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2018. № 3 (53). С. 3-12.
3. Косьянов В.А., Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Головин С.В. Повышение эффективности комплексного энергообеспечения децентрализованных геологоразведочных объектов в условиях Заполярья и Крайнего Севера // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 81-85.
4. Косьянов В.А., Меркулов М.В., Головин С.В., Черезов Г.В. Система утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций при бурении геологоразведочных скважин // Горный журнал. 2017. № 3. С. 67-70.
5. Ломаев С.С., Головин С.В., Меркулов М.В. Основные методы определения расчетных нагрузок буровых установок при ведении геологоразведочных работ. XV Международная конференция «Новые идеи в науках о земле», Доклады конференции, Москва, 2021, с.91-94.
6. Лимитовский А.М., Марков Ю.А., Меркулов М.В. и др. Электро- и теплоснабжение геологоразведочных работ. Справочное пособие. М., Недра, 1988, с. 368.
7. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. Введен с 01.01.1993г. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект».
8. Самарбеков Э.С. Графики электрических нагрузок, их назначение и классификация // Наука и инновационные технологии. 2020. № 3 (16). С. 117-123.
9. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий // Промышленные энергетические сети, изд.2-е перераб. и доп. Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. М., «Энергия», 1980, с. 576.
10. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. Под общ. редакцией С.И. Гемадиля, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. М., Изд. дом МЭИ, 2010, с. 747.
11. Fereidoon P. Sioshansi. Behind and Beyond the Meter: Digitalization, Aggregation, Optimization, Monetization. Academic Press, 2020, p. 440.

*Анализ и выбор способа отработки в условиях месторождения «Хангалас»  
Молокова Н.О.\* (Московский государственный геологоразведочный университет имени  
Серго Орджоникидзе, n.molokova00@gmail.com),  
Меркулов М.В. (Московский государственный геологоразведочный университет имени  
Серго Орджоникидзе, merkulovmv@mgru.ru)*

**Аннотация**

Работа основана на изучении материалов проектной документации по разработке месторождения «Хангалас». Производится анализ возможных вариантов и выбор систем разработки месторождения. Учитываются характеристики месторождения, горно-геологические факторы и параметры рудных тел.

**Ключевые слова**

Система разработки, руда, параметры, штрек, порода.

**Теория**

Выбор системы разработки и ее конструктивных элементов является наиболее ответственной и сложной задачей не только для проектируемых предприятий, но и для действующих. Отбор и оценка возможных вариантов выполнен по постоянным горно-геологическим факторам (мощность и угол падения рудных тел) и горнотехническим условиям отработки (трещиноватость, крепость руд и вмещающих пород). Параметры, которые, кроме основных, также были учтены при выборе систем разработки, указаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Параметры рудных тел Западного участка

Рудная зона (жила)	Протяженность, м			Средняя истин. мощность, м	Элементы залегания	
	по прост.	по падению			азимут, град.	падение, град.
		вдоль тела	по верт.			
Центральная	290	235	160	1,0	65 - 80	40 - 50
Южная	200	250	150	1,0	70 - 90	40 - 45
Промежуточная	140	100	30	1,0	50 - 90	40 - 45
Северная (западный фланг)	45	65	40	1,0	75 - 80	40 - 50

Таблица 2

Параметры рудных тел Восточного участка

Рудная зона (жила)	Протяженность, м			Средняя истин. мощность, м	Элементы залегания	
	По прост.	по падению			азимут, град.	падение, град.
		Вдоль тела	По верт.			
Северная. Жила 1	680	210	110	1,0	90 - 125	35 - 50
Северная. Жила 2	470	150	80	1,0	120 - 125	30 - 40
Северная. Жила 3	360	110	70	1,0	100 - 110	30 - 40
Северная. Жила 4	300	90	55	1,0	110 - 120	30 - 35
Северная. Жила 5	270	80	70	2,0	80 - 130	40 - 50

Зимняя. Жила 6	65	80	70	2,6	115 - 120	60 - 65
Зимняя. Жила 7	50	80	70	1,3	115 - 120	40 - 45

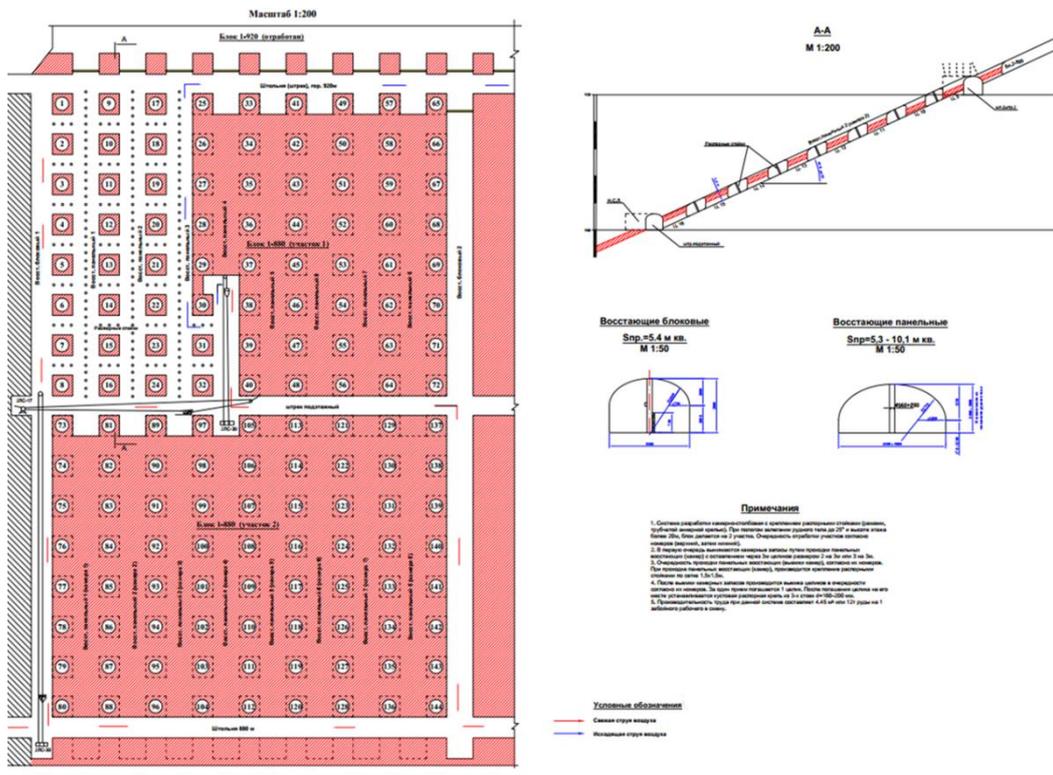
На основании анализа физико-механических характеристик руды и вмещающих пород были определены I, II и III классы и системы разработки по классификации акад. М.И. Агошкова.

В качестве вариантов выбранных первых классов были отобраны камерно-столбовая система разработки, система с магазинированием и системе с отбойкой руды из подэтажных штреков, исходя из возможности их применения при нисходящем порядке отработки рудых тел.

Однако к недостаткам этих систем можно отнести высокие значения потерь и разубоживания при «погашении» блоковых целиков, а при системе с магазинированием, еще и использование ручного труда при бурении. Тем не менее, следует отметить, что первые две системы являются традиционными для использования при отработке запасов золоторудных зон и жил в горно-геологических условиях, аналогичных рассматриваемым.

### **Камерно-столбовая система разработки**

Вариант данной системы предусматривает отработку пологих рудных тел месторождения с углом наклона до 35° и мощностью до 3 м. Схема данного способа разработки изображена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Схема разработки камерно-столбовым способом. Параметры панели: высота этажа – 40 м; длина блока по простиранию – 70 м; пролет панели – 80 м; длина блока по падению – 70 м; нормальная мощность рудного тела – 3 м; угол падения рудного тела – 31°; длина междукамерного целика (МКЦ) – 3 м; ширина МКЦ – 3 м; ширина камеры – 4 м; длина камеры – 5 м; ширина панельного целика – 12 м

Руда в камерах отбивается буровзрывным способом. Длина уходки за цикл 1,5 м. Бурение шпуров при угле залегания до 30° производится ручными перфораторами ПП-63В, а при угле залегания >30° телескопными перфораторами ПТ-48. Выемка целиков в блоке производится по одному за один прием от фланга блока к вентиляционно-ходовому восстающему. На месте

отработанного целика устанавливается кустовая крепь из трех стоек.

Отбитая руда из камер и от выемки целиков скреперной лебедкой по грузовому отделению камеры доставляется к разрезному штреку и далее к рудоспуску или из камеры к Доставочному или Транспортному штреку, где грузится погрузочно-доставочной машиной и в ней или в автосамосвале выдается на поверхность в рудный отвал.

### Система разработки с магазинированием руды

На участках рудных зон с углом падения более  $50^\circ$  принята система с магазинированием руды и распорным креплением, а на участках рудных зон с мощностью рудного тела более 3 м. Схема данного способа разработки изображена на рисунке 2.

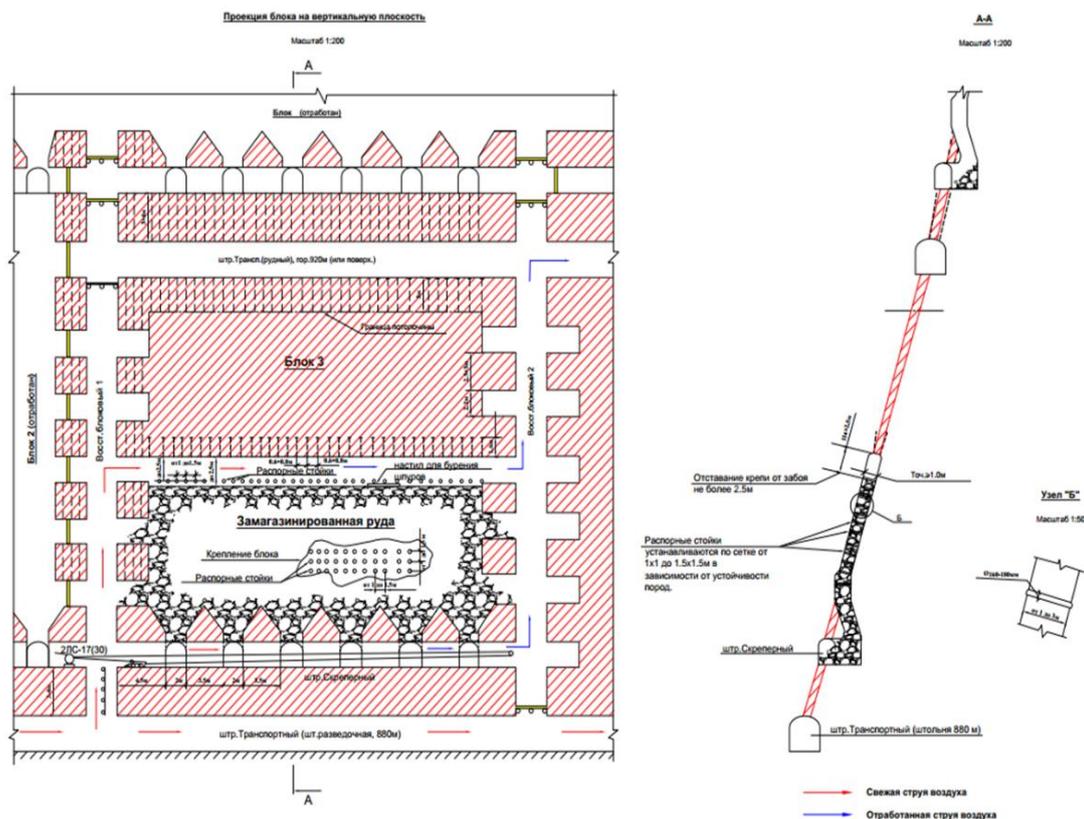


Рисунок 2. Система разработки с магазинированием руды. Параметры блока: длина блока – 40-55 м (для расчета принято 50 м); высота блока (этажа) – 40 м; угол падения рудного тела более  $50^\circ$ ; ширина междукамерного целика – 9 м; толщина потолочины – 4 м

Для отработки крутопадающих участков рудных тел по рудной зоне Южная, Жиле 1, Жиле 2, Жиле 5 рудной зоны Северная принята система с магазинированием руды и распорным креплением по сетке от 1x1 м до 1,5x1,5 м на участках с неустойчивыми и средней устойчивости породами.

Разбуривание межблоковых целиков производится из печек блоковых восстающих по мере отбойки руды в блоке. Разбуривание потолочин удлиненными шпурами с замагазинированной руды. Высота надштрековых целиков над откаточным (транспортным) штреком 4 м, над скреперным штреком также 4 м. Надштрековые целики разбуриваются удлиненными шпурами до окончания работ по отбойке руды в блоке. Погашение межблокового целика со стороны отработанных блоков и междуэтажного целика (потолочина и надштрековые целики) производится массовым обрушением перед генеральным выпуском руды из блока. Днища блоков подготавливаются под скреперный выпуск руды через воронки и дучки

скреперного штрека или через орты заезды при торцевом выпуске с применением ПДМ.

### Система подэтажных штреков

Система разработки подэтажными штреками со скважинной отбойкой руды предусматривается для отработки рудных тел с углом падения более  $40^\circ$ , мощностью более 3,0 м. Схема данного способа разработки изображена на рисунке 3.

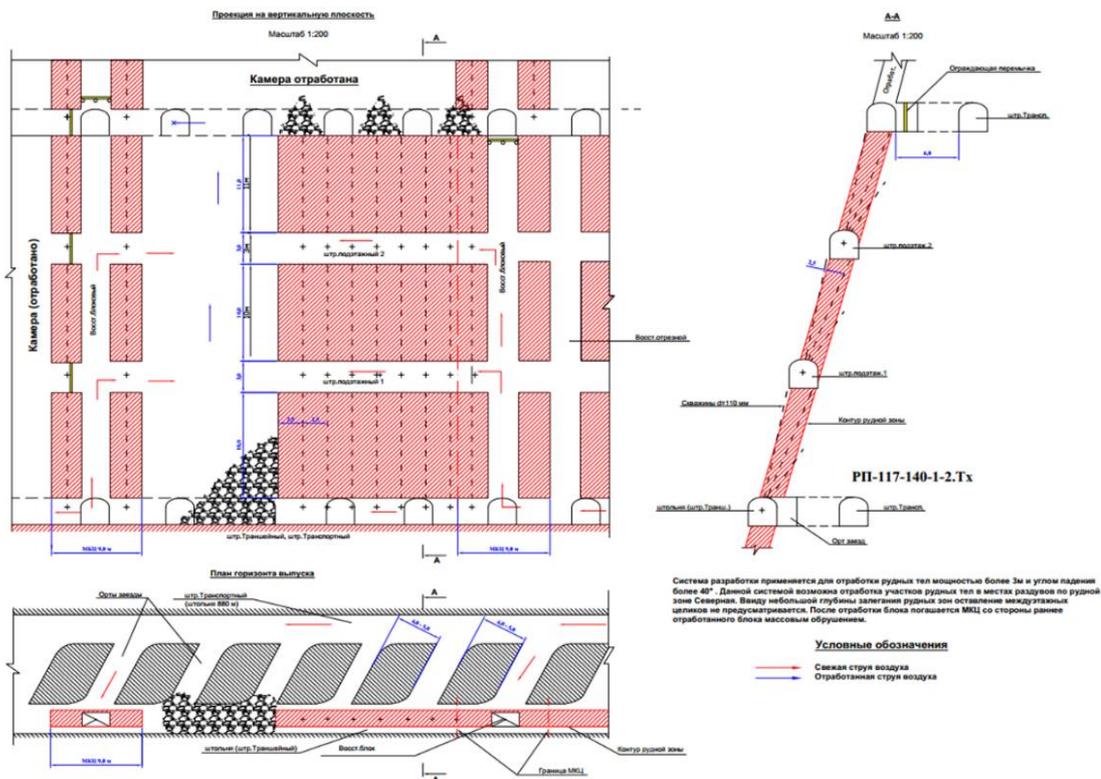


Рисунок 3. Схема разработки подэтажными штреками. Параметры блока: длина блока – 40 – 60 м; высота блока (этажа) – 40 м; высота подэтажа – 13 м; ширина междукammerного целика – 9 м; толщина потолочины – 4,0 м

Руда разбуривается из подэтажных и траншейных штреков веерами скважин  $d=105$  мм буровыми станками НКР-100М. Отбойка руды производится на отрезную щель. За один прием взрывать не более 1 веера скважин. Для улучшения доставки руды при взрыве к выпускным выработкам веера скважин располагать под углом  $70^\circ$ .

Выпуск руды из блоков производится через орты заезды, погрузка руды и транспортировка погрузочно-доставочной машиной и автосамосвалом. Междукammerные целики погашаются массовым бурением. На участках, где происходит выклинивание рудных тел выше горизонта откатки, выпуск руды и доставка к рудоспуску осуществляется скреперной лебедкой.

### Выводы

Выполненный анализ основных систем с учетом их особенностей позволил утверждать, что для отработки месторождения на участке Восточный, по параметрам рудных тел, в качестве основной системы разработки необходимо использовать камерно-столбовую с углом падения до  $35^\circ$ , что составляет большую часть запасов, а в качестве вспомогательных используются системы с магазинированием руды и подэтажные штреки.

### **Библиография**

1. Ломоносов, Г.Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений. - 2-е изд. [Электронный ресурс]. М.: издательство «Горная книга», 2013.- 517 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/66445/#4>
2. Пучков, Л.А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс]: Учебник для вузов. - 3-е изд., стер.: В 2 т. / Л.А. Пучков, Ю.А. Жежелевский. - М.: Издательство «Горная книга», 2017. - Том 1. - 562 с.: ил. <https://e.lanbook.com/reader/book/111389/#3>
3. Пучков, Л.А. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых [Электронный ресурс]: Учебник для вузов: В 2 т. / Л.А. Пучков, Ю.А. Жежелевский. - М.: Издательство «Горная книга», 2013. - Том 2. - 720 с.: ил. <https://e.lanbook.com/reader/book/66454/#4>
4. Боровков, Ю.А. Технология добычи полезных ископаемых подземным способом [Электронный ресурс]: учебник / Ю.А. Боровков, В.П. Дробаденко, Д.Н. Ребриков. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 272 с.: ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Текст: непосредственный <https://e.lanbook.com/reader/book/134340/#2>
5. Савич, И.Н. Геотехнологии при разработке рудных месторождений [Электронный ресурс]: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск) / И.Н. Савич [и др.]. - 2013. - № 04 - 28 с.

*Повышения качества электроэнергии в питающей сети при наличии электроприводов с  
полупроводниковыми преобразователями частот*

*Оливетский И.Н.\* (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, [filimona2007@mail.ru](mailto:filimona2007@mail.ru)),  
Шевырева Н.Ю. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, [nshev90@yandex.ru](mailto:nshev90@yandex.ru)),  
Шевырёв Ю.В. (НИТУ «МИСис», e-mail: [uvshev@yandex.ru](mailto:uvshev@yandex.ru))*

**Аннотация**

Рассмотрены способы уменьшения отрицательного влияния на питающую сеть электроприводов с полупроводниковыми преобразователями частоты. Уменьшение искажений синусоидальной формы кривой напряжения в точке присоединения полупроводникового преобразователя к сети обеспечивается при применении многопульсных схем, фильтро-компенсирующих устройств и активных фильтров гармоник. Применение преобразователей частоты с активным выпрямителем напряжения является одним из перспективных методов повышения качества электроэнергии при работе частотно-регулируемого электропривода. Алгоритмы управления полупроводниковыми элементами обеспечивают требуемые показатели качества электроэнергии, что позволяет получить коэффициент мощности, близким к единице, допустимый суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения сети, обеспечить рекуперацию электроэнергии в сеть.

**Ключевые слова**

Сетевой реактор, фильтро-компенсирующее устройство, многопульсные схемы, активный фильтр, частотно-регулируемый электропривод, активный выпрямитель.

**Теория**

Преимущества частотно-регулируемого асинхронного электропривода по сравнению с нерегулируемым привели к массовому применению полупроводниковых преобразователей частоты (ПЧ). В то же время массовое применение ПЧ является причиной значительного искажения синусоидальной формы напряжения в электрических сетях.

Чтобы уменьшить взаимное влияние полупроводниковых преобразователей, питающихся от общего трансформатора, ограничить коммутационные перенапряжения, ограничить высшие гармоники в сети, увеличить надёжность работы преобразователя при больших искажениях синусоидальной формы напряжения сети, полупроводниковые преобразователи необходимо подключать к питающей сети через специальный трёхфазный сетевой реактор  $L_p$ .

Уменьшение искажений синусоидальной формы кривой напряжения в точке присоединения полупроводникового преобразователя к сети может быть достигнуто за счёт применения многопульсных схем. Пульсность схемы определяется числом пульсаций выпрямленного напряжения за один период основной частоты. Трёхфазная мостовая схема является 6-пульсной. На основе трёхфазных мостовых схем выполняют схемы с большей пульсностью (применяются 12-, 24-, 36-пульсные схемы).

В сетях со значительным содержанием высших гармоник, генерируемых нелинейными нагрузками, применяют фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ), которые обеспечивают одновременно компенсацию реактивной мощности основной частоты и фильтрацию высших гармонических. ФКУ целесообразно размещать в узле подключения нелинейной нагрузки.

Перспективным средством повышения качества электроэнергии являются силовые активные фильтры гармоник, в которых применяются запираемые полупроводниковые приборы: двухоперационные тиристоры, силовые транзисторы [1]. Идея компенсации высших гармоник напряжений и токов в сети основана на введении в сеть последовательно источника напряжения или параллельно источника тока, которые осуществляют генерирование управляемых высших гармоник в противофазе с фактическими гармониками полупроводниковых преобразователей, что позволяет получить практически синусоидальную форму тока и напряжения сети. Схемы

активных фильтров напряжения и тока обычно выполняют на базе инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Если на такую структуру возложить еще и функцию регулирования величины реактивной мощности и ее знака, то это позволит поддерживать синусоидальное напряжение стабильной величины при колебаниях нагрузки.

Другим способом улучшения качества электроэнергии при работе частотно-регулируемого электропривода переменного тока является применение преобразователей частоты с активным выпрямителем напряжения (АВН) [2]. Под активным выпрямителем понимается выпрямитель на полностью управляемых полупроводниковых приборах (например, силовые транзисторы), работающих в режиме широтно-импульсной модуляции. Это даёт возможность обеспечить требуемые значения таких показателей качества электроэнергии, как отклонение напряжения на вводе электротехнического комплекса и коэффициент искажения синусоидальной формы напряжения сети, получить коэффициент мощности, равный единице. Требуемые показатели качества электроэнергии обеспечиваются за счёт алгоритмов управления полупроводниковыми приборами.

АВН позволяют реализовать двухсторонний обмен энергией с питающей сетью и тем самым улучшить энергетические показатели электропривода, обеспечить практически синусоидальный сетевой ток, плавно регулировать коэффициент мощности [2].

В данном докладе приведены основные результаты исследования влияния АВН на качество электроэнергии на примере электротехнических комплексов (ЭТК) буровых установок (БУ) для разведочного и эксплуатационного бурения на нефть и газ, для главных технологических механизмов которых – насосов, лебёдки и ротора, применяются частотно-регулируемые электроприводы (ЧРЭП).

*Актуальность решения задачи повышения качества электроэнергии при работе БУ с ЧРЭП определяется тем, что в России эксплуатируется значительное число отечественных буровых установок с данным видом привода, количество которых с каждым годом возрастает. Мощность главных электроприводов буровых установок достигает 1000 кВт, глубина бурения 3000-5000 м, грузоподъёмность 250 т [3].*

Исследование влияния АВН на качество электроэнергии в системах электроснабжения БУ с ЧРЭП проводилось на основе разработанных компьютерных моделей, учитывающих особенности систем электроснабжения буровых установок. В основу моделей положена типовая схема электрооборудования БУ с ЧРЭП [3], дополненная активным выпрямителем [4]. В схеме, представленной на рисунке 1, от воздушной линии напряжением 6 кВ получает питание понижающий двухобмоточный трансформатор Т с вторичным напряжением 660 В. К вторичной обмотке трансформатора через фильтр Ф и реактор подключается АВН. От общих шин постоянного тока получают питание автономные инверторы напряжения (АИН), через которые энергия передаётся на асинхронные электродвигатели главных механизмов буровой установки: два буровых насоса (МН1 и МН2), ротор (МР) и лебёдка (МЛ).

Система автоматического регулирования (САР) АВН является векторной системой управления, реализованная в синхронной ортогональной системе координат (x, y), ориентированной по вектору напряжения сети [2]. Это позволяет отдельно управлять активной и реактивной составляющими вектора входного тока выпрямителя.

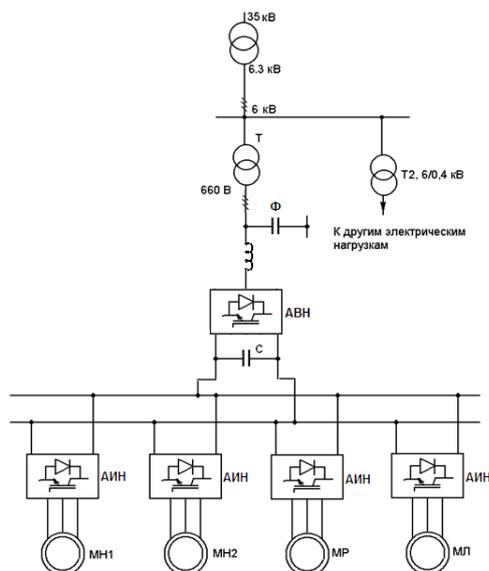


Рисунок 1. Схема электрооборудования буровой установки с частотно-регулируемым электроприводом и активным выпрямителем

Векторная САР содержит одноконтурную систему автоматического регулирования реактивного тока и двухконтурную систему автоматического регулирования выпрямленного напряжения АВН. Внутренним контуром является контур регулирования активного тока [2].

При постоянном значении реактивного тока АВН напряжение и реактивная мощность на вводе 6 кВ БУ зависят от длины питающей линии и нагрузки электроприводов. Для поддержания заданного значения напряжения независимо от длины питающей линии 6 кВ и нагрузки электроприводов необходимо его автоматическое регулирование при помощи отрицательной обратной связи (о. о. с.) по напряжению на вводе 6 кВ БУ.

На рисунках 2 и 3 приведены полученные на модели графики переходных процессов в электроприводе буровой лебёдки при пуске и торможении для случая движения колонны бурильных труб (КБТ) вниз при регулировании АВН по напряжению  $U$  на вводе буровой установки 6 кВ [5].

Графики были построены для случая, когда в момент времени  $t=0,1$  с происходит пуск электропривода. В момент времени  $t=2,5$  с наступает пауза. Все расчёты проводились при длине питающей линии  $L$ , равной 7 км.

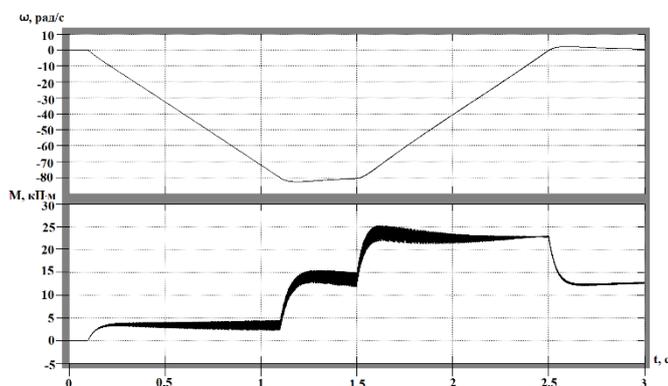


Рисунок 2. Переходные процессы:  $\omega$  - угловая скорость электродвигателя;  $M$  - момент электродвигателя

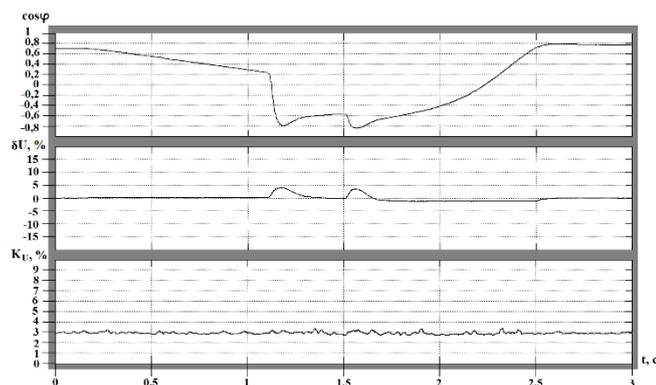


Рисунок 3. Переходные процессы:  $\cos \varphi$  - коэффициент мощности;  $\delta U$  - отклонение напряжения электропитания;  $K_U$  - суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения

Из анализа графиков переходных процессов следует, что изменения всех величин происходят без значительных колебаний, с достаточным быстродействием. Отклонение напряжения не превышает нормативного значения 10%. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения не превышает нормативного значения 5%. Наличие АВН обеспечивает рекуперацию энергии в сеть при движении КБТ вниз. При регулировании АВН по напряжению и рекуперации энергии при спуске КБТ коэффициент мощности в переходных режимах изменяется в пределах от 0,8 до минус 0,8.

### **Выводы**

Для уменьшения взаимного влияния полупроводниковых преобразователей каждый их них необходимо подключать к питающей сети через специальный сетевой реактор. Уменьшение искажений синусоидальной формы кривой напряжения в точке присоединения полупроводникового преобразователя к сети достигается за счёт применения многопульсных схем, ФКУ, активных фильтров гармоник.

Применение АВН обеспечивает требуемые значения отклонения напряжения и коэффициента искажения синусоидальной формы напряжения сети на вводе электротехнического комплекса, коэффициент мощности, равный единице, реализует режим рекуперации энергии в сеть.

### **Библиография**

1. Sandeep, G. J. Importance of Active Filters for Improvement of Power Quality / G. J. Sandeep, Sk. Rasoolahemmed // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). - 2013. - No.4. pp. 1164-1171.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
3. Абрамов, Б. И. Создание современных электротехнических комплексов для управления наземных и морских буровых установок / Б. И. Абрамов, О. И. Кожиков, В. А. Шиленков, В. К. Васильев, Д. А. Таран, Е. В. Кириллов // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та. – 2014.- Т. 2. - С. 150–154.
4. Шевырева Н. Ю. Моделирование частотно-регулируемого электропривода с активным выпрямителем / Н. Ю. Шевырева // Главный энергетик. - 2015. - №8. - С. 69–74.

5. Шевырева Н. Ю. Закономерности влияния частотно-регулируемого электропривода с активным выпрямителем на качество электроэнергии/ Н. Ю. Шевырева // Вести высших учебных заведений Черноземья. - 2015. - №4. - С. 26-35.

*Подсекция 4.2. Бурение скважин*

*Совершенствование и повышение надежности цепного привода типа ПЦ60 на скважинах  
ПАО Татнефть*

*Аленькин Д.А.\* (АГНИ, Alenkin58@yandex.ru),  
Бикбулатова Г.И. (АГНИ, boltneva1julia@mail.ru), Саитов А.А. (НИИ ТатНИПИнефть,  
SaitovAA@gmail.com)*

**Аннотация**

По результатам исследования анализ неисправностей цепных приводов при эксплуатации скважин показывает, что ослабленная цепь ведет за собой много негативных последствий. В статье рассмотрено одно из решений совершенствования привода. Разработано устройство, повышающее надежность цепного привода путем поддержания автоматического натяжения цепи. Натяжитель изготовлен и смонтирован на скважину. Исследование работоспособности привода и растяжение цепи.

**Ключевые слова**

Цепной привод, цепь, натяжитель, скважина, работоспособность.

**Теория**

По результатам исследования использования цепных приводов на месторождениях, разрабатываемых ПАО Татнефть выявлены характерные отказы для приводов. Анализ неисправностей цепных приводов при эксплуатации скважин показывает, что около половины отказов обусловлены недопустимой вытяжкой, а работа цепных приводов ШГН с ослабленной тяговой цепью влечет за собой негативное воздействие и на другие узлы, такие как узел верхней или нижней звездочки, скалка и так далее, что при отсутствии своевременных мер по устранению ослабления приводит к их износу и обрыву цепи. В связи с чем, ставится задача о доработке конструкции цепных приводов открытого исполнения с целью обеспечения автоматизированного натяжения цепи.

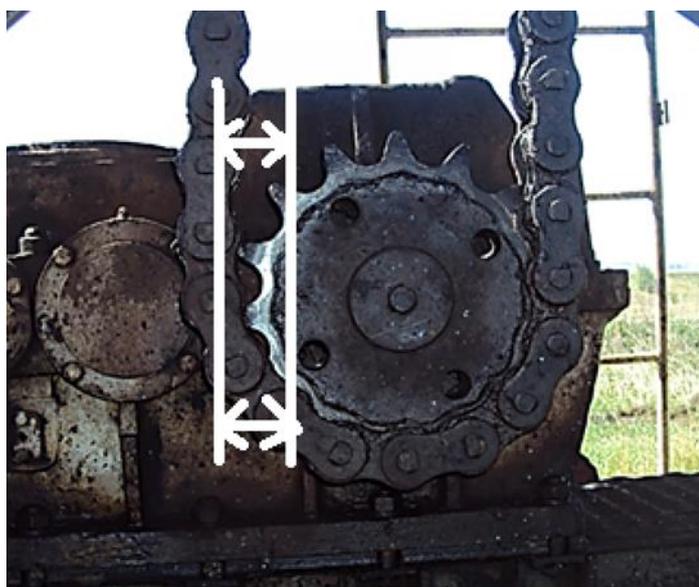


Рисунок 1. Ослабление натяжения цепи. Износ зубьев звездочки преобразующего механизма цепного привода

Для долговечной и безаварийной работы цепного привода большое значение имеет правильное натяжение цепи. Если цепь сильно натянута, то это существенно снижает ресурс ее работы и может привести к преждевременному выходу из строя деталей и узлов привода. Растяжение цепи приводит к ударам при работе механизма, а при большом ослаблении цепь может выйти из зацепления с нижней звездочкой.

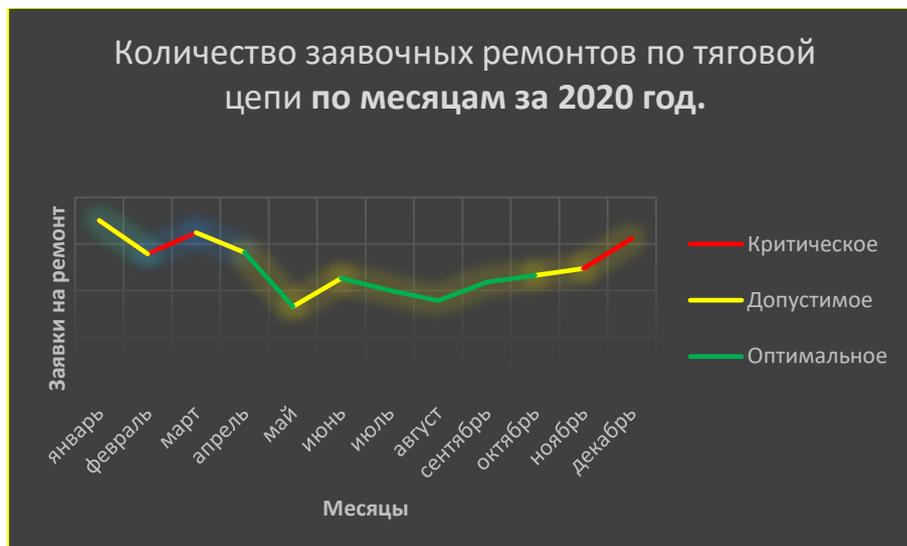


Рисунок 2. График количества заявочных ремонтов по тяговой цепи ПЦ60 на скважинах за 2020 год по месяцам. Самые частые заявки на отказ замечены именно в зимнее время

Обслуживание и ремонт цепных приводов в процессе эксплуатации производится согласно графику ППР, который требует ежемесячного обслуживания тяговой цепи (смазывание, регулировка натяжения и др.) и проведение планового ремонта 2 раза в год, а если по фактическим показателям, то согласно графику с ноября месяца по март количество ремонтных работ увеличивается из-за погодных условий эксплуатации, в связи с чем ставится задача еще и контроля работоспособности привода. Экономические затраты на обслуживание цепных приводов в сравнении со станками-качалками превышают в 2 раза. Для оптимизации экономических затрат на поддержание оборудования в исправном состоянии и повышения надежности цепных приводов, необходим переход от обслуживания по графику ППР к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования и разработка конструкций, поддерживающих необходимое натяжение цепи, что также позволит увеличить наработку отдельных узлов и деталей механизма.

Для решения этой проблемы направленной на повышение надежности работы отдельных узлов и деталей цепного привода в целом было разработано автоматическое устройство натяжения цепи (далее – «Натяжитель»), позволяющее поддерживать необходимое натяжение цепи и предотвращать ее ослабление. Было разработано и запатентовано устройство под номером RU №2611126. [9]. Во время работы автоматический натяжной механизм постоянно поддерживает требуемое натяжение. Когда цепь ослабевает, грузы, подвешенные на металлическом тросе, затягивают натяжной винт, тем самым поддерживая необходимое натяжение.

Совместно с ПАО Татнефть был изготовлен опытный образец натяжителя на Бугульминском механическом заводе и внедрен на промышленную скважину для проведения опытно-практических мероприятий по работоспособности устройства.



Рисунок 3. Монтаж и испытание работоспособности устройства автоматического поддержания натяжения цепи на наземный привод ПЦ 60-3-0,5/2,5

После монтажа натяжителя на скважину было принято решение исследовать работоспособность привода и растяжение цепи. Для этого необходимо еженедельно производить измерение зазора между узлом верхней звёздочки и гайкой привода, а также расстояние от утяжелителей до верхней точки. Согласно первым неделям исследований было выявлено, что привод находится в неуравновешенном состоянии. Было принято решение уравновесить привод.



Рисунок 4. График работоспособности устройства на основе еженедельных замеров зазора между узлом верхней звёздочки и гайкой привода. Зеленым представлены значения правильной работы привода, красным натяжитель сигнализировал об ошибке, т.е. были ремонтные работы

На предоставленном графике можно заметить работу натяжителя, где наглядно видно, что сначала после установке цепь стремительно пытается натянуться, а затем менее интенсивно. По данным на 6 октября можно заметить стремительный рост значений, что сигнализирует принять во внимание исправность привода, затем 13 октября были произведены ремонтные работы. Привод снова запущен в работу для дальнейших исследований.

### **Выводы**

Результаты исследований показывают, что, поскольку цепь находится в постоянном режиме, это приводит к снижению нагрузки на звездочки, вал и подшипники, что приводит к более стабильной работе скважины в целом, способствуя повышению надежности цепного привода штангового насоса.

- Привод работает стабильно, без лишних вибраций.
- Ожидается сокращение заявочных ремонтных работ.
- Устройство предотвращает ослабление цепи, снижает риск поломки и сводит к минимуму затраты на ремонт.
- Автоматический натяжитель цепи повышает производительность скважины и значительно снижает затраты на техническое обслуживание.
- Он предупреждает о возможных неисправностях.

### **Библиография**

1. Цепные приводы скважинных штанговых насосов / Ш.Ф. Тахаутдинов, Н.Г. Ибрагимов, В.М. Валовский, К.В. Валовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Нефт. хоз-во, 2014. – 448 с
2. Пат. 2611126 Рос. Федерация, МПК F04В 47/02. Привод скважинного штангового насоса / А.А. Сайтов, Н.В. Федосеенко, И.Г. Шамсутдинов; заявитель и патентообладатель ПАО "Татнефть". – № 2016106807/06; заявл. 25.02.2016; опубл. 21.02.2017, Бюл. № 6
3. Тахаутдинов, Ш.Ф. Цепные приводы скважинных штанговых насосов / Ш.Ф. Тахаутдинов, Н.Г. Ибрагимов, В.М. Валовский, К.В. Валовский. – М.: ЗАО «Издательство «Нефтяное хозяйство», 2014. 448 с.
4. Ямалиев, В.У. Анализ работы цепных приводов штанговых скважинных насосов с ОАО АНК «Башнефть» / В.У. Ямалиев, С.Н. Ленков // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13, №1. С. 81-85.
5. Alenkin D.A. Development and implementation of an automatic chain tensioning device to increase the reliability of the chain drive of the borehole rod pump / Yu.A. Alenkin, Z.M. Sahipova. // Fundamental and applied approaches to solving scientific problems - 2023. 16-20 p.

**Оборудование для герметизации устья скважин из подземных горных выработок  
Белов В.М.\* (ООО «Водный центр СПбГУ», vad.98\_1998@mail.ru),  
Трифаничев В.М. (ООО «Водный центр СПбГУ», valera-geo@yandex.ru)**

**Аннотация**

В данном докладе рассматриваются результаты выполненной научно исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) по разработке комплекса оборудования для герметизации скважин, бурение которых осуществляется из подземных горных выработок, опасных по внезапным выбросам газа и воды. Работы проводились совместно с предприятиями ПАО «ГМК «Норильский никель», а производственные испытания на площадках Заполярного филиала.

Разработка технических решений производилась с применением системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D и входящих в нее расчетных модулей, а также на основании проведенных аналитических расчетов.

**Ключевые слова**

Герметизатор-превентор, опережающее бурение, подземная горная выработка, водо- и газопроявления, водоспускные скважины.

**Теория**

В рамках реализации проектов по геологической разведке недр и проектов капитального строительства, выполняется комплекс подготовительных мероприятий, включающих бурение опережающих скважин в плохо изученных участках горного массива.

Цель таких скважин - своевременно выявить, изучить, а в случае необходимости обеспечить постепенный и безопасный спуск скоплений подземных вод в целях предотвращения затопления горных выработок.

Пренебрежение работами по опережающему бурению влечет за собой, в первую очередь, нарушение требований безопасности, риски по затоплению выработок, а также приостановку проходки и добычи полезного ископаемого.

Одним из таких примеров является прорыв подземных вод при строительстве вентиляционного квершлага на руднике «Октябрьский» в 2021 г. Проходка выработки велась без бурения опережающих скважин, следствием чего стало неконтролируемое водопроявление в горные выработки с дебитом 2000-2500 м<sup>3</sup>/час. Работа рудника была остановлена на 3 месяца, а затраты на возведение бетонных перемычек исчислялись сотнями миллионов.

В соответствии с Инструкцией по безопасному ведению работ у затопленных горных выработок, скважины без герметизации их устьев могут быть пробурены в опасной зоне на глубину не более 5 м [2]. Поэтому, для оперативного перекрытия скважины в случае возникновения водо- или газопроявлений и последующего мониторинга его параметров, необходимо на устье скважины устанавливать герметизирующее устройство с функциями превентора.

С целью анализа существующих конструкций кондукторов и герметизирующих устройств, был проведен поиск по имеющимся в открытых источниках прототипам [4,5,6].

После изучения всего объема найденного материала, была разработана принципиальная схема герметизации устья скважины на весь период ее бурения, проведения гидрогеологических работ и эксплуатации.

В состав комплекса герметизирующего оборудования входят:

- *Вспомогательное оборудование, предназначенное для обеспечения соосности при бурении, а также дополнительного закрепления оборудования на борте выработки;*

- Кондуктор, предназначенный для закрепления герметизатора-превентора на скважине;
- Герметизатор-превентор.

На основании расчетов вычислены предельная нагрузка для устьевого пакера, которую необходимо создать для разжатия уплотнительного элемента, а также его герметичность [1]. Прочностной расчет [3] показал надежность резьбовых соединений всех элементов конструкции в кондукторе, герметизаторе-превенторе и устьевом оборудовании.

Для закрепления в скважине кондуктора, изоляции затрубного пространства и монтажа герметизатора-превентора (далее-ГП) на устье скважины было разработано вспомогательное оборудование (далее-ВО), состоящее из: устьевого фланца; втулки центраторов; центраторов для забурки и расширения скважины; перехода для монтажа ГП, фланца для закрепления перехода, отвода (Рисунок 1-2).

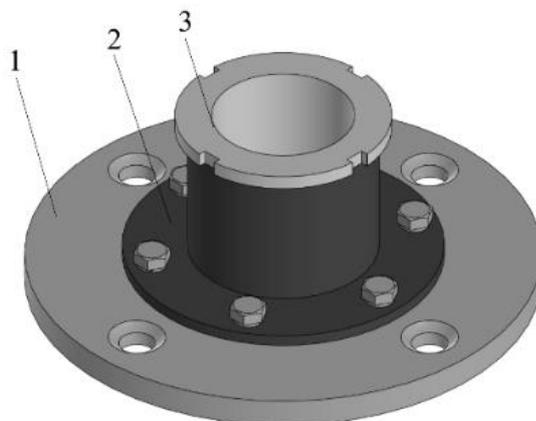


Рисунок 1. 3-мерная модель вспомогательного оборудования для забурки скважины (устьевой фланец-1; втулка центраторов-2; центраторы для забурки и расширения-3)

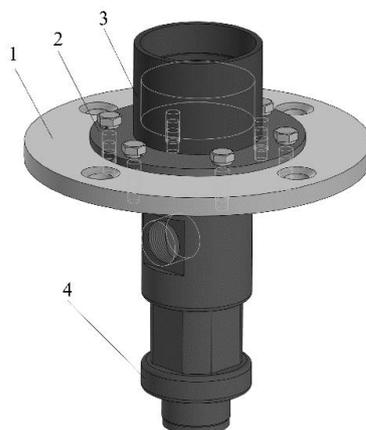


Рисунок 2. 3-мерная модель вспомогательного оборудования для установки герметизатора-превентора (устьевой фланец-1; фланец для закрепления перехода-2; переход герметизатора-превентора-3; отвод-4)

Кондуктор состоит из обсадных труб диаметром 73 мм с резьбовым соединением «труба в трубу» по ГОСТ 6238-77 «Трубы обсадные и колонковые для геологоразведочного бурения», устьевого пакера, центраторов для стабилизации труб в стволе скважины, а также башмака (Рисунок 3).

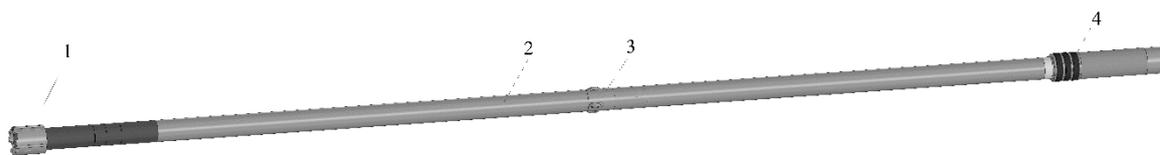


Рисунок 3. 3-х мерная модель скважинного кондуктора в сборе (башмак-1; обсадные трубы-2; центраторы-3; устьевой пакер-4)

Герметизатор предназначен для оперативного перекрытия ствола скважины в случае вскрытия напорных водоносных (газоносных) горизонтов при бурении геологоразведочных и технологических скважин из подземных горных выработок (Рисунок 4). Основные технические характеристики герметизатора-превентора приведены в таблице 1.



Рисунок 4. 3-х мерная модель герметизатора-превентора (общий вид)

Таблица 1

Технические характеристики герметизатора-превентора

Наименование параметра	Значение
Условное проходное отверстие, мм	56
Рабочее давление, МПа	6,0
Присоединительная резьба к оборудованию кондуктора	M115x3
Габаритные размеры, мм:	
Высота	363
Диаметр корпуса	188
Масса, кг	30,38

### Выводы

В ходе проведенной НИОКР был разработан комплекс технического оборудования для герметизации устьев скважин, бурение которых осуществляется из подземных горных выработок веерным способом, а также технологический регламент на выполнение монтажных, буровых и опытно-фильтрационных работ.

Помимо конструкторских решений, технологическим регламентом предусмотрен подбор материалов и технология изоляции затрубного пространства кондуктора, обеспечивающая герметичность и защиту кондуктора от заколонных перетоков.

### **Библиография**

1. Аванесов В.А., Пакеры для проведения технологических операций и эксплуатации скважин: учебное пособие / В. А. Аванесов, Е. М. Москалева; Ухтинский гос. техн. ун-т. - Ухта: УГТУ, 2008 (Ухта: ООП УГТУ). - 90 с.
2. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль: Сборник документов. Серия 07. Выпуск 8 / Колл. авт. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. - 214 с.
3. ГОСТ 54918-2012. Трубы обсадные, насосно-компрессорные, бурильные и трубы для трубопроводов нефтяной и газовой промышленности. Формулы и расчет свойств;
4. Патент №909185. Кондуктор для восстающих выработок: №2114499: заявл. 17.03.1975 опубл.:28.02.1982 /А.Ф. Мосев; заявитель предприятие п/я М57-03– 2 с.
5. Патент №144453. Кондуктор для герметизации затрубного пространства: №696299: заявл. 04.02.1961 опубл.:1962/ Д.Г. Даревский, В.М. Сидоров; заявитель Д.Г. Даревский, В.М. Сидоров – 3 с.
6. Патент №1002606. Герметизатор устья скважин: №3302127: заявл. 08.06.1981 опубл.: 07.03.1983/ А.С. Юшков; заявитель Донецкий ордена трудового красного знамени политехнический институт – 3 с.

*Ликвидация скважин – несовершенство существующей технологии  
Пекнулатова К.В.\* (ООО «Водный центр СПбГУ», kpekulatova@mail.ru),  
Трифаничев В.М. (ООО «Водный центр СПбГУ», valera-geo@yandex.ru)*

**Аннотация**

Бесхозные скважины являются источниками загрязнения подземных вод. Ликвидация бесхозных скважин осуществляется по «типовым проектам», предусматривающим ликвидацию только ствола скважины, ограниченного внутренним диаметром обсадных труб, установленных в скважине. Проектные решения, разрабатываемые в «типовых проектах», не предусматривают ликвидацию заколонных перетоков в скважинах. Бесхозная скважина после ее ликвидации по «типовому проекту» становится постоянным источником загрязнения подземных вод, без какой-либо возможности повторной ее ликвидации. Для ликвидации бесхозных скважин следует использовать технологию, которая применяется для ликвидации изливающихся скважин с заколонными перетоками.

**Ключевые слова**

Ликвидация, заколонные перетоки, бесхозные скважины, типовые проекты, источники загрязнения подземных вод.

**Теория**

Основной негативной особенностью практически всех пробуренных скважин является тот факт, что, проходя через горные породы и водоносные горизонты, различные по своим физико-механическим свойствам и составу, скважины становятся на время (а в основном, на неопределённо длительное время) проводящими каналами, соединяющими между собой горизонты, насыщенные фильтрадами, различными по химическому составу и имеющие различные гидродинамические параметры.

Источник загрязнения подземных вод – это источник, вносящий в водные объекты, загрязняющие воду вещества, микроорганизмы, тепло [1]. Из определения видно, что любую пробуренную скважину назвать источником загрязнения можно лишь условно, т.к. она является лишь проводящим каналом, по которому загрязняющие подземные воды вещества перемещаются в сторону водоносного горизонта. Следовательно, основная задача, которая должна решаться при ликвидации бесхозной скважины – это ликвидация (изоляция) всех каналов, созданных при бурении скважины.

Во время бурения скважин в интервалы, определенные проектными решениями на их строительство, устанавливаются обсадные трубы, предназначенные в основном для крепления стенок скважины, а в водозаборных скважинах еще и для монтажа водоподъемного оборудования. Для разобщения вскрытых скважиной горизонтов традиционно используют тампонажные цементные растворы. Так как изоляция обсадных колонн во всех сооружаемых скважинах осуществляется твердеющими материалами на цементной основе, то разрушение цементного камня, сформировавшегося в заколонном пространстве, явление закономерное и неизбежное.

При бурении и формировании ствола скважины существующий баланс напряжений в горном массиве нарушается, но компенсируется гидростатическим давлением промывочной жидкости (буровым раствором). То есть, чтобы исключить движение фильтра в заколонном пространстве после обустройства скважины, необходимо сохранение гидростатического давления по всему стволу скважины на весь период ее эксплуатации. Принято считать, что такие условия выполняются и после заполнения заколонного пространства скважины цементным раствором. Но это не так, поскольку гидростатическое давление, создаваемое цементным раствором в заколонном пространстве, после начала его кристаллизации снижается и через 4-5 часов имеет практически нулевые значения (Рисунок 1) [2,3].

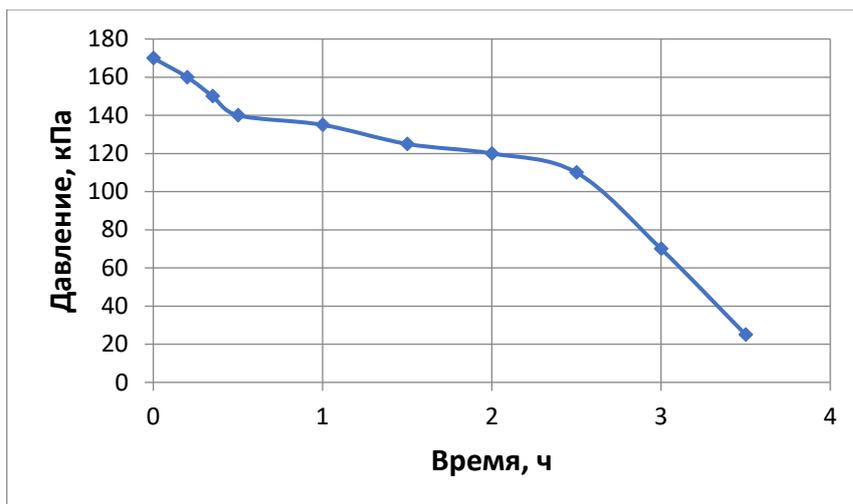


Рисунок 1. Изменение гидростатического давления цементного раствора во временном диапазоне после начала его кристаллизации

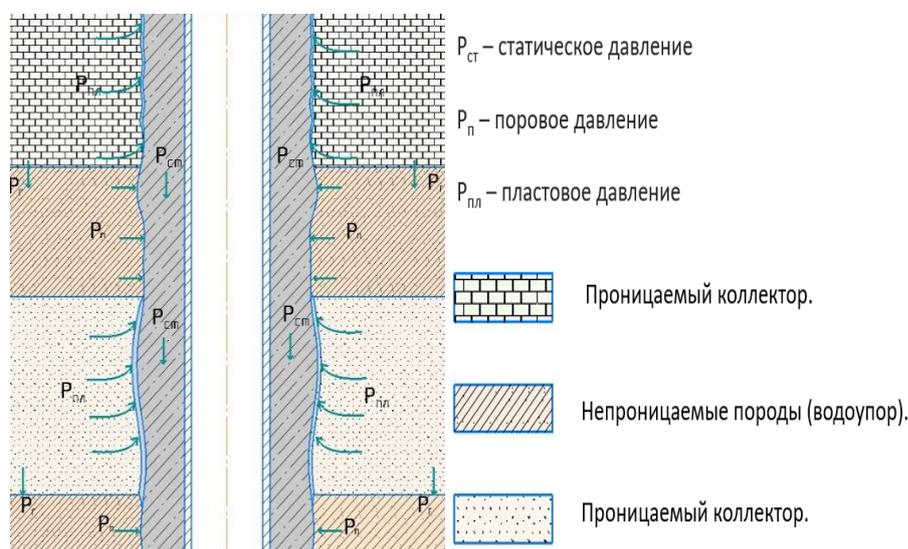


Рисунок 2. Образование микрокольцевого пространства в цементном камне при цементации скважины

А это значит, что после падения гидростатического давления цементного раствора ниже пластового, на формирующийся цементный камень оказывается сжимающее его давление со стороны водоносного горизонта, которое не позволяет сформировать на контакте с водовмещающими породами герметичный шов. И на контакте «горная порода - тампонажный раствор» образуется микрокольцевое пространство. Под действием пластового давления фильтрат из водоносного горизонта устремляется в сформированное микрокольцевое пространство, ухудшая сцепление цементного раствора на контакте с горными породами, расположенными выше по разрезу, и способствуя формированию условий для возникновения в скважине заколонных перетоков.

Таким образом, в водозаборных скважинах, пробуренных более 10-15 лет назад, образовавшиеся на стадии формирования цементного камня микроканалы и микротрещины преобразуются в полноценные каналы, вновь объединяющие водоносные горизонты между

собой. В скважинах, пробуренных в 80-90-е годы прошлого столетия, в заколонном пространстве скважин цементный камень если и присутствует, то только фрагментарно.

Подавляющая часть проектных решений на ликвидацию скважин, оборудованных неизвлекаемыми обсадными трубами, осуществляется по типовым проектам, что означает ликвидацию только ствола скважины. Работы по устранению заколонных перетоков в таких проектах не предусматриваются, а, следовательно, и не разрабатываются.

Скважины, ликвидированные по «типовым проектам», т.е. без ликвидации заколонных перетоков, официально считаются ликвидированными, а на самом деле они продолжают способствовать загрязнению подземных вод. Получается, что, ликвидируя бесхозные скважины, вместо защиты подземных вод проводятся мероприятия по их дальнейшему загрязнению, но уже на постоянной и законной основе.

Таким образом, бесхозные скважины, не подвергшиеся ликвидации, можно считать временными источниками загрязнения, т.к. при благоприятном стечении обстоятельств они могут быть ликвидированы в полном объеме, включая и ликвидацию заколонных перетоков. Пока они не ликвидированы в соответствии с «типовым проектом», такая возможность сохраняется, хотя бы теоретически. Но после их ликвидации (без разобращения водоносных горизонтов) бесхозные скважины получают статус официально ликвидированных и продолжают способствовать загрязнению подземных вод, но уже в бессрочной перспективе, т.к. каналы для миграции загрязняющих подземные воды веществ остались, а возможность повторной ликвидации этих скважин в будущем сведена к нулю [5].

В качестве альтернативы «типовым проектам» на ликвидацию скважин, в том числе и бесхозных, предлагаются проектные решения, разработанные на основе технологии ликвидации изливающихся скважин с заколонными перетоками (грифонами), которая вот уже более 10 лет используется в Северо-Западном регионе [4]. Так как в ликвидируемых бесхозных скважинах установлены обсадные трубы и извлечь их не представляется возможным, то для доставки тампонажного материала в затрубное пространство необходима предварительная перфорация обсадных колонны выше кровли водоносного горизонта. Для перфорации обсадных колонн предлагается использовать труборезы, применяемые при ликвидации аварий в скважинах. Труборезы, по принципу своей работы, позволяют формировать окна по окружности обсадных труб. Просты в эксплуатации и в отличие от кумулятивных перфораторов не требуют специальных разрешений на их использование. Ширина формируемых окон определяется шириной резцов трубореза и находится в пределах 10-12 мм, что достаточно для доставки тампонажного материала ЛП в заколонное пространство. При необходимости количество технологических окон можно увеличить до двух или трех.

Тампонажный пакер на нагнетательной колонне (бурильных трубах ТБСУ) устанавливается в скважине выше технологического окна (если их несколько, то выше самого верхнего) на 200-300 мм и разжимается. Под пакером создается замкнутое пространство с выходом в затрубье через технологические отверстия.

Перед проведением изоляционных работ проводится испытание герметичности затрубного пространства давлением не более 1 МПа, по результатам которого принимается решение либо о проведении работ по изоляции заколонного пространства, при наличии заколонных перетоков, либо о демонтаже нагнетательного оборудования в случае установления факта герметичности заколонного пространства.

## **Выводы**

1. Ликвидация скважин по типовому проекту носит формальный характер и не устраняет источники загрязнения подземных вод, т.к. заколонные перетоки не ликвидируются.
2. Скважина, ликвидированная по «типовому проекту», т.е. без ликвидации заколонных перетоков, после подписания акта автоматически переводится в разряд постоянно

действующих источников загрязнения и продолжает оказывать негативное влияние на подземные воды.

3. Необходимо переработать технологически устаревший нормативный документ на ликвидацию скважин: «Правила ликвидационного тампонажа буровых скважин различного назначения, засыпки горных выработок и заброшенных колодцев для предотвращения загрязнения и истощения подземных вод. 1967 г.», с учетом современных технологий и тампонажных материалов.

4. При разработке проектных решений на ликвидацию скважины приоритетным должна быть экология подземных вод, а не финансовая составляющая выполняемых работ.

### **Библиография**

1. СП 2.1.5.1059-01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения.

2. Пискунов А.И., Леушева Е.Л. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия. Анализ причин появления заколонных перетоков». Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с Международным участием, посвященной 60-летию кафедры бурения скважин. Издательство «Томского политехнического университета», 2014. – С. 288-296.

3. Райкевич С.И. Межколонные давления и заколонные движения флюидов в скважинах. Пути решения проблемы. Труды международного технологического симпозиума «Интенсификация добычи нефти». Институт нефтегазового бизнеса, г. Москва, 2003. – С. 579-587.

4. Трифаничев В.М., Тудвачев А.В. «Изливающие скважины: чем они опасны и что с этим делать». Справочник эколога №7, июль 2022. – С. 101-111.

5. Трифаничев В.М. «Ликвидация бесхозных скважин». Экоспоры № 2, март/апрель 2023. – С. 86-94.

***Устранение заколонных перетоков. Ликвидация грифонов в изливающихся скважинах  
Шапвалова Ю.И.\* (Водный центр СПбГУ, julia.shapovalova04@yandex.ru),  
Трифаничев В.М. (Водный центр СПбГУ, valera-geo@yandex.ru)***

**Аннотация**

Данная работа посвящена причинам возникновения заколонных перетоков, последствиям грифонообразований и способам их предупреждения и ликвидации на примере геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые (ТПИ), разведочных и эксплуатационных скважин на воду, инженерно-изыскательных и технологических, пробуренных в разные годы, ликвидированных и не ликвидированных после выполнения своего назначения. Их негативное воздействие на окружающую природу, водоносные горизонты, а также на экономику при их ремонте и ликвидации.

**Ключевые слова**

Заколонные перетоки, грифонообразования, водоносные горизонты, тампонажные смеси, изливающиеся скважины.

**Теория**

Основной негативной особенностью бурения является тот факт, что все скважины, добывая геологическую информацию и проходя через горные породы и водоносные горизонты, различные по своим физико-механическим свойствам и составу, становятся на время, а в основном, на неопределённо длительное время, проводящими каналами в горном массиве. В наибольшей степени от этого страдают подземные воды. Вмещающие воду породы, благодаря пробуренным скважинам, соединяются, меняя гидродинамические и химические параметры вскрытых водоносных горизонтов. Образование заколонных перетоков в изливающихся скважинах способствует размыву и заболачиванию прилегающих территории, истощению и загрязнению водоносных горизонтов, засолению почв и водоемов, в которые происходит разгрузка этих вод [1].

По причинам возникновения неконтролируемых изливов скважины можно условно разделить на три категории:

1. Скважины водозаборные, обустроенные на напорный водоносный горизонт, и пришедшие в аварийное состояние в результате разрушения обсадных колон и цементного камня в затрубном пространстве под воздействием коррозии и динамических нагрузок во временном диапазоне.

2. Геологоразведочные и изыскательские скважины (инженерно-геологические), вскрывшие напорный горизонт, и не ликвидированные или некачественно ликвидированные после выполнения своего назначения.

3. Некачественная изоляции затрубного пространства или ее отсутствие при бурении и обустройстве скважин на напорные водоносные горизонты.

*К первой категории* относятся водозаборные скважины пробуренные несколько десятков лет назад. Под воздействием временного фактора произошло разрушение цементного камня в заколонном пространстве, коррозия обсадных труб, потеря их герметичности и, как следствие на устье скважин, и на прилегающей к ним территории образовались грифоны (Рисунок 1, рисунок 2).

В качестве примера можно привести город Великие Луки Псковской области, в котором вот уже более 20 лет вода с содержанием сероводорода спокойно перетекает из аварийных водозаборных скважин в реку Ловать. Дебит каждой скважины в среднем составляет не менее 7200 м<sup>3</sup>/сут. Таких скважин только на территории г. Великие Луки насчитывается более 15 шт., но большая их часть разбросана по районам примыкающих к городу.



Рисунок 1. Скважина с грифоном.  
Насва, г. Великие Луки, Псковская  
область



Рисунок 2. Скважина с грифоном в д.  
Псковской области

Саргаевско-даугавский напорный водоносный горизонт, откуда происходит излив, является единственным источником водоснабжения г. Великие Луки. Под воздействием грифонов грунты четвертичных отложений на территории подверглись размыву, что внесло корректировку в их физико-механические свойства. С некоторых пор, воды за колонных перетоков стали оказывать негативное воздействие и в других частях города Великие Луки, где отметки залегания проницаемых пород ниже абс. отметок устьев водозаборных скважин.

*Скважины второй категории* – к этой категории относятся скважины, бурение которых было начато в период перестройки и продолжается по настоящее время.

Характерной особенностью этих скважин является полное отсутствие контроля со стороны государственных органов за технологией и качеством их сооружения, особенно для частного сектора и очень низкий квалификационный уровень специалистов (в большинстве случаев полное отсутствие профильного образования), осуществляющих эти работы.

В основной своей массе скважины с за колонным перетоком не ликвидируются, а оборудуются системой водоотведения (дренажа), позволяющей отвести воду от устья в дренажные канавы. Не все скважины, вскрывшие напорный водоносный горизонт, становятся аварийными, а только те на которых решили сэкономить. Ликвидация таких скважин затрудняется тем, что водоносные горизонты вскрываются на небольшой глубине (от 10 до 100 м) и традиционные технологии их ликвидации в этих случаях не работают. Поэтому предпочтения отдаются дренажу.

*Скважины третьей категории* – это мины замедленного действия, поскольку после бурения и условной «ликвидации» могут ничем себя не проявлять, но при проведении строительных работ, особенно при сооружении котлованов или при добычи полезных ископаемых подземным способом, оживают и уже дальнейшие работы без организации водоотведения или их ликвидации становятся невозможны. К этой категории относятся, как современные, так и скважины, пробуренные ранее.

Каждый день скважин буриться много и разных. Но мало кто осознает, что однажды пробуренная скважина, так и остается «незаживающей раной» в теле земной коры, проводящим каналом, соединяющим вскрытые скважиной водоносные горизонты. Даже если скважина ликвидируется, то это лишь временно, поскольку традиционно применяемые тампонажные материалы на цементной основе, недолговечны, и с течением времени, разрушаются. Кроме того, за счет усадки цемента и (или) под действием динамических нагрузок образуются микротрещины (наиболее вероятно образование микротрещин на контакте «тампонажный материал - горная порода» и «тампонажный материал - обсадная труба») [2,3]. Отсюда следует, что использование

твердеющих тампонажных смесей, на цементной основе для изоляции заколонного пространства нецелесообразно и экологически небезопасно.

Тем более, нецелесообразно использовать тампонажные материалы на цементной основе при ликвидации изливающихся скважин с заколонными перетоками, так как наличие движения воды по каналам грифона не создают благоприятных условий для формирования цементного камня. Очень велика вероятность того, что цементный раствор, попав в сильно обводненную среду, будет разубоживаться и вымываться, не начав даже кристаллизоваться.

Для ликвидации заколонных перетоков (грифонов) в изливающихся скважинах (в том числе в скважинах глубиной до 100 м) с целью их ремонта и ликвидации вот уже более 10 лет применяется технология, в которой в качестве изоляционного материала используется «Тампонажная смесь ЛП» [4].

«Тампонажная смесь ЛП» в исходном состоянии представляет собой вязкоупругую смесь, которая доставляется в зону источника водопроявления, заполняет поры и трещины вмещающих горных пород, кольматируя последние. Отличительной особенностью представляемого материала является его способность увеличиваться в объеме при контакте с водой, вытеснять воду из пор и трещин, заполняя собой освободившееся пространство.

Кроме того, при попадании в водный поток (например, поток воды, движущийся в заколонном пространстве и имеющий разгрузку на устье скважины или в вышележащем проницаемом горизонте) однородная масса Тампонажной смеси ЛП разделяется на маленькие частички, которые устремляются по потоку в намытые каналы. Постепенно набухая и застревая в узких местах, а затем налипая друг на друга, частички Тампонажной смеси, как бы вновь, собираются в однородную массу и кольматируют каналы, по которым двигалась вода.

Обладая хорошими адгезионными свойствами с металлом обсадных труб и с горными породами, «Тампонажная смеси ЛП» образует нетвердеющий, гидрофобный экран, препятствующий движению фильтра в заколонном пространстве. Создаваемый экран, способен выдерживать пластовые давления более 5 МПа.

Технологические свойства Тампонажной смеси позволяют ликвидировать и ремонтировать изливающиеся скважины с грифонами, вскрывшие напорные горизонты на глубине от 10 и более м. Тампонажный материал не подвержен агрессивному воздействию подземных вод и устойчив к динамическим нагрузкам. В случае их возникновения (проседания грунта и пр.), способен самостоятельно заполнять вновь образующиеся пустоты и (или) трещины, кольматируя их. В заколонном пространстве создается пластичный не проницаемый гидрофобный экран, разобщающий водоносные горизонты.

### **Выводы**

В данной работе рассмотрены причины возникновения заколонных перетоков и последствия грифообразования. Представленная технология ликвидации заколонных перетоков, с использованием в качестве изоляционного материала Тампонажной смеси ЛП уже более 10 лет успешно применяется для ремонта изливающихся скважин с заколонными перетоками. За время существования технологии было отремонтировано более 40 скважин и практически во всех скважинах кровля напорного водоносного горизонта залегала на глубине до 50 м. Отрицательных результатов не было. Имеется опыт использования Тампонажных смесей ЛП в качестве изоляционного материала для обсадных труб в водозаборных скважинах, обустроенных на напорный водоносный горизонт.

### **Библиография**

1. Пискунов А.И. Заколонные перетоки и анализ причин их появления // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2014. №1. С. 141-144.

2. Пискунов А.И., Леушева Е.Л. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия. Анализ причин появления заколонных перетоков». Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с Международным участием, посвященной 60-летию кафедры бурения скважин. Издательство «Томского политехнического университета», 2014.

3. Райкевич С.И. Межколонные давления и заколонные движения флюидов в скважинах. Пути решения проблемы // Труды международного технологического симпозиума «Интенсификация добычи нефти» / Институт нефтегазового бизнеса. – г. Москва, март 2003 г.- М., 2003. – С. 579-587.

4. Трифаничев В.М., Тудвачев А.В. «Изливающие скважины: чем они опасны и что с этим делать». Справочник эколога №7, июль 2022 г.

*К вопросу о перспективах применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте  
нефтяных и газовых скважин*

*Леонтьев Д.С.\* (ФГБОУ ВО ТИУ, leontevds@tyuiu.ru)*

**Аннотация**

За последние годы в России (в том числе и Западной Сибири) значительно вырос объем бурения глубоких нефтегазодобывающих скважин, усложнились геолого-технические условия их проводки, что, в первую очередь, повышает требования к качеству буровых промывочных жидкостей. Перспективны для приготовления буровых растворов каустобиолиты – т.е., природные органогенные материалы (сапропели, торфы и т.д.).

В работе представлены результаты лабораторных исследований применения сапропелей в буровые и тампонажные растворы.

**Ключевые слова**

Сапропель, буровые растворы, цементные растворы, лабораторные исследования.

**Теория**

В 2016 год автором была опубликована статья под названием «Перспективы применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин» в журнале «Известия Вузов. Нефть и газ» № 3 [1], в которой рассматривался белорусский опыт использования сапропелей в качестве структурообразующих добавок в буровые растворы, применение сапропелевых растворов в качестве эмульсий, буферных жидкостей, а добавки сапропеля в тампонажные растворы.

В 1984 году в Белоруссии была защищена кандидатская диссертация на тему «Структурообразование в водных дисперсиях сапропелей и составы буровых растворов на их основе» (автор Косаревич И.В.) [2], в которой было исследовано влияние дисперсности и концентрации твердой фазы на структурно-реологические свойства дисперсий сапропелей различных генетических типов. В этой работе впервые была установлена зависимость критической концентрации структурообразования (СККС) сапропелей от соотношения органических и минеральных компонентов. Показано, что при сушке или введении минеральных примесей величины (СККС) возрастают, а реологические и технологические свойства дисперсий ухудшаются. Также в диссертационной работе впервые была установлена зависимость структурно-реологических и технологических свойств дисперсий сапропелей от биологического и группового составов органического вещества сапропелей. Наилучшими реологическими и технологическими свойствами обладают сапропели с высоким содержанием природных органических веществ.

В 1986 году в журнале «Нефтяное хозяйство» № 12 [3] была опубликована научная статья «Влияние сапропелевых буровых растворов на фильтрационные свойства продуктивных пластов» (авторы Лиштван И.И. (Ин-т торфа АН БССР), Гонцов А.А., Ложеницына В.И., Зазуляк О.М., (БелНИГРИ), Демяненко Н.А., Минеев Б.П. (Укргипроиниенфть)). В статье изложены результаты исследования коагулирующей способности сапропелевых дисперсных систем и процессов восстановления проницаемости закоагулированных сапропелевым веществом пористых образцов путем физико-химического воздействия, а также приведены результаты анализа промысловых данных по испытанию продуктивных пластов, вскрытых с использованием сапропелевого раствора [3]. Авторами для исследований были выбраны суспензии различных типов сапропелей. Для сравнения ими изучались глинистые суспензии на основе иджеванского бентонита.

По результатам экспериментов авторы сделали следующие выводы. Анализ характера воздействия сапропелевых буровых растворов на пористые образцы различной начальной проницаемости показывает, что проницаемость их резко уменьшается, иногда до полного

прекращения фильтрации через породу. В то же время четко прослеживается обратная зависимость степени кольматации от начальной проницаемости образцов. По своему кольматирующему действию на проницаемые породы сапропелевые растворы либо не уступают бентонитовым суспензиям, либо их воздействие несколько ниже.

В 2024 году стенах ФГБОУ ВО ТИУ также были проведены лабораторные исследования по разработке сапропелевых буровых растворов. Элементный состав сапропелей представлен в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав сапропелей

Спектр	Элементный состав сапропелей											
	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe
Макс.	5,5 4	48,4 7	0,7 6	0,6 0	5,2 5	15,4 0	15,3 5	1,9 8	48,6 7	3,0 1	0,9 2	6,43
Мин.	0,0 0	18,8 6	0,3 7	0,4 2	0,6 3	2,18	8,01	0,2 7	22,0 9	1,9 2	0,3 2	0,51

Были исследованы свойства как самих сапропелей, так и их гуматов. Всего было исследовано шесть рецептов:

- 1). 20 % сапропель + 1,5 % каустическая сода + вода остальное;
- 2). 30 % сапропель + 1,5 % каустическая сода + вода остальное;
- 3). 40 % сапропель + 1,5 % каустическая сода + вода остальное;
- 4). 20 % гумат + 1,5 % каустическая сода + вода остальное;
- 5). 30 % гумат + 1,5 % каустическая сода + вода остальное;
- 6). 40 % гумат + 1,5 % каустическая сода + вода остальное.

Результаты исследований. Плотности разработанных сапропелевых буровых растворов – 1020-1040 кг/м<sup>3</sup>, пластическая вязкость – 1-7 сП, ДНС – 1-5 дПа, СНС – 1-2 дПа, водоотдача – 12-25 мл/30 мин, УВ – 23-25 с.

Стоит отметить, что данные параметры, безусловно, регулируются путем ввода дополнительных химических реагентов, например для снижения водоотдачи, повышения пластической вязкости. К примеру, в Томском политехническом университете при проведении экспериментов для снижения показателя водоотдачи применяли метод термической обработки суспензий. Водоотдача снизилась в 2,5 раза.

Также были проведены лабораторные исследования по разработке цементных растворов с добавлением сапропелей.

Были исследованы четыре рецептуры цементных растворов:

1. Базовый цементный раствор в соотношении В:Ц = 0,5;
2. Цементный раствор: 95%Ц+5% сухой гумат сапропеля (порошок);
3. Цементный раствор: 95%Ц+5% гумат сапропеля;
4. Цементный раствор: 95%Ц+5% сапропель.

При проведении исследований наблюдались следующие эффекты:

1. Добавление сапропеля в цементный раствор в любом виде (сапропель, гумат или сухой гумат) облегчают тампонажные растворы, пригодные для цементирования в условиях аномально-низких пластовых давлений. Так если плотность базового цементного раствора (вода+цемент) составляет 1,82 г/см<sup>3</sup>, при добавлении сухого гумата в дозировке 5 % от сухой смеси плотность раствора снижается на 0,09 г/см<sup>3</sup>, при добавлении сапропеля – на 0,14 г/см<sup>3</sup>, при добавлении гумата – на 0,12 г/см<sup>3</sup>. Хотя, безусловно, показатели влияния на плотности цементных смесей сапропелей других месторождений могут показать другие результаты.

2. Отмечено, что тампонажные цементы при водозатворении в первый момент дают коагуляционно-кристаллизационные структуры небольшой прочности. В дальнейшем в результате срастания и твердения цементных частиц прочность кристаллизационной структуры нарастает, тем самым образуется прочный цементный камень. Согласно проведенным исследованиям, прочность базового раствора на изгиб теряется, в то время как на сжатие она выросла практически в 3 раза.

Результаты образца с добавкой сухого гумата показали лучшие результаты. Через двое суток твердения на тестере произошла аварийная остановка в связи с тем, что сформированный тампонажный камень не сформировал надежную прочность, через семь дней прочность его на изгиб равна порядка 3,6 МПа и близка к прочности камня базового через двое суток твердения. Прочность на сжатие через двое суток твердения равна 4,2 МПа, через семь суток – 19 МПа, выросла практически в 4,7 раза.

Тампонажные составы с добавлением гумата и сапропеля как через двое, так и через семь суток показали низкие показатели. Прочность не превышает 1 МПа. Прочности на сжатие в какой-то степени стали меньше, но не существенно. Это говорит о том, что прочность на сжатие со временем начинает снижаться.

3. Растекаемость тампонажных растворов повышается, это говорит о том, что прокачивание таких растворов через насосы в процессе крепления скважин или проведения водоизоляционных работ облегчается в разы. Практически по всем добавкам (5 % от сухой смеси) растекаемость полная.

4. Интересные результаты по пластической вязкости растворов. Пластическая вязкость базового состава составляет 68,9 сП. Наибольшей пластической вязкостью обладает раствор с 5 % добавкой сухого гумата – 130 сПз, раствор обладает вязкоупругими свойствами. При добавлении гумата и сапропеля пластическая вязкость снижается на 23 сПз и 12,7 сПз, соответственно.

5. Из проведенного анализа литературных источников установлено, что цементные растворы с добавлением сапропеля обладают высокой коррозионной стойкостью к действию пластовых вод, тем самым увеличивая долговечность скважин. Это и важно при проведении работ по капитальному ремонту скважин при проведении работ по изоляции заколонных циркуляций пластовых вод из ниже- или вышележащих водоносных горизонтов. Таким образом, водоизоляционные составы на основе цемента или микроцемента с добавлением сапропелей также является актуальными.

## **Выводы**

1. Сапропелевые буровые растворы отвечают одному из важнейших требований, предъявляемых к растворам для вскрытия продуктивных пластов. С одной стороны, они временно надежно кольматируют проницаемые породы, изолируя их от вредного влияния фильтрата и твердых частиц, с другой – после обработки соляной кислотой в условиях репрессивных и депрессионных воздействий легко восстанавливают естественную проницаемость пласта-коллектора, что полностью соответствует условиям создания управляемой кольматации.

2. Добавление в состав цементных растворов сапропелей и торфа дает возможность получать облегченные тампонажные растворы, пригодные для цементирования в условиях аномально-низких пластовых давлений. Добавление сапропелей и торфа различной плотности позволяет регулировать плотность тампонажных растворов в довольно широких пределах. Отмечено, что тампонажные цементы при водозатворении в первый момент дают коагуляционно-кристаллизационные структуры небольшой прочности. В дальнейшем в результате срастания и твердения цементных частиц прочность кристаллизационной структуры нарастает, тем самым образуется прочный цементный камень.

3. Перспективны применения сапропелей в качестве структурообразующих добавок в буровые растворы, применение сапропелевых растворов в качестве эмульсий, буферных жидкостей, а добавки сапропеля в тампонажные растворы.

4. Сапропель можно использовать в буровых растворах в качестве: утяжелителя, загустителя, ингибитора коррозии, бактерицида, стабилизатора глин, смазывающей добавки.

### **Библиография**

1. Леонтьев, Д.С. Перспективы применения сапропелевых растворов при бурении и ремонте нефтяных и газовых скважин / Д.С. Леонтьев, А.В. Кустышев, Н.С. Цедрик – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. - 2016. - № 3. - С. 84-89.

2. Косаревич, И. В. Структурообразование в водных дисперсиях сапропелей и составы буровых растворов на их основе : 05.15.05 : дис. ... канд. техн. наук / И. В. Косаревич ; АН БССР. - Минск, 1984. - 305 с. - Текст : непосредственный.

3. Влияние сапропелевых буровых растворов на фильтрационные свойства продуктивных пластов / И. И. Лиштван, А. А. Гонцов, В. И. Ложеницына [и др.]. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. - 1986. - № 2. - С. 22-26.

4. Косаревич, И. В. Сапропелевые буровые растворы: монография / И. В. Косаревич, Н. Н. Битюков, В. Ш. Шмавонянц. – Под ред. И.И. Лиштвана. – Минск : Наука и техника, 1987. – 191 с. – Текст : непосредственный.

*Исследование влияния доменных шлаков и других добавок на свойства портландцемента  
Быков В.Д.\* (Тюменский индустриальный университет, valeriybykov2001@gmail.com),  
Овчинников В.П. (Тюменский индустриальный университет, ovchinnikovvp@tyuiu.ru)*

**Аннотация**

Для того чтобы повысить качество крепления скважин, было разработано несколько стратегий, одна из которых включение добавок в качестве замены клинкера. Использование доменных шлаков в качестве вяжущего компонента показывает улучшение характеристик цементного камня.

**Ключевые слова**

Доменный шлак, тампонажный раствор, изучение свойств, прочность.

**Теория**

Для обеспечения устойчивого и надежного крепления стенок скважины необходимо использовать различные добавки, например: доменный шлак, известняк и летучая зола. Доменный шлак является побочным продуктом производства чугуна. Известняк — это осадочная горная порода, состоящая из карбоната кальция. Летучая зола является тонкодисперсным остатком сгорания топлива из его минеральных примесей, содержащихся в дымовом газе во взвешенном состоянии. Данная статья посвящена исследованию влияния доменных шлаков и других добавок на свойства портландцемента с целью выявления их потенциала для усовершенствования составов тампонажных растворов. Результаты данного исследования могут привести к разработке более эффективных растворов при цементировании глубоких скважин, что, в свою очередь, даст возможность повысить надежность и долговечность скважин [1].

Целью данного исследования является изучение долгосрочного влияния доменных шлаков, сочетающих добавки летучей золы и известняка, на микроструктуру, параметры, связанные с долговечностью, и механические характеристики тампонажных растворов [2].

Испытания проводились на базе портландцемента ПЦТ-I-100. Эталонный раствор был приготовлен без добавок (образец 1). Последующие растворы приготовлены с различными комбинациями добавок. Состав исследуемых растворов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав исследуемых растворов

Номер образца	Процентное содержание, %			
	ПЦТ-I-100	Доменный шлак	Известняк	Летучая зола
1	100	-	-	-
2	70	30	-	-
3	70	15	15	-
4	70	15	-	15

В ходе исследования были рассмотрены следующие параметры:

1. Пористость цементного камня: ртутная порометрия позволяет получить данные о поровой сети материалов. В данном исследовании анализировались общая пористость и распределение пор по размерам. Распределение пор по размерам анализировалось с учетом следующих интервалов: <10 нм, 10-100 нм, от 100 нм до 1 мкм, 1-10 мкм, от 10 мкм до 0,1 мм и >0,1 мм. Для каждого типа раствора было проведено по два измерения через 28 и 250 дней.

2. Электрическое сопротивление: электрическое сопротивление дает информацию о микроструктуре и связности пор в материалах на основе цемента. Для каждого типа раствора было протестировано по три цилиндра и проведено четыре измерения для каждого образца через 7, 28, 60, 120, 180 и 250 дней.

3. Механическая прочность: Прочность на сжатие и изгиб определяли в соответствии с ГОСТ 34532-2019[3]. Для каждого типа раствора было подготовлено по 3 образца размером  $4 \times 4 \times 16$  см через 28 и 250 дней твердения.

Результаты общей пористости, полученные методом ртутной порометрии, представлены на рисунке 1. Как можно заметить, через 28 дней твердения самые низкие значения этого параметра соответствуют образцам 1 и 2. В этом же возрасте растворы, изготовленные с использованием тройных вяжущих 3 и 4, показали несколько более высокую общую пористость, чем растворы 1 и 2. Изменения общей пористости между 28 и 250 сутками для большинства исследованных растворов были незначительными.

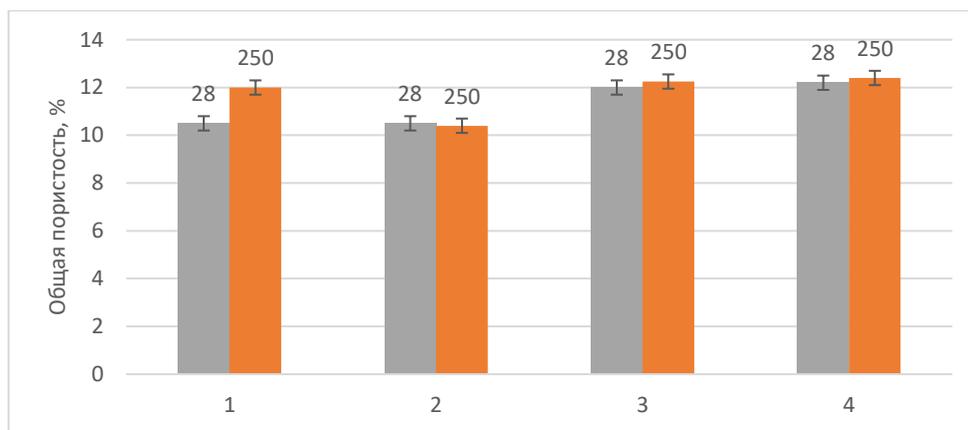


Рисунок 1. Результаты общей пористости

Что касается распределения пор по размерам, то оно представлено в таблице 2. Через 28 дней твердения процентное содержание пор с диаметром менее 100 нм (диапазоны пор <10 нм и 10-100 нм) было относительно одинаковым для всех исследованных растворов. Через 250 дней наблюдалось увеличение количества более мелких пор (<10 нм) для всех исследованных растворов.

Таблица 2

Распределение пор по размерам

Образец Размер пор	1		2		3		4	
	28	250	28	250	28	250	28	250
>0,1 мм	0,5	0,4	1,1	1,3	0,8	1,1	2,2	1,9
10 мкм - 0,1 мм	2,4	3,6	2,8	6,5	4,3	1,9	5,8	3,6
1-10 мкм	9,6	4,8	11,9	12,8	6,9	8,5	11,4	9,5
100 нм - 1 мкм	19,5	25,2	23,2	20,2	21,0	30,5	17,6	26
10-100 нм	57,2	47,7	48,3	36,6	54,9	39,5	42,7	36,4
<10 нм	10,8	18,3	12,7	22,6	12,1	18,5	20,3	22,6

Результаты измерения удельного электрического сопротивления представлены на рисунке 3. В большинстве анализируемых растворов наблюдается тенденция к увеличению данного

параметра в течение исследуемого периода времени. Самое большое изменение значений удельного электрического сопротивления было отмечено у раствора 4. Самое низкое значения удельного сопротивления было отмечено у раствора 1, и оно практически не изменилось с 28 до 250 дней.

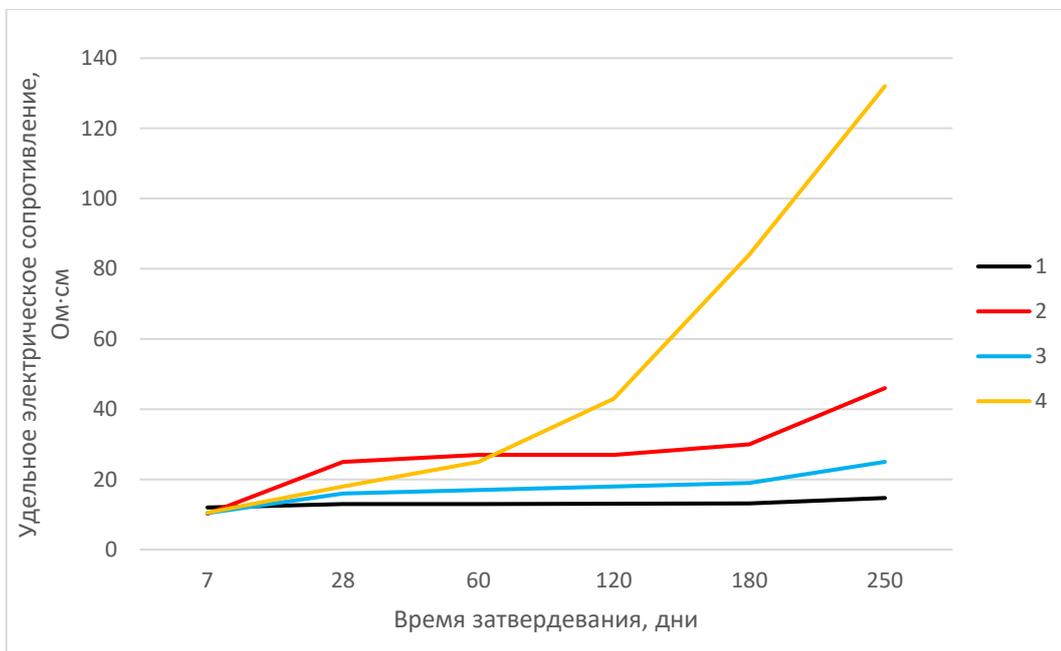


Рисунок 2. Результаты измерения удельного электрического сопротивления

Результаты измерения прочности на сжатие и изгиб представлены в таблице 3. Через 28 дней самые высокие значения прочности на сжатие были отмечены у раствора 2, в то время как самые низкие - у раствора 3. После 250 дней самые высокие значения прочности на сжатие наблюдались у раствора 4, а наименьшая показатель прочности у 3 раствора. Между 28 и 250 сутками прочность на сжатие увеличилась у всех исследованных растворов. Значения плотности на изгиб были относительно одинаковыми для всех исследованных растворов. Через 250 дней твердения самые высокие показатели прочности на изгиб были отмечены у растворов 3, а самые низкие – у растворов 1.

Таблица 3

Результаты измерений цементного камня на прочность

Образец	Прочность на сжатие, МПа		Прочность на изгиб, МПа	
	28 дней	250 дней	28 дней	250 дней
1	56,1	66,2	8,2	8,6
2	57,4	66,3	8,9	9,2
3	49,2	52,6	9,1	9,8
4	56,8	67,3	7,7	8,8

### **Выводы**

С учетом полученных результатов, прежде всего, важно подчеркнуть, что в исследованных растворах наблюдается прогрессирующее утончение микроструктуры, о чем свидетельствует увеличение со временем относительного объема более мелких пор, выявленное по результатам ртутной порометрии, и тенденция к увеличению удельного электрического сопротивления. Такое измельчение пор происходит в результате гидратации шлака и клинкера, а также пуццолановых реакций золы [4].

Несмотря на это, в целом, включение шлака, известняка и летучей золы в тампонажные растворы приводит к более высокому развитию микроструктуры и улучшению прочности и механических свойств. Это может быть связано с гидравлической активностью шлака и пуццолановой активностью летучей золы. Требуется дополнительные исследования, направленные на более подробное изучение воздействия доменного шлака на свойства тампонажного раствора и цементного камня.

### **Библиография**

1. Проблемы и их решения при цементировании эксплуатационных колонн высокотемпературных скважин / В. П. Овчинников, П. В. Овчинников, А. В. Мелехов, О. В. Рожкова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 1(133). – С. 39-46. – DOI 10.31660/0445-0108-2019-1-39-46. – EDN ZAWFKP.
2. Изменение структуры и пористости цементного камня при введении дисперсного известняка / Л. В. Ильина, Н. О. Гичко, А. Н. Теплов, А. К. Туляганов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 9(705). – С. 41-49. – EDN YLVRKI.
3. ГОСТ 34532-2019. Цементы тампонажные. Методы испытаний. – Москва: Изд-во стандартов. – 27 с. – Текст : непосредственный.
4. Олесько, М. Влияние размера частиц гранулированного доменного шлака на гидратацию шлакопортландцемента и его свойства / М. Олесько // Цемент и его применение. – 2018. – № 6. – С. 86-92. – EDN YYMIPR.

*Применение наночастиц в буровых растворах в условиях высоких температур и высоких давлений*

*Астафьев Е.Д.\* (ТИУ, [astafeved@mail.ru](mailto:astafeved@mail.ru)),  
Паникаровский Е.В. (ТИУ, [panikarovskijev@tyuiu.ru](mailto:panikarovskijev@tyuiu.ru))*

**Аннотация**

В рамках данной работы был произведен литературный обзор существующих наночастиц, применяемых в качестве добавок в буровые растворы для придания им необходимых физико-химических свойств.

**Ключевые слова**

Наночастицы, буровые растворы, нанокompозиты, полимеры.

**Введение**

В настоящее время основными источниками энергии для человека остаются невозобновляемые ресурсы, такие как нефть, газ и уголь. Уменьшение запасов обычных нефтяных и газовых месторождений стимулирует интерес нефтегазовых компаний к разработке неконвенциональных месторождений в условиях высокой температуры и высокого давления (ВТВД). Это требует усовершенствования и разработки новых рецептур буровых растворов, так как существующие составы не соответствуют новым условиям.

Буровые растворы, используемые при бурении, делятся на два основных типа: раствор на водной основе (РВО) и раствор на углеводородной основе (РУО). РУО эффективно ингибирует глины и обладает хорошими реологическими характеристиками, но при этом обладает высокой токсичностью и менее стабильной эмульсией при ВТВД, что влияет на каротаж скважины. РВО, считаясь более доступным и экологически безопасным раствором, предоставляет возможность утилизации с минимальными затратами.

Применение синтетических полимеров направлено на повышение вязкости, стабилизацию глин, уменьшение показателя фильтрации и регулирование реологических характеристик. Однако использование этих полимеров ограничено на месторождениях с ВТВД из-за их нестабильности.

Полимеры, такие как карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и ксантановая смола, часто добавляются в РВО, чтобы улучшить их вязкость, реологию и снизить водоотдачу. Однако эти полимеры не подходят для условий ВТВД [3]. В поиске новых решений нефтегазовая промышленность стремится к созданию небольших, многофункциональных, экологически чистых и стабильных полимеров, а также использованию природных продуктов для эффективных коллоидных буровых растворов.

Нанотехнологии предоставляют разнообразные возможности в нефтяной и газовой промышленности, особенно в области бурения скважин. Их применение может значительно улучшить реологические, термические и механические свойства буровых растворов [1]. Наночастицы, такие как нанокремнезем, нанографит, оксид графита, углеродные нанотрубки, оксид цинка и оксид меди, показывают потенциал в улучшении ингибирования глин и реологии буровых растворов при ВТВД [1,2,4]. Их использование предлагает перспективные решения для преодоления традиционных ограничений и открывает новые возможности в нефтегазовой промышленности.

**Наноматериал в буровых растворах**

Наноматериалы, добавляемые в буровые растворы в диапазоне размеров от 1 до 100 нм, представляют собой инновационные компоненты с широким потенциалом в нефтяной и газовой промышленности. Эти материалы значительно улучшают физико-химические, электрические, тепловые и гидродинамические характеристики буровых растворов [1].

Наножидкости представляют собой смеси твердых наноматериалов, взвешенных в базовых жидкостях. Основными компонентами часто являются оксиды металлов, способствующие увеличению теплопроводности и поддержанию теплопередачи. Различие между милли-, микро- и нанометровыми материалами представлено на рисунке 1. Большое влияние оказывают форма, ориентация и структура наночастиц.



Рисунок 1. Шкала размеров частиц

Наноматериалы обладают лучшей дисперсностью и возможностью более тонкой настройки физических свойств, таких как теплопередача, смачиваемость и поверхностное натяжение. Наножидкости обладают многообещающими свойствами теплопроводности по сравнению с обычными РВО [4]. Например, даже 5% добавка оксида меди в раствор может увеличить эффективность теплопередачи на 22,4%. Улучшенная теплопроводность жидкостей из наноматериалов привлекла исследователей к использованию их в буровых растворах [4].

Важными характеристиками оцениваемых жидкостей из наноматериалов стали вязкость, прочность геля, pH и объем потерь фильтрата. Исследования показали, что наноконкомпозиты, такие как TiO<sub>2</sub>-полиакриламид, не только улучшают вязкость, но и снижают потери при фильтрации, формируя тонкую непроницаемую корку на стенках скважины [3].

В отличие от различных полимеров, используемых в буровых растворах, таких как гуаровая камедь, ксантановая камедь, РАС и КМЦ, которые не работают в условиях ВТВД, наночастицы оксидов металлов проявляют выдающуюся теплопередачу и могут функционировать при более высоких температурах (более 120-150°C). В таблице 1 представлены результаты влияния наночастиц на свойства буровых растворов.

Интеграция наночастиц в традиционные буровые растворы обеспечивает более устойчивые характеристики. Например, взаимодействие полимеров с различными оксидами металлов может привести к образованию гибридных (неорганическо-органических) наноконкомпозитных соединений. Неорганическая часть повышает термическую стабильность, в то время как органическая часть обеспечивает лучшие функциональные возможности полимера, такие как химическая стабильность. Таблица 2 содержит примеры наноконкомпозитных соединений.

Таблица 1

Функции наночастиц в буровых растворах

Наночастицы	Полученные результаты
CuO и ZnO	Контроль вязкости при ВТВД
Нанокремнезем (SiO <sub>2</sub> )	Контроль показателя фильтрации, ингибирование глин в условиях ВТВД

Углеродные нанотрубки	Стабилизация реологических свойств растворов
Нанографит	Контроль вязкости при ВТВД

Таблица 2

Обзор нанокompозитов в буровых растворах

Нанокompозит	Полученные результаты
ПАА+TiO <sub>2</sub>	Уменьшение водоотдачи и контроль вязкости
Гибрид нанокремнезема на основе акриламидного полимера	Стабилизация реологических свойств и ингибирование глин
Гибрид органического и неорганического геля	Предотвращение потери циркуляции
Соединение углеродные трубки+полимер	Улучшение системы герметизации пласта для оценки его в скважинных условиях ВТВД
Нанокompозит ZnO+глина	Стабилизация реологических свойств в условиях ВТВД

**Выводы**

Нетрадиционные залежи углеводородов залегают в условиях ВТВД. Помимо энергетических ресурсов, связанных с ископаемым топливом, глубинные геотермальные энергетические ресурсы находятся в условиях высоких температур. Обычные микро- и макродобавки для бурения могут разрушаться в условиях ВТВД.

Обычные полимеры, обладающие макроразмерами, неспособны эффективно закупоривать нанопоры в глинистых породах. Несмотря на внесение ингибиторов набухания глин в буровые растворы, сохраняются проблемы при бурении этих пород, что приводит к нестабильности ствола скважины. Некоторые исследователи ищут решение в использовании наночастиц для ингибирования глин и эффективной блокировки нанопор в них и других геологических формациях, с которыми сталкиваются при бурении.

Буровые растворы с включением наночастиц представляют собой потенциальное решение для бурения в экстремальных условиях. Они могут решить проблему нестабильности ствола скважины, гидратации глин, дифференциального прихвата и высокой величины водоотдачи.

Наночастицы оксидов металлов являются хорошими проводниками тепла. Это может быть лучшим вариантом для бурения скважин с ВТВД. Последнее применение нанокompозитов в бурении показало значительное улучшение реологических свойств и способности ингибирования растворов.

**Библиография**

1. Abdo J., Haneef M. D. Clay nanoparticles modified drilling fluids for drilling of deep hydrocarbon wells //Applied Clay Science. – 2013. – Vol. 86. – P. 76-82.
2. Ravisankar R. et al. A review on oxide and metallic form of nanoparticle in heat transfer //International Journal of Engineering Science and Technology. – 2014. – Vol. 6, №. 3. – P. 63.
3. Sadeghalvaad M., Sabbaghi S. The effect of the TiO<sub>2</sub>/polyacrylamide nanocomposite on water-based drilling fluid properties //Powder Technology. – 2015. – Vol. 272. – P. 113-119.
4. William J. K. M. et al. Effect of CuO and ZnO nanofluids in xanthan gum on thermal, electrical and high pressure rheology of water-based drilling fluids //Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2014. – Vol. 117. – P. 15-27.

**Влияние кольматанта на свойства тампонажного раствора и цементного камня**

**Карпов Е.О.\* (ТИУ, karpoveo@mail.ru),  
Попова Ж.С. (ТИУ, popovazs@tyuiu.ru)**

**Аннотация**

В рамках данной работы были проведены лабораторные испытания кольматанта в составе тампонажного раствора.

**Ключевые слова**

Исследование, кольматант, целлюлоза, анализ, тампонажный раствор.

**Теория**

При цементировании скважины может возникнуть осложнение в виде поглощения тампонажного раствора проницаемыми породами. Целью данной работы являлось проведение испытаний тампонажного раствора и цементного камня в лабораторных условиях с добавлением в них кольматанта «Магвул».

Главная задача любого кольматанта, что в тампонажном, что в буровом растворе, это предотвращение поглощений, путём закупоривания трещин в горной породе. Применяемый кольматант является вторичным целлюлозным волокном, полученным при переработке макулатуры (методом сухого роспуска).

При проведении лабораторных испытаний помимо кольматанта использовались следующие реагенты: 2 портландцемента на базе которых были получены тампонажные растворы. Это ПЦТ-I-50 и ПЦТ-I-G-CC-1. Понизитель фильтрации FLOSS 500, суперпластификатор СП-1, понизитель водоотдачи Полицем Газблок и армирующая добавка.

Все проведённые испытания были выполнены на базе Тюменского индустриального университета в центре перспективных исследований и инновационных разработок ЦПИИР.

Испытания были проведены с помощью следующего оборудования:

- 1) Установка измерения образцов цемента на прочность Matest
- 2) Фильтр-пресс 6-секионный OFITE
- 3) Рычажные весы OFITE
- 4) Конус растекаемости КР-1
- 5) Вискозиметр OFITE 800

Ниже представлены результаты испытаний в двух сводных таблицах и двух диаграммах для на базе ПЦТ-I-50 и ПЦТ-I-G-CC-1.

Таблица 1

Результаты испытаний на базе ПЦТ-I-50

ПЦТ I-50, г	Вода, мл	Магвул, г	Floss 500, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водоотдача, мл/30 мин	Растекаемость	Прочность образца на сжатие через определённое количество суток, МПа	СНС, Па		Угол закручивания при оборотах/мин					
								10 сек	10 мин	30 0	20 0	10 0	6 0	3 0	6
500	250	-	-	1,487 1,483	58	20 22	3 суток 26,905 24,032	8,64	10,07	94	83	72	67	61	27

50 0	25 0	2, 5	-	1,48 7 1,48 8	64	20 20	2 суток 20,057 21,110	8,73	11,9 9	98	84	68	5 9	5 1	2 5
50 0	25 0	5	-	1,47 4 1,47 7	59	18 19	4 суток 26,256 31,560	15,3 4	17,2 6	14 7	12 5	99	8 3	5 7	2 2
50 0	25 0	2, 5	2, 5	1,48 7 1,48 3	14, 5	17 16	4 суток 24,871 24,791	9,27	19,6 5	22 2	16 9	10 8	7 9	5 2	2 3

Таблица 2

Результаты испытаний на базе ПЦТ-I-G-CC-1

ПЦТ-I-G-CC-1, г	Вода, мл	Магнул, г	СП-1, г	Газблок, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водоотдача, мл/30	Прочность образца на сжатие через определённ ое количество суток, МПа	СНС, Па		Угол закручивания при оборотах/мин					
								10 сек	10 мин	300	200	100	60	30	6
50 0	22 0	-	-	-	1,57 8 1,58 1	57	3 суток 17,056 15,454 16,177	5,74	17,7 1	51	49	40	34	27	1 8
50 0	22 0	2, 5	-	-	1,49 1 1,49 4	68	2 суток 19,981 18,663	4,77	9,11	72	63	43	34	26	1 1
50 0	22 0	5	-	-	1,55 4 1,55 8	69	2 суток 15,682 17,982	7,17	11,4 6	144	110	69	49	31	1 5
50 0	22 0	5	-	5	1,50 7 1,51 1	10	2 суток 24,663 26,044	19,6 1	27,7 4	>33 0	>33 0	>33 0	27 4	17 9	6 4
50 0	22 0	5	1, 5	5	1,45 6 1,45 9	17	2 суток 18,469 16,862	11,9 5	13,8 5	>33 0	>33 0	267	18 7	11 7	4 1

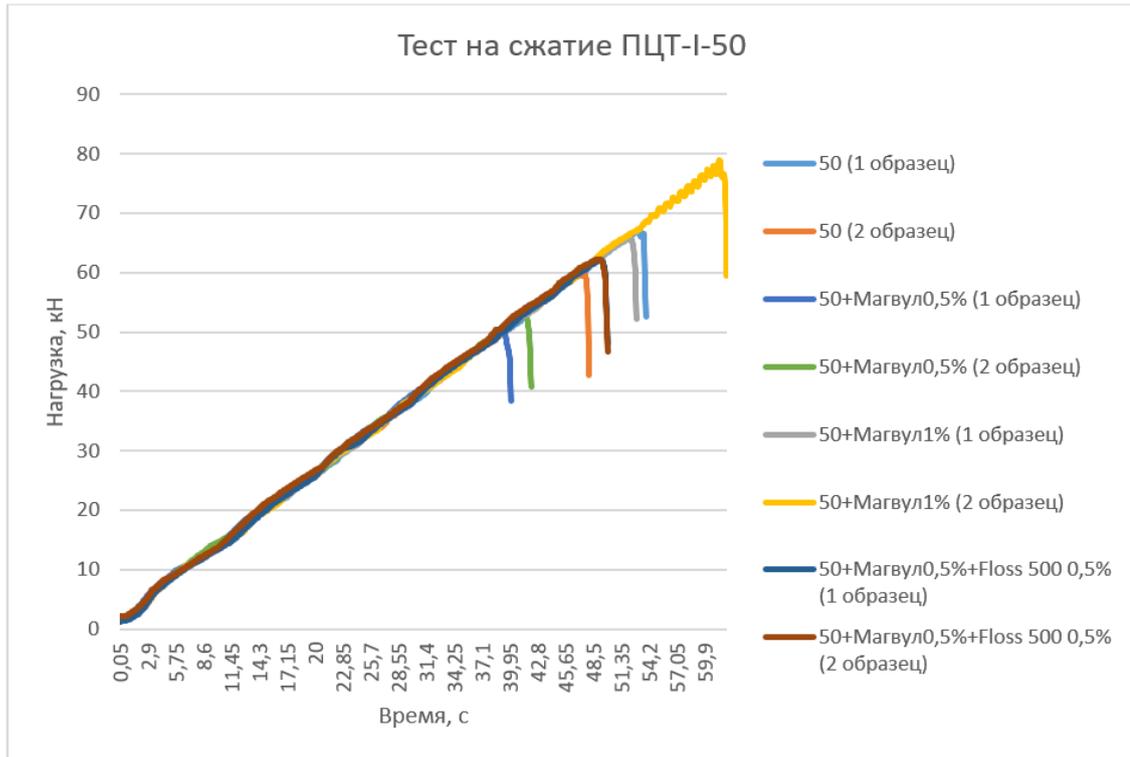


Рисунок 1. Результат теста на сжатие на базе ПЦТ-I-50

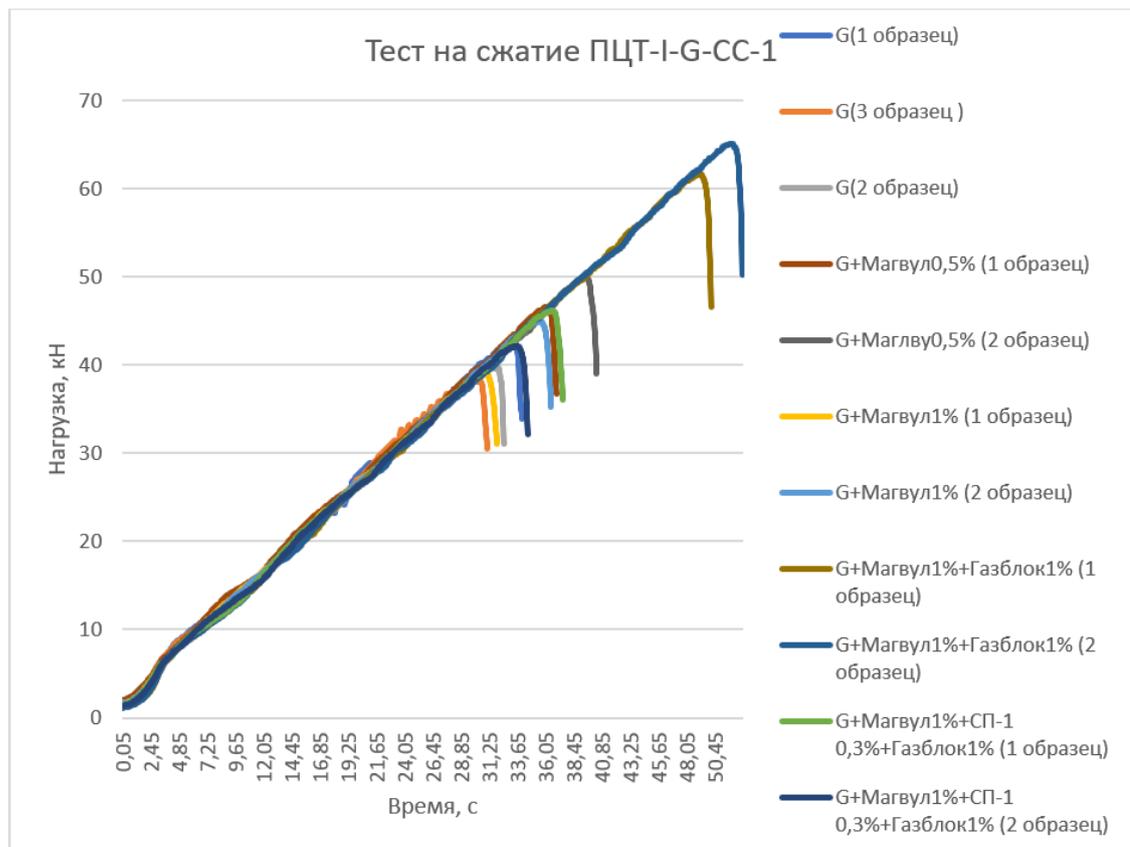


Рисунок 2. Результат теста на сжатие на базе ПЦТ-I-G-CC-1

- 1) Чем больше концентрация кольматанта, тем более вязкий получается тампонажный раствор.
- 2) С повышением концентрации кольматанта увеличивается ДНС и пластическая вязкость.
- 3) Добавление кольматанта упрочняет цементный камень, при условии, что камень приготовлен из тампонажного раствора на базе ПЦТ-I-G-СС-1.
- 4) При добавлении кольматанта водоотдача тампонажного раствора на базе ПЦТ-I-G-СС-1 увеличивается, а на базе ПЦТ-I-50 остаётся без изменений.
- 5) Добавление кольматанта практически не влияет на плотность тампонажного раствора

### **Выводы**

Подводя итоги полученных результатов, можно сделать вывод что добавление кольматанта в тампонажный раствор дало положительные результаты, поскольку помимо основной функции как предотвращение поглощений, он влияет и на свойство как тампонажного раствора, так и цементного камня. Его использование перспективно ещё и за счёт его стоимости. Поскольку получение переработанной макулатуры не является сильно затратным решением в производстве.

### **Библиография**

1. ГОСТ 34532-2019. Цементы тампонажные. Методы испытаний : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 ноября 2019 г. № 1147-ст : дата введения 2020-06-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 22 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 1581-2019. Портландцементы тампонажные. Технические условия : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 октября 2019 г. № 847-ст : дата введения 2020-06-01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с. – Текст : непосредственный.
3. Овчинников, В. П. Физико-химические процессы твердения, работа в скважине и коррозия цементного камня : учебное пособие / В. П. Овчинников, Н. А. Аксенова, П. В. Овчинников. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2008. – 368 с. – Текст : непосредственный.
4. Повышение долговечности крепи скважин в сложных горно-геологических условиях : монография / В. П. Овчинников, Д. С. Герасимов, В. Г. Кузнецов, В. В. Салтыков. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2018. — 266 с. – Текст : непосредственный.

**Разработка высокотехнологичной компоновки заканчивания горизонтальной скважины  
Овчинников В.П. (Тюменский индустриальный университет, ovchinnikovvp@tyuiu.ru)**

**Аннотация**

С целью максимизации извлечения углеводородного сырья из баженовской свиты предлагается бурение на репрессии горизонтальной скважины с длиной горизонтального участка 2000 метров и последующей стимуляцией пласта методом многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП). Увеличение длины горизонтального участка ствола и числа стадий МГРП приводит к повышению начальных дебитов и продуктивности ГС [1], поэтому вопрос разработки высокотехнологичной компоновки заканчивания горизонтальной скважины стоит достаточно актуально.

**Ключевые слова**

Заканчивание скважин, компоновка, гидроразрыв пласта, проппат, разбуривание, пакер.

**Теория**

Основные требования к компоновке заканчивания:

- Беспроблемная закачка минимум 20 стадий МГРП;
- Гарантированный качественный спуск и активации компоновки;
- Надежное разделение стадий МГРП;
- Максимальный охват пласта стимуляцией для создания проводящего SRV (PSRV)

(престимулированные зоны естественной микротрещиноватости вследствие проведения ГРП).

Для соблюдения требований к компоновке заканчивания предлагается использовать компоновку диаметром 127\*9,2мм, длиной 2000 метров с заколонным разделением стадий с помощью гидромеханических пакеров, компоновка заканчивания нецементируемая с опцией вращения для возможности беспрепятственного прохождения участка максимального угла набора кривизны [2].

Преимуществом использования нецементируемых компоновок заканчивания является:

- отсутствие кольматации продуктивного пласта в отличие от цементируемого хвостовика;
- простота конструкции хвостовика;
- высокая степень гидродинамического совершенства;
- небольшие затраты;
- отличный доступ к трещинам в пластовых породах за счет отсутствия цемента за колонной;

- радиальный тип притока жидкости в скважину.

К недостаткам нецементируемых хвостовиков можно отнести:

- возможность проведения вскрытия (перфорации) пласта по всей длине хвостовика за исключением интервалов установленных заколонных пакеров;
- отсутствие разобщения за колонной по причине негерметичности заколонных пакеров;
- добываемая жидкость проходит через все поврежденные участки-интервалы;
- стенки необсаженного интервала ствола не защищены от обвала;
- изоляция различных материалов отсутствует.

Компоновка делится на 2 этапа освоения (стимуляции пласта):

Этап 1 – 1000 метров компоновки хвостовика (от забоя) состоит из 15 фрак-портов ГРП (рис. 1).



Рисунок 1. Схема 1-го этапа освоения (стимуляции пласта) высокотехнологичной компоновки заканчивания скважины

Принцип действия:

- Фрак-порты устанавливаются в муфтах хвостовика при спуске в скважину;
- После сброса шара и его прокатки, шар ударяется о седло заглушки муфты ГРП, открывает циркуляционное отверстие и перекрывает нижний интервал;
- Производится ГРП, при продавке пропата бросается следующий шар большего диаметра и операция повторяется;
- После выполнения всех стадий ГРП используемые шары растворяются, что обеспечивает приток скважинного флюида в хвостовик скважины.

Основные преимущества данного типа заканчивания:

- Нет необходимости проводить перфорации, СПО перфораторов и пробок;
- Возможность выполнения работ без дополнительных трудоемких затрат на оборудование, стандартный флот ГРП;

К недостаткам подобных компоновок относятся:

- Риск недостаточной герметичности установленных пакеров (перетоки между зонами);
- Необходимость разбуривания шаров, седел и портов;
- Ограничение по количеству стадий (фрак-портов) – не более 20 ед. (ограничение по внутреннему диаметру хвостовика обсадной колонны, размерами седел и шаров);
- Высокие технические требования к промывочному оборудованию – установкам ГНКТ, обязательное наличие широкого спектра забойных двигателей для разбуривания фрак-портов (седел муфт);
- Нет возможности реализовать скоростные закачки по причине дополнительных трений в посадочных седлах и малого количества отверстий в муфтах;

Отсутствует возможность проведения кластерных закачек (тем не менее, в последнее время появились специальные муфты, позволяющие активировать несколько муфт одним шаром и реализовать кластерную перфорацию).

Испытание растворимых магниевых шаров, которые растворяются в 20% растворе лимонной кислоты (рисунок 2).

Преимущество над другими кислотами СБН807:

- Лимонная кислота не столь опасна для человека нежели, соляная;
- Простота приготовления в полевых условиях, лимонная кислота завозиться в мешках по 25кг;
- Низкая стоимость 200 руб/кг, для приготовления 1м<sup>3</sup> 20% лимонной кислоты потребуется 200кг;
- Инертна к оборудованию в скважине;
- Продукты реакции соль, вода, углекислый газ.

Не требуется полного растворения шара, достаточно растворить шар до размера прохождения в седле.



Рисунок 2. Процесс растворения шара в 20% растворе лимонной кислоты

Этап 2 – последующие 1000 метров компоновки хвостовика представляет собой целиковую трубу с заколонными гидромеханическими пакерами (рисунок 3).

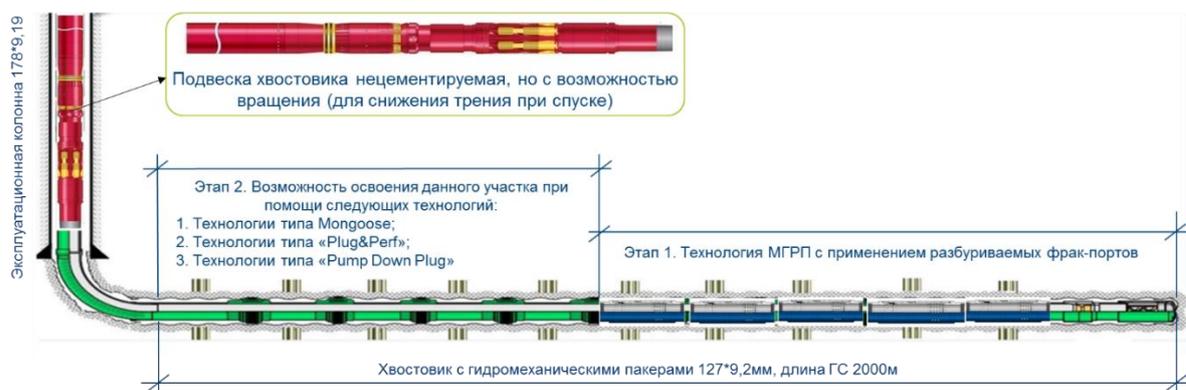


Рисунок 3. Схема 2-го этапа освоения (стимуляции пласта) высокотехнологичной компоновки заканчивания скважины

В процессе эксплуатации продуктивность скважины снижается, в частности, вследствие изменения проводящих характеристик трещин ГРП из-за засорения механическими примесями, поступающими из пласта, и деформации пропатной пачки («вмятие» проппата). Наиболее эффективным методом восстановления продуктивности скважин с МСГРП представляется проведение повторного ГРП. Эффективность повторных операций ГРП через 3–5 лет после предыдущей стимуляции подтверждена в наклонно-направленных скважинах. Рассматриваемая

технология детерминирована реализацией технологических решений, которые в совокупности позволяют реализовывать контролируемую селективную закачку содержащей проппант или кислоту жидкости в избранные интервалы горизонтального ствола скважин. При этом процесс закачки должен характеризоваться последовательностью, периодичностью [3].

Для реализации возможности повторной стимуляции пласта методом проведения повторного ГРП предлагается применить технологию с малогабаритным хвостовиком (рисунок 3).

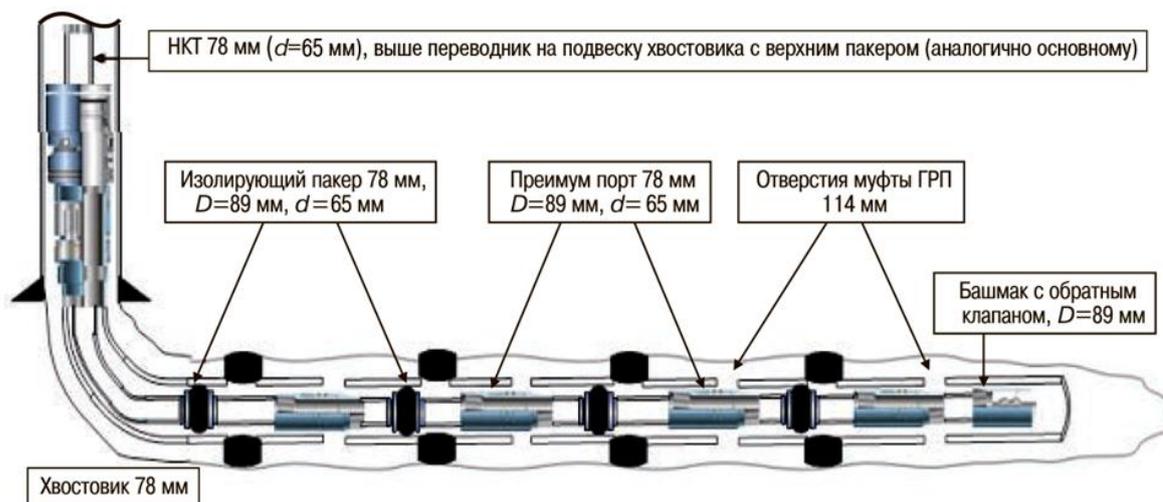


Рисунок 4. Схема компоновки с малогабаритным хвостовиком

Технология предусматривает спуск в горизонтальную часть ствола малогабаритной компоновки. Перед повторной операцией ГРП требуется разбурить все муфты ГРП и шары (на гибких насосно-компрессионных трубах (ГНКТ) или НКТ при бригаде КРС); диаметр фрезы должен быть максимально возможным для использованных муфт ГРП и хвостовика горизонтальной части.

После достижения внутреннего равно-проходного сечения хвостовика 127мм, производится спуск подвески хвостовика диаметром 127мм с присоединенным малогабаритным хвостовиком диаметром 89мм оборудованный муфтами ГРП (под шар) и набухающими заколонными пакерами. Хвостовик 89мм спускается в предыдущий хвостовик 127мм по всей его длине. Производится посадка спускаемой подвески хвостовика 127мм с присоединенным малогабаритным хвостовиком диаметром 89мм в эксплуатационной колонне диаметром 178мм выше установленной, предыдущей подвески и хвостовика диаметром 127мм.

В истечении времени (5-7 суток) набухающие заколонные пакера за счет реакции уплотнительных элементов со скважинным флюидом набухают и плотно прилегают к внутренним стенкам предыдущего хвостовика 127мм чем обеспечивает разобщение интервалов между муфтами ГРП.

Далее спускается и устанавливается стингер на колонне НКТ 89мм в адаптер спущенной подвески хвостовика для проведения ГРП по шаровой технологии.

### **Выводы**

Данная компоновка заканчивания позволит максимизировать извлечения углеводородного сырья из баженовской свиты на весь период эксплуатации скважины, также компоновка будет рентабельна для компаний, осуществляющих промышленную эксплуатацию баженовской свиты за счет своей низкой цены в отличие от более затратных (бурение нового ствола или скважины) или зарубежных аналогов технологий [4].

### **Библиография**

1. Аржиловский, А. В. Опыт применения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта в условиях низкопроницаемых отложений тюменской свиты месторождений ООО «РН-Уватнефтегаз» / А. В. Аржиловский, А. С. Грищенко, Д. С. Смирнов, С. А. Корниенко, Р. Р. Байсов, В. В. Овчаров, Р. Р. Зиязев // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 74-76.
2. Павлюков Н.А., Павлов В.А., Лапин К.Г., Волгин Е.Р., Торопов К.В. Технология проведения ГРП в высокопроницаемых и слабосцементированных отложениях // Нефтяная провинция.-2021.-№4(28).-Часть 1.-Спецвыпуск.-С.186-203. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.186-203>
3. Совершенствование технологии освоения скважин после многостадийного ГРП / Г. А. Шлеин, А. Н. Калинин, А. В. Гречкань [и др.]. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 44 (230). — С. 49-51. — URL: <https://moluch.ru/archive/230/53259/> (дата обращения: 14.03.2024).
4. Создан новый способ добычи «тяжелой» нефти: [сайт] <https://sectormedia.ru/news/nauka-neft-i-gaz/sozdan-novyy-sposob-dobychi-tyazheloy-nefti/> 11.02.2021

*Разработка технологии предиктивной диагностики процессов бурения нефтяных и  
газовых скважин на основе методов обработки больших данных*

*Кодиров Ш.Ш.\* (Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), shahboztjk@mail.ru)*

**Аннотация**

Данная работа посвящена проблеме распознавания и прогнозирования осложнений в процессе бурения нефтяных и газовых скважин. В частности, представлен краткий аналитический обзор и критический анализ существующих методов, алгоритмов и моделей распознавания и прогнозирования осложнений. Кроме того, в работе предлагается технология предиктивной диагностики процессов бурения нефтяных и газовых скважин на основе методов обработки больших данных. Предлагаемая технология позволяет диагностировать процессы бурения скважины на риски возникновения осложнений, на основе комплексного анализа факторов и причин нарушения технико-технологических свойств бурового раствора, параметров и режимов бурения, а также работы бурового оборудования.

**Ключевые слова**

Предиктивная диагностика, распознавание и прогнозирование осложнений, методы и алгоритмы прогнозирования осложнений, метод обработки больших данных.

**Теория**

Повышение конкурентоспособности добычи нефти и газа требует бурения новых скважин, в том числе, глубоких и сверхглубоких. Однако во время бурения новых скважин почти всегда возникают различные осложнения и аварии, что сильно влияют на производительность буровых работ, а также себестоимость скважины и эксплуатируемого продукта скважины. Более того, временные затраты на ликвидацию осложнений и аварий составляют до 30% от общего времени на бурение скважины. Причем, затраты нелинейно возрастают при увеличении глубины скважины.

Практически все осложнения, если не принимать специальных мер по их предупреждению и ликвидации, переходят в аварии, которые наносят огромные финансовые, трудовые и экологические ущербы, и даже могут привести к трагическим случаям. Так, например, проявления и поглощения бурового раствора могут перейти в открытый фонтан – самую тяжелую аварию; посадки и затяжки инструмента, осыпи со стенок скважины – к не освобождаемому прихвату; несоблюдение теплового режима в скважине – к вмораживанию инструмента. Следовательно, лучше и дешевле устранить осложнений, чем возникшие аварии.

Возникновение осложнений и аварий в процессе бурения скважины можно предотвратить, если по ранним признакам правильно идентифицировать начало возникновения того или иного вида осложнения, которые в нефтегазовом деле принято называть «предупреждением осложнений». Существует ряд методов по предупреждению осложнений. Однако своевременное обнаружение ранних признаков проявления осложнений – является сложной задачей, поскольку одни и те же признаки в разных ситуациях, условиях и операциях могут интерпретироваться по-разному. Корректная интерпретация признаков осложнений затруднительна без комплексного учета взаимосвязанных факторов и причин, таких как организационных, технических, технологических и геологических. Перечень и взаимосвязь этих факторов и причин приведены на рисунке 1, в виде блок-схемы.



Рисунок 1. Блок-схема взаимосвязи группы фактор и причин, способствующие возникновению осложнений и аварий

Существующие методы, алгоритмы и модели распознавания осложнений сфокусированы на решении точечных задач, таких как распознавание возникновения выбросов и открытых фонтанов, обнаружения прихватов и потеря циркуляции [1-12]. Эти решения основаны на анализе явно связанных технологических факторов. С другой стороны, анализ характеризующих разные стадии возникновения осложнения факторов, объединенных в оценочные группы на основе экспертной оценки, позволяют существенно повысить точность предиктивной диагностики процессов бурения.

В рассматриваемой работе предлагается технология предиктивной диагностики процессов бурения нефтяных и газовых скважин на основе методов обработки больших данных. Предлагаемая технология учитывает совокупность всех важных факторов и причин возникновения осложнений (которые приведены на рисунке 1), что позволяет обнаруживать осложнения на ранней стадии с выявлением причин нарушения технико-технологических параметров и режимов работы оборудования и бурения скважины. В частности, технология позволяет разделить факторы и причины на группы «вне скважинных» и «внутрискважинных» (см. рисунок 2). В группу «вне скважинных» факторов и причин входят техническое состояние механизмов и агрегатов бурового оборудования. В группу «внутрискважинных» факторов и причин входят технико-технологические свойства бурового раствора, параметры и режимы бурения и ствола скважины. Такая декомпозиция и синтез факторов и причин, позволило видеть проблему возникновения осложнений, а также с высокой достоверностью обнаруживать и прогнозировать их на ранних стадиях возникновения.



Рисунок 2. Блок-схема группы факторов влияющих на процесс возникновения осложнений

Предлагаемая технология состроить из совокупности нескольких алгоритмов обработки данных и моделей распознавания и прогнозирования, в частности: алгоритм обработки высокочастотных сигналов и модель диагностирования технического состояния механизмов с вращающимися узлами бурового оборудования; алгоритм обработки данных и модель идентификации прихватопасных и осложненных интервалов ствола скважины в режиме реального времени; модель распознавания и прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения; модель распознавания и прогнозирования поглощения бурового раствора; модель распознавания и прогнозирования газонефтеводопроявления. Перечисленные модели разработаны с применением алгоритмов машинного обучения и глубоких нейронных сетей.

### **Выводы**

Развитие данного исследования и доведение предлагаемой технологии предиктивной диагностики до готового продукта, в виде программного обеспечения для станции геолого-технологического исследования, позволит значительно снизить риски аварий и повысить эффективность буровых работ, а также обеспечить безопасностью персоналу буровых компаний. Особенно в нынешних санкционных условиях для России, когда из-за ухода большинства западных вендоров в нефтегазовой отрасли возникла проблема импортозамещения такого рода программного обеспечения.

### **Благодарность**

Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, профессору Двойникову Михаилу Владимировичу и доктору технических наук, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу за ценные советы и рекомендации по исследуемой теме.

### **Библиография**

1. Абу-Абед Ф.Н. Автоматизированная система обнаружения предаварийных ситуаций на объектах нефтегазодобывающей промышленности // Каротажник. 2015, № 5 (251), С. 48-61.

2. Еремин Н.А., Черников А.Д., Сарданашвили О.Н, Столяров В.Е., Архипов А.И. Цифровые технологии строительства скважин. Создание высокопроизводительной автоматизированной системы предотвращения осложнений и аварийных ситуаций в процессе строительства нефтяных и газовых скважин // Деловой журнал Neftegaz.Ru. 2020, № 4 (100), С. 38–50.
3. Alsaihati A., Abughaban M., Elkatatny S., Al Shehri D. Application of Machine Learning Methods in Modeling the Loss of Circulation Rate while Drilling Operation // ACS Omega, 2022, vol. 7, no. 24, pp. 20696-20709.
4. Alsaihati A., Alotaibi B. Determining Severity of Lateral and Torsional Downhole Vibrations While Drilling Surface Holes Using Three Machine Learning Techniques // SPE J. 2022, pp. 1– 11, DOI: 10.2118/209575-PA.
5. Borozdin S., Dmitrievsky A., Eremin N., Arkhipov A., Sboev A., Chashchina-Semenova O., Fitzner L., Safarova E. Drilling Problems Forecast System Based on Neural Network // Paper presented at the SPE Annual Caspian Technical Conference, Virtual, October 2020. 16 p. DOI: 10.2118/202546-MS.
6. Ferreira A.P.L.A., Carvalho D.J.L., Rodrigues R.M., Schnell D.M., Thomson I.J., Baptista R.C., Alves S.B. Automated Decision Support and Expert Collaboration Avoid Stuck Pipe and Improve Drilling Operations in Offshore Brazil Subsalt Well // Offshore Technology Conference. 2015. 10 p. DOI: 10.4043/25838-MS.
7. Hou X., Yang J., Yin Q., Liu H., Chen H., Zheng J., Wang J., Cao B., Zhao X., Hao M. Xun L. Lost Circulation Prediction in South China Sea using Machine Learning and Big Data Technology // Paper presented at the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, 2020, DOI: 10.4043/30653-MS.
8. Obi C.E., Falola Y., Manikonda K., Hasan A.R., Hassan I.G., Rahman M.A. A Machine Learning Approach for Gas Kick Identification // SPE Drill & Compl. 2023, vol. 38, pp. 663–681, DOI: 10.2118/215831-PA.
9. Qodirov Sh.Sh., Shestakov A.L. Development of Artificial Neural Network for Predicting Drill Pipe Sticking in Real-Time Well Drilling Process // 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk, Russia. 2020, pp. 139-144, DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267873.
10. Sadlier A., Says I., Hanson R. Automated Decision Support to Enhance While-Drilling Decision Making: Where Does it fit Within Drilling Automation? // Society of Petroleum Engineers. 2013, 8 p. DOI: 10.2118/163430-MS.
11. Toreifi H., Rostami H. Manshad A.K. New method for prediction and solving the problem of drilling fluid loss using modular neural network and particle swarm optimization algorithm // J Petrol Explor. Prod. Technol. 2014, vol. 4, pp. 371–379, DOI: 10.1007/s13202-014-0102-5.
12. Yin Q., Yang J., Tyagi M., Zhou X., Hou X., Wang N., Tong G., Bohan C. Machine Learning for Deepwater Drilling: Gas-Kick-Alarm Classification Using Pilot-Scale Rig Data with Combined Surface-Riser-Downhole Monitoring // SPE J. 2021, vol. 26, pp. 1773–1799, DOI: 10.2118/205365-PA.

***Особенности бурения скважин с горизонтальным окончанием с применением роторно-управляемых систем на Астраханском газоконденсатном месторождении***

***Задваев Н.Б.\* (МГРИ, nayan.zadvaev.01@mail.ru),***

***Вайнерман Б.П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)***

**Аннотация**

Развитие техники и технологии направленного бурения является одним из эффективных путей повышения качества и экономичности буровых работ. Одновременно с развитием наклонно-направленного бурения существует тенденция повышения требований к точности попадания забоя скважин в заданную точку и к соблюдению проектного профиля скважины.

В связи с этим возникает необходимость обеспечения эффективного контроля пространственного положения ствола скважины. Именно по этой причине в работе рассматриваются возможности использования роторно-управляемых систем (РУС) при бурении наклонно-направленной скважины на Астраханском газоконденсатном месторождении. Она позволит обеспечить снижение рисков, возникновения осложнений и аварий и позволит осуществлять управление траекторией скважины.

**Ключевые слова**

Газоконденсатное месторождение, скважина, наклонно-направленное бурение, роторно-управляемая система, профиль скважины.

**Теория**

Особенности бурения с применением роторно-управляемых систем рассмотрено на примере Астраханского газоконденсатного месторождения.

Астраханское газоконденсатное месторождение (АГКМ) — месторождение газа и конденсата, расположенное в юго-западной части Прикаспийской впадины, в 60 км к северо-востоку от Астрахани. Астраханское газоконденсатное месторождение (АГКМ) открыто в августе 1976 году и в 1986 году введено в опытно-промышленную эксплуатацию. С 1994 года месторождение находится в промышленной эксплуатации.

Месторождение с залежью массивного типа. Продуктивные карбонатные коллекторы Башкирского яруса среднего и верхов нижнего карбона (рис. 1) [4].

Продуктивные объекты Астраханского ГКМ – отложения  $C_2b$  характеризуются неравномерным распределением по площади и по разрезу фильтрационных и емкостных свойств. Это подтверждается большим объемом, геофизических, гидродинамических исследований и продолжительной историей разработки данного месторождения. При этом коллекторы представляют собой преимущественно поровый тип. В связи с этим возникает вопрос выделения наиболее перспективных высокопродуктивных участков на территории АГКМ, обеспечивающих продолжительные высокие дебиты добывающих скважин.

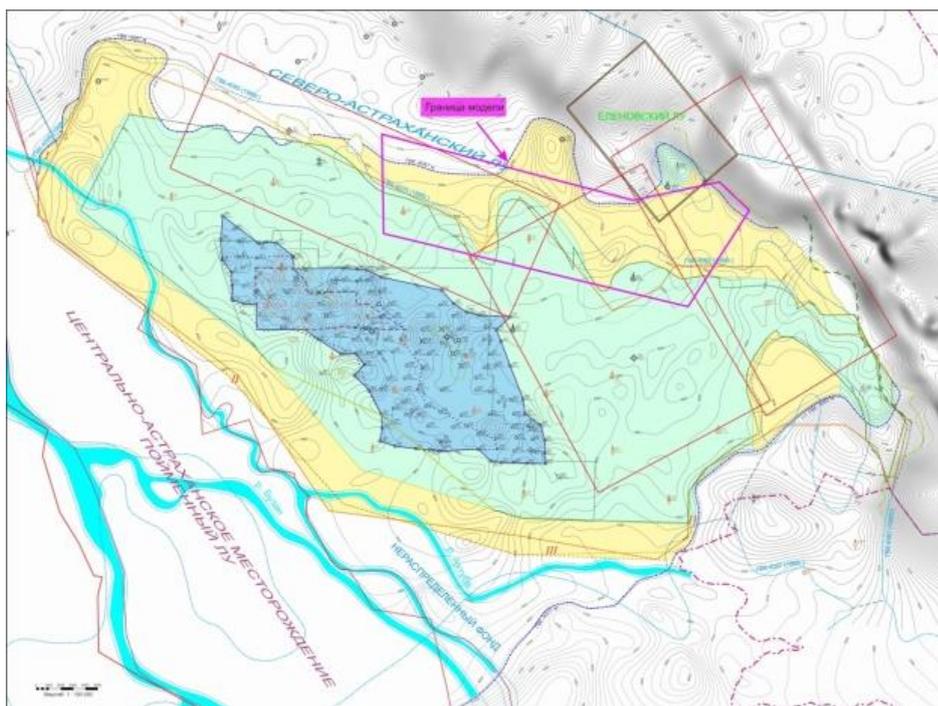


Рисунок 1. Структурная карта по кровле коллекторов продуктивной толщи

Продуктивными являются органогенные карбонатные отложения башкирского яруса. Роль основной покрывки выполняет толща глинисто-кремнисто-карбонатных пород ассельско-артинского возраста. Размеры залежи в контурах газоводяного контакта (ГВК) составляют 60 x 30 км. Пористость рассматриваемых отложений C<sub>2b</sub> выдерживается по площади залежи достаточно равномерно, варьируя в интервале 10–13%.

Внутреннее строение продуктивной башкирской толщи характеризуется пластовым распространением пористых, слабо пористых и, в меньшей степени, плотных разностей карбонатных пород с тонкими прослоями аргиллитов. Вся толща пород пронизана макро- и микротрещинами. Начальное пластовое давление АГКМ на абсолютную отметку -4100 м составило 61,73 МПа, АВПД на АГКМ составляет около 1,50, при вертикальном градиенте 0,487 МПа/100 м.

В целях интенсификации разработки Левобережной части Астраханского газоконденсатного месторождения предлагается пробурить наклонно-направленную эксплуатационную скважину с горизонтальным окончанием в районе между скв. 40а и 53а при помощи роторно-управляемой системы.

В границах модели (рис. 1) была построена трехмерная геологическая модель [3] и определена траектория проектной скв. 1 (рис. 2) [1, 2].

Роторная управляемая система (rotary steerable system - RSS rotary диаметром 171 мм и длиной 5,8 м) позволяет производить направленное бурение (осуществлять набор и снижение зенитного угла с параметрами бурения в режиме реального времени) с постоянным вращением бурильной колонны. При этом постоянное вращение бурильной колонны и применяемое в системе РУС навигационное оборудование (MWD диаметром 174 мм и длиной 7,66 м) позволяет оперативно управлять параметрами бурения, в частности, регулировать нагрузку на долото и частоту вращения, что обеспечивает улучшение контроля за траекторией скважины. Общая длина скважины по стволу с учетом двух участков набора и падения кривизны и наклонно-

прямолинейного участка составит 4863 м. Отход от вертикали - 3762,37 м.

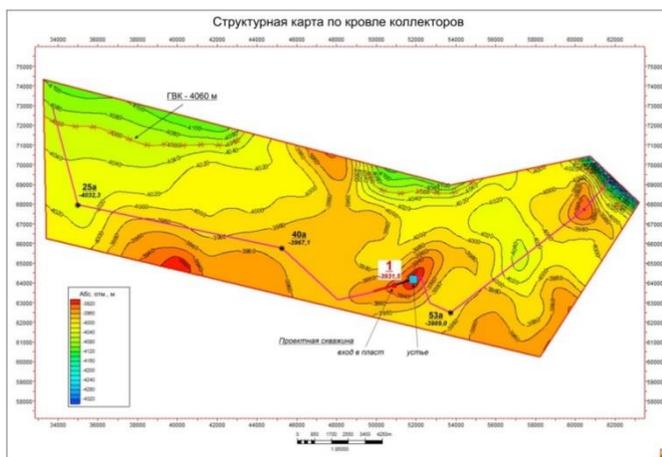


Рисунок 2. Структурная карта по кровле коллекторов с проектной скв. 1

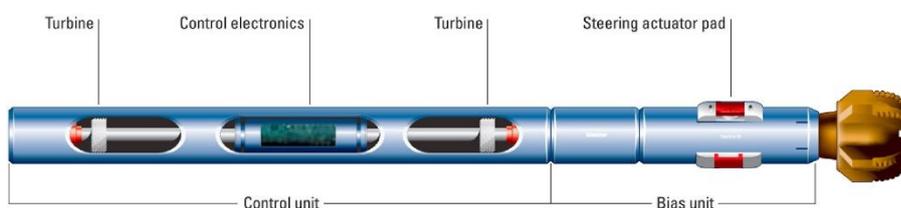


Рисунок 3. Схема двухбитной поворотной управляемой системы (RSS)

Такое бурение ствола скважины. позволит вскрыть почти 600 м эффективных газонасыщенных толщин продуктивной толщи и получать значительные дебиты газа на малых депрессиях (рис. 4). Удаленность (по вертикали) от ГВК ствола добывающей скв. 1 (80 м) обуславливает долговременный безводный период эксплуатации данной скважины. Горизонтальное окончание скв. 1 представлено на рис. 4.

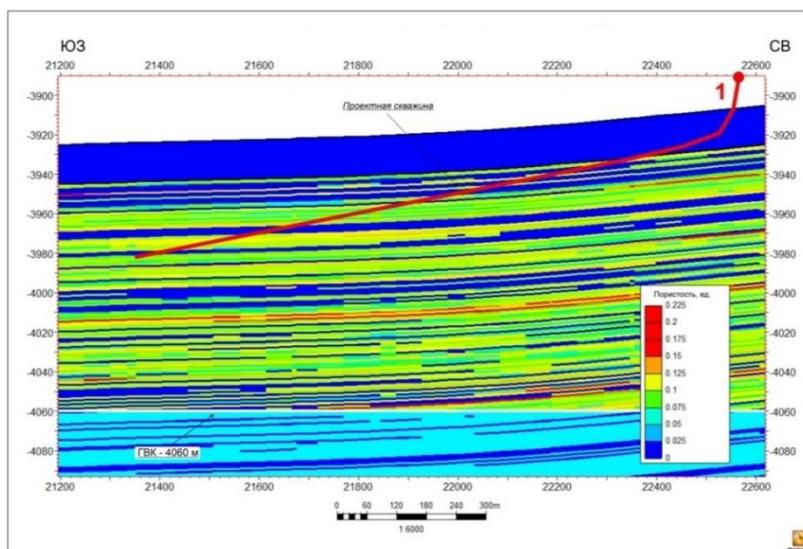


Рисунок 4. Горизонтальное окончание скв. 1 (пористость коллекторов, неколлекторы – синий цвет, водоносные коллекторы – голубой цвет)

### **Выводы**

В заключение можно сказать, что наличие сложно-построенных профилей наклонно-направленных и ГС, содержащих протяженные наклонно-прямолинейные участки, которые в свою очередь сопряжены с искривленными участками набора и снижения зенитного угла с интенсивностью от 2,8° и более, приводит к потере устойчивости бурильной колонны, аварийным ситуациям с КНБК.

### **Библиография**

1. Вайнерман Б.П., Куликов В.В., Повалихин А.С., Соловьев Н.В. Проектирование наклонно-направленной скважины с горизонтальным окончанием на Астраханском газоконденсатном месторождении. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник» № 3, 2023. с. 47-53.
2. Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. – 645 с.
3. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Полищук А.А., Юнусов Р.Р., Вайнерман Б.П., Денисов А.В. Актуализация геологической модели залежи с целью оптимизации заводнения при добыче остаточных запасов нефти застойных зон. Известия высших учебных заведений. Известия высших учебных заведений, Геология и разведка. М., 2020; № 5; с. 28-41.
4. "Пересчет запасов газа, конденсата, серы и сопутствующих компонентов Левобережной части Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) (по состоянию на 01.01.2013 г.)". ООО "Газпром ВНИИГАЗ", Московская обл., 2013.

**Проект бурения бокового наклонно-направленного ствола скв. 4237 на Приобском  
месторождении (Тюменская область)**

**Искандаров Д.Р.\* (МГРИ, iskandarovdevloh76@gmail.com),  
Вайнерман Б.П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)**

**Аннотация**

Для осуществления успешной добычи нефти на всех стадиях разработки месторождения необходимо бурить боковые наклонно-направленные стволы.

Такие работы позволяют вовлечь в активную разработку зоны, неохваченные процессом дренирования.

Бурение боковых стволов увеличивает дренируемый объем нефтяной залежи и приводит к увеличению нефтеотдачи пластов.

В данной работе рассматриваются вопросы бурения бокового наклонно-направленного ствола скв. 4237 на Приобском месторождении в Тюменская области.

**Ключевые слова**

Месторождение, скважина, наклонно-направленное бурение, боковой ствол.

**Теория**

Территория Приобского месторождения находится в Ханты-Мансийском районе Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области в 65 км к востоку от г.Ханты-Мансийск, в 180 км на запад от г.Нефтеюганск. (рис. 1).



Рисунок 1. Обзорная карта

Первооткрывательницей промышленной нефти в меловых и юрских отложениях в 1982 году стала скважина №151sm, заложенная в присводовой части Приобской структуры [1].

На рис. 2 приведена структурная карта по кровле пласта АС<sub>12</sub>. На этой карте показана добывающая скв. 4237, из которой предполагается забуривание бокового наклонно-направленного ствола [2].



Для того, чтобы пробурить боковой ствол в обсаженной скважине надо вырезать в эксплуатационной колонне "окно" и продолжить процесс бурения в заданном направлении. На рис. 4 показана принципиальная конструкция бокового ствола.

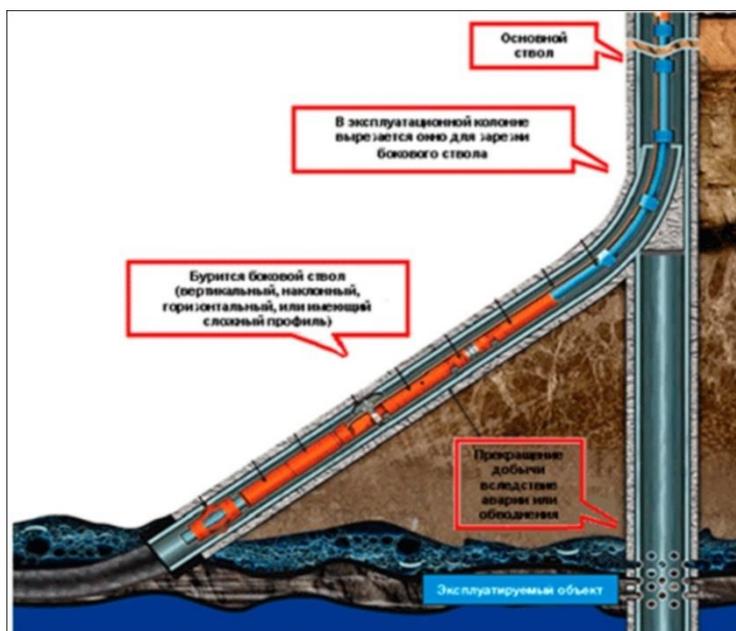


Рисунок 4. Принципиальная конструкция бокового ствола

Бурение бокового ствола необходимо для вовлечения в активную разработку зоны, неохваченные процессом дренирования [4].

### **Выводы**

Бурение боковых стволов увеличивает дренируемый объем нефтяной залежи и приводит к увеличению нефтеотдачи пластов.

### **Библиография**

1. "Оперативный подсчет запасов Приобского по пластам АС10/0-2, АС10/1-3, АСИ/0, АС11/1, АС12/0, АС12/1, АС12/2, АС12/3-5 ОАО "НК "Роснефть" в Хмао-Югре" за 2013 г. г. Нефтеюганск, 2013.
2. Программа работ скв. 4237 куст 181.1 Приобское месторождение 2023г
3. Костылев А. Д., Маслаков П. А., Смоляницкий Б. Н. Проблемы создания, управляемого пневмопробойника для проходки скважин по заданной траектории // Изв. вузов. Строительство. 1999 № 11 С. 86–90.
4. Осложнения при сооружении переходов трубопроводов методом горизонтально направленного бурения / Е. С. Торопов, В. С. Торопов, Ю. Д. Земенков, И. В. Сероштанов // Территория "НЕФТЕГАЗ". 2015 № 5 С. 32–37.

***Обоснованием влияния пространственного взаиморасположения горизонтальных стволов  
на добычу скважин на Ашальчинском нефтяном месторождении***

***Исломов А.А.\* (МГРИ, Aslamhomaslam2000@gmail.com),***

***Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)***

**Аннотация**

Технология добычи с использованием пароциклических горизонтальных скважин с подачей пара в нефтяной пласт для снижения вязкости в пластовых условиях проходит на небольшой глубине Ашальчинского месторождения. Положительные итоги начальных шагов позволило начать промышленную разработку проекта.

Разрабатываемый проект на Ашальчинском месторождении является первым в России проектом глубокой переработки нефтяных остатков с высокими показателями. Также имеются огромные перспективы по введению технологии, как внутри страны, так и в зарубежных странах.

**Ключевые слова**

Горизонтально-направленное бурение, пароциклические скважины, тяжелая нефть.

**Теория**

Горизонтально-направленное бурение, ГНБ применяется при необходимости увеличения нефтедобычи продуктивных пластов при первоначальном исследовании или в случае восстановления скорости добычи. Основная задача метода горизонтального бурения пройти сложный участок пласта в продольном направлении. При этом длина участка может составлять от более 1 км. ГНБ является одним из приоритетных направлений при строительстве подземных забоев скважин, так как позволяет обеспечить полное соответствие проекту и при необходимости своевременно осуществлять корректировки.

Процесс ГНБ, связан с внедрением новых технологий, позволяющих делать скважины, имеющие большое отклонение от оси по вертикали. Данные возможности являются очень ценными, так как расположение слоев с содержанием нефти чаще является горизонтальным. Горизонтальные скважины обладают высокой производительностью, если их сравнивать с вертикальными скважинами, сделанными в одних и тех же слоях, содержащих нефть.

Осуществляют проходку в слоях в установленном технологическом режиме бурения, что характерно для ГНБ. При этом весь процесс должен сочетаться с четко поставленными условиями работы установки, то есть устройства, разрушающего забой горизонтальной скважины. Показателями эффективности разрушения являются следующие:

1. Нагрузка на устройство (долото), связанная с осевым давлением.
2. Число оборотов при вращении долота.
3. Уровень качества глины в слоях и ее количество.
4. Способ подачи инструмента для забоя и др. [1]

Для определения влияния расхождения по латерали (боковое расхождение стволов, приводящее к отклонению плоскости от вертикали) горизонтальных стволов парных скважин на технологические условия разработки выполнены расчеты на примере участка, имеющего осредненные геолого-физические параметры нефти Ашальчинского месторождения ВВН и ПБ. В расчетах принято, что расстояние по вертикали между стволами 5 м, длина горизонтального участка ствола 400 м и боковое расхождение стволов в диапазоне 0-50 м.

Расхождение по латерали, м	Начальный дебит по нефти, т/сут	Время получения притока нефти после стадии освоения, мес
0	$q_0$	1
0,5	$1 q_0$	1
1	$0,99 q_0$	2
1,5	$0,98 q_0$	2
3	$0,96 q_0$	4
5	$0,85 q_0$	6
10	$0,69 q_0$	14
20	$0,52 q_0$	-
50	$0,36 q_0$	-

Рисунок 1. Зависимость начального дебита нефти от расхождения по латерали горизонтальных стволов добывающей и нагнетательной пары скважин [2]

С увеличением между стволами расхождения по латерали начальный дебит нефти снижается относительно дебита  $q_0$ , получаемого при идеальном совпадении (0 м) горизонтальных стволов друг над другом.

Кроме того, увеличивается продолжительность освоения (создание гидродинамической связи между стволами) пары скважин и продолжительность выхода пары скважин на промышленный приток нефти. По модельным расчетам распространения паровой камеры в пласте показано, что по латерали допустимо расхождение в диапазоне 0,5 – 3 м, при расхождении стволов по латерали более 3 м начальный дебит снижается и существенно отодвигается начало промышленного притока нефти [3].

Таким образом, можно задать коридор горизонтальному стволу нагнетательной скважины, нахождение в котором обеспечит, по расчетам, приведенным выше, эффективную добычу методом парогравитационного дренажа из пары горизонтальных скважин. Границы коридора для горизонтального ствола нагнетательной скважины, следующие – это 3 м влево/вправо от проектного направления горизонтального ствола нагнетательной скважины и 1 м выше/ниже от проектной оси горизонтального ствола нагнетательной скважины, которая должна быть проведена на расстоянии 5 м от проектной оси горизонтального ствола добывающей скважины (рисунок 2).



Рисунок 2. Коридор для горизонтального ствола нагнетательной скважины [4]

Для горизонтальных стволов парных парогравитационных скважин необходимо установить коридор, позволяющий эффективно добывать нефть при минимальных затратах на точность бурения горизонтальных стволов, а для применения коридора предлагается установить следующее правило. Первой в паре бурится горизонтальный ствол добывающей скважины, коридором бурения для неё будет прямоугольный параллелепипед со сторонами 2 x 10 x длина горизонтального ствола м, как изображено на рисунке 3а.

При бурении горизонтального ствола нагнетательной скважины ось ее ствола должна располагаться над осью горизонтального ствола добывающей скважины в пределах коридора, представленного в виде прямоугольного параллелепипеда 2 x 6 x длина горизонтального ствола м, как изображено на рисунке 3б.

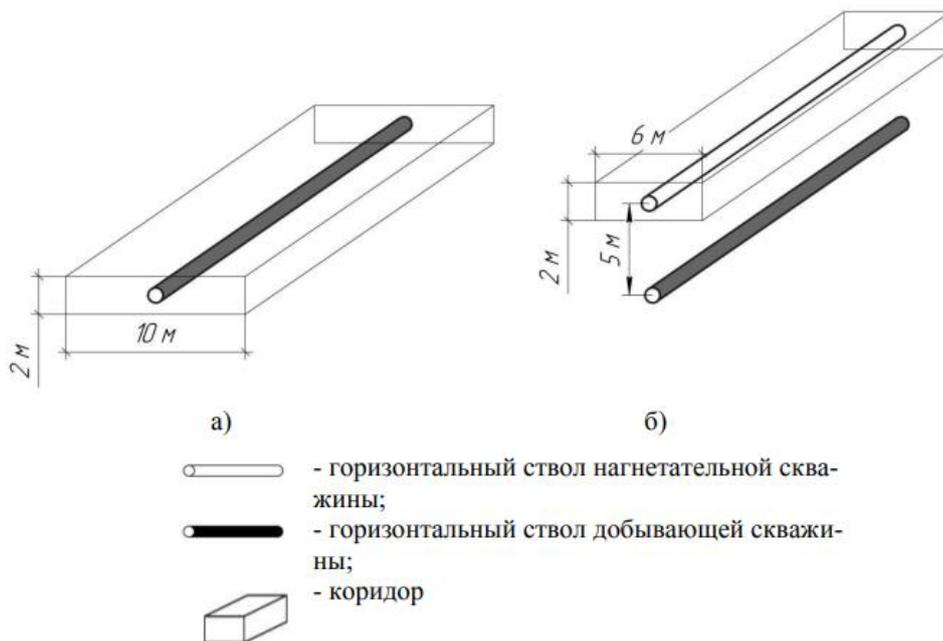


Рисунок 3. Коридор для горизонтального ствола нагнетательной скважины [4]

При инклинометрии ствола скважины ошибки измерения различного происхождения приводят к неопределенности фактического положения ствола скважины. Типы ошибок, могут быть разделены на случайные и систематические. Различие между результатом измерений (когда одним и тем же прибором проводят ряд измерений на фиксированной глубине) является примером случайной ошибки. Случайная составляющая погрешности измерений при прочих равных условиях значительно меньше влияет на размер области неопределенности положения точки измерения параметров ствола скважины. Влияние случайной ошибки на результаты расчетов траектории бурения снижается с увеличением числа измерений.

### Выводы

Анализ скважин Ашальчинского месторождения ВВН и ПБ показал, что при добыче выявлены следующие проблемы - утечки пара в надпродуктивные пласты по крепи скважин; вынос песка в скважину; нарушения герметичности и целостности эксплуатационных колонн происходили в верхних частях, свободных от цементного камня; вертикальное забуривание скважины с горизонтальным окончанием ствола осложнено сопротивлением перемещению и вращению буровой и обсадной колонн на участке скважины с высокоинтенсивным набором кривизны до 10°/10 м.

Существует ли способ уменьшения систематической погрешности инклинометра, т.к. область неопределенности, рассчитанная по указанным выше погрешностям, ставит под сомнение обеспечение точности бурения стволов в рамках коридора допуска. Одним из способов уменьшения систематической погрешности инклинометра является применение гироскопа, позволяющего выявить путем контрольного измерения ствола ошибки измерения азимута магнитными инклинометрами. Следующий способ - это обеспечение метрологической калибровки инклинометра до и после скважинных измерений.

Результаты калибровки инклинометра используются затем при обработке измерений кривизны и расчете трассы ствола скважины, что позволяет устранить систематическую погрешность измерений и нивелировать область неопределенности измерений, связанной с систематической погрешностью измерений.

### **Библиография**

1. Муслимов Р.Х., Романов Г.В., Каюков Г.П. Комплексное освоение тяжелых нефтей и природных битумов пермской системы Республики Татарстан. Казань: Изд-во «ФЭН» Академии наук РТ. 2012. 396 с.
2. Маганов Н., Ибрагимов Н., Хисамов Р., А. Зарипов, Мотина Л., Мехеев Е. Опыт разработки мелкозалегающих залежей тяжелой нефти. Oil & Gas Journal Russia, 9, 7, 60 – 63 (2015).
3. Зарипов, А.Т. Совершенствование разработки месторождений тяжелых нефтей тепловыми методами с использованием горизонтальных технологий (на примере Ашальчинского месторождения): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17 / А.Т. Зарипов; ОАО «Татнефть» ; ТатНИПИнефть. – Бугульма, 2006. – 24 с.: ил
4. Ахмадишин Ф.Ф. Строительство скважин с горизонтальным окончанием на малые глубины для добычи высоковязкой нефти и природных битумов методов парогравитационного дренажа. Бугульма. 2016. С. 111.

*Разработка рецептур буровых растворов для исключения гидратации глиносодержащих  
горных пород*

*Кураמיшина Э.Р.\* (МГРИ, kuramshinaer@mgri.ru),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)*

**Аннотация**

Наиболее частые осложнения при бурении глинистых пород заключаются в потере устойчивости стенок скважины, происходящей за счёт взаимодействия активной составляющей глиносодержащих отложений с водной фазой буровых растворов и веществами, растворенными в ней.

Гидратация глиносодержащих пород является одной из основных проблем при бурении скважин. Рецептуры буровых растворов разрабатываются с целью минимизировать гидратацию и обеспечить успешное бурение.

Для бурения в гидратирующихся и набухающих глиносодержащих горных породах необходимо применять промывочные жидкости, содержащие ингибирующие и полимерные добавки, которые способствуют упрочнению поверхности глинистых пород и созданию полупроницаемой мембраны, обеспечивающей снижение фильтрационного и осмотических потоков этих жидкостей.

Гидратация глинистых минералов приводит к образованию сложных структур, которые могут быть очень устойчивы и играть важную роль в различных процессах.

**Ключевые слова**

Глины, глиносодержащие породы, гидратация, набухание, буровые растворы.

**Теория**

Механизм гидратации глин достаточно сложен и зависит от многих факторов, включая минеральный состав глины, ее дисперсность, температуру и давление, а также состав раствора и присутствие других веществ.

Процесс гидратации глины можно разделить на несколько этапов:

Диспергирование глины в воде, то есть разделение ее на отдельные частицы. Это может происходить как при механическом перемешивании, так и при воздействии на глину различных физических полей (электрических, магнитных и т.д.).

Адсорбция молекул воды на поверхности частиц глины. Молекулы воды образуют мономолекулярный слой на поверхности глины, который обладает особыми свойствами (например, более высокой вязкостью).

Образование многослойных структур из молекул воды вокруг частиц глины. Эти структуры имеют определенную структуру и могут включать в себя различные примеси и ионы из раствора.

Формирование объемных структур из многослойных образований, которые могут иметь различные формы и размеры. [1]

Современные виды химических реагентов и ингибиторов используются в нефтегазовом секторе для решения различных задач, таких как повышение нефтеотдачи, предотвращение гидратообразований при взаимодействии молекул воды и элементарных глинистых пластинок, борьба с солеотложениями и коррозией. Химическими реагентами для повышения нефтеотдачи выступают:

1. Полиакриламид (ПАА) используется для увеличения вязкости воды, что способствует вытеснению нефти из продуктивного коллектора.

2. Полимер-дисперсные системы (ПДС) состоят из полиакриламида и диспергатора, который предотвращает образование комков и обеспечивает равномерное распределение реагента в воде.

3. Щелочные реагенты используются для нейтрализации кислот, которые могут образовываться в процессе добычи нефти, что снижает коррозию забойного оборудования и увеличивает срок его службы.

4. Микроэмульсии представляют собой смесь воды, масла и поверхностно-активных веществ (ПАВ). Они обладают высокой проникающей способностью и могут быть использованы для вытеснения нефти из низкопроницаемых зон продуктивных пластов.

В настоящее время при создании буровых растворов применяются различные виды ингибиторов (рис. 1), свойства которых должны соответствовать комплексу внешних факторов, определяющих эффективность процесса бурения скважин в сложных геологических условиях. [2]



Рисунок 1. Классификация ингибирующих буровых растворов

Ниже приводим характеристику действия наиболее часто применяемых разновидностей ингибиторов:

1. Смачивающие реагенты предотвращают гидратацию глин, что позволяет избежать проблем с закупоркой трубопроводов и других элементов системы добычи.

2. Ингибиторы коррозии предотвращают коррозию металлических частей оборудования, продлевая их срок службы и снижая затраты на ремонт и замену.

3. Ингибиторы солеотложения используются для предотвращения образования отложений твердых солей на стенках оборудования.

4. Антибактериальные препараты применяются для предотвращения развития микроорганизмов в системах добычи, которые могут вызывать коррозию и снижать эффективность работы оборудования.

При выборе химических реагентов и ингибиторов необходимо учитывать множество факторов, таких как состав породы, температура, давление и другие параметры, чтобы обеспечить максимальную эффективность и безопасность процессов бурения и вскрытия продуктивных коллекторов.

Существующие методики исследований позволяет определить степень набухания и гидратации глинодержащих пород, что важно для оценки их свойств и поведения в различных условиях. Они включают в себя выполнение исследований по следующим этапам:

1. Подготовка образцов породы: образцы должны быть тщательно подготовлены, очищены от пыли и грязи, а также высушены до постоянной массы.

2. Измерение объема образцов: после подготовки образцы измеряются с помощью штангенциркуля или микрометра. Измерения проводятся в трех взаимно перпендикулярных направлениях, чтобы получить объем образца.

3. Погружение образцов в воду: образцы погружаются в дистиллированную воду на определенное время (обычно на 24 часа).

4. Измерение объема образца глины после набухания: после выдержки в воде образцы извлекаются и снова измеряются линейные параметры в трех направлениях. Разница между начальным и конечным объемом дает величину набухания.

5. Расчет степени гидратации: степень гидратации рассчитывается как отношение объема набухшего образца к первоначальному объему.

Проблему повышения устойчивости стенок скважин в глинодержащих горных породах можно решить не только за счет регулирования состава и содержания твердой фазы промысловых жидкостей, но и при введении в состав электролитов и полимерных реагентов. Для исследования был выбран хлоркалийевый буровой раствор. [3]

$KCl$  – хлористый калий является одним из лучших ингибиторов набухания глин, поскольку за счет выделения при диссоциации  $KCl$  в водных растворах катионов  $K^+$ , обладающих высокой подвижностью и способностью проникать в межпакетные промежутки кристаллической решетки глин. Такие катионы способны адсорбироваться в лунках тетраэдрических слоев глинистых минералов, что придает жесткость кристаллической решетке и затрудняет проникновение молекул воды и гидратацию глинистых частиц.

Состав бурового раствора сформирован согласно таблице 1.

Таблица 1

Компонентный состав катионного раствора

Компонент бурового раствора	Функция компонента	Концентрация компонента, %	Концентрация компонента, кг/м <sup>3</sup>
Бентонитовый глинопорошок	структурообразователь, кольматант	2-3	20-30
Мел	кольматант	10-20	100-200
Биополимер	структурообразователь	0,1-0,3	1-3
Целлюлоза	загуститель	0,1-0,3	1-3
Крахмал	понижитель фильтрации	2-3	20-30
ВПК-402	стабилизатор	2,5-3,5	25-35
KCl	ингибитор набухания глин	2	20
Глицерин	деэмульгатор эмульсий	5-15	50-150
H <sub>2</sub> O	дисперсионная среда	остальное	до 800

Результат введения данной рецептуры в исследования позволяет наблюдать реакцию гидратации (рис. 2).



Рисунок 2. Результат ингибирования глин

### **Выводы**

При исследовании рецептур промывочных жидкостей по влиянию на формирование полупроницаемых мембран, а также скорость набухания и гидратацию глиносодержащих горных пород необходимо использовать комплексную методику обоснования и выбора рецептур жидкостей применительно к конкретным условиям бурения скважин, это обеспечит устранение электроосмотического перетока водной фазы промывочной жидкости, набухание и гидратацию глин, а также осложнения, связанные с потерей устойчивости стенок скважин. [4]

Таким образом, гидратация глины приводит к образованию сложных структур, состоящих из частиц глины, молекул воды и различных примесей. Эти структуры могут быть очень устойчивыми и играть важную роль в процессах, происходящих в глинах и около них.

### **Библиография**

1. Гайдаров М.М-Р. Выбор бурового раствора для бурения глинистых пород / Гайдаров М.М-Р., Норов А.Д., Гайдаров А.М., Хуббатов А.А. // Наука и техника в газовой промышленности. - 2013. - № 3.
2. Нгуен Тинь Хунг, Рациональная технология бурения долотами PDC с применением полимерных растворов в перемежающихся по твердости горных породах месторождения «Южный Дракон и Доймой» (СРВ). – Москва, 2016.
3. Чудинова И.В. Обоснование и разработка составов полимерных промывочных жидкостей для бурения разведочных скважин в неустойчивых глинистых породах. – Санкт-Петербург, 2019.
4. Шарафутдинова Р.З., Ишбаев Г.Г. Буровые растворы для строительства скважин в глинистых горных породах. - М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2012. - 192 с.

*Мировой опыт применения автономных буровых станков  
Мартюшин С.А.\* (МГРИ, martushin92@mail.com),  
Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Растущий мировой спрос на энергоносители и строгая экологическая политика мотивируют использовать технологии и методы повышения производительности во время буровых работах. При традиционном методе бурения оптимизация процесса зависит от эффективности работы бурильщика при выборе оптимального набора параметров для повышения производительности системы. Существующие исследования выявили важность перехода от ручного бурения к автономной системе, поэтому компания Epiroc внедряет автономное бурение по всему миру. Россия, имея большой потенциал в геологоразведочной и горнодобывающей отрасли, может значительно выиграть, переняв подобный опыт. Применение таких систем позволит повысить эффективность работ, улучшить условия труда и обеспечить экономическую устойчивость отрасли.

**Ключевые слова**

Бурение, автономный буровой станок, Epiroc, технология.

**Теория**

В 2020 году компания Epiroc совместно с горнодобывающей компанией Newmont Goldcorp, запустили первый в мире полностью автономный буровой станок SmartROC D65 на этап эксплуатации. Работы производятся на открытом золотосном руднике Холлинджер в Канаде с общим объемом добычи более 550 тонн золота с 1910 года. После полной отработки запасов золота он будет превращен в общественный парк, но сейчас рудник работает на полной мощности и служит главной ареной для внедрения последних инновации в области автоматизации бурения. SmartROC D65 является наиболее популярным буровым станком компании Epiroc (рис.1) и может быть снабжен интеллектуальными системами, он стал очевидным выбором для проекта автономного бурового станка. Самой важной особенностью здесь является компьютерная система управления станком RCS, основой реализации проекта стала возможность масштабирования этой системы и автономная функциональность. После определения периметра участка автономной операций, также называемого геофенс, станок SmartROC D65 может начинать работу. На этом участке он может выполнять требуемые операции для автономного бурения не только одной скважины, но и всей заданной сети скважин. Это значит, что станок способен самостоятельно переезжать на место предполагаемого забоя, а затем бурить скважину до проектной глубины с наращиванием штанг во время цикла бурения. После бурения скважины и извлечения штанг, установка переезжает на следующую скважину и так – до завершения по всей заданной сети. Все это происходит по одному нажатию кнопки. Подобный принцип работы реализован за счет внедрения таких технологий, как система наращивания штанг, система наведения на скважину и автоматического позиционирования [2-3].



Рисунок 1. Буровой станок SmartROC D65 компании Epiroc

Передовая технология автоматизации придает станку SmartROC D65 необходимый интеллект и мощь для бурения взрывных и буферных скважин различного диаметра (рис. 2). Кроме того, он может быть оснащен для бурения с обратной циркуляцией в целях эксплуатационной геологоразведки. Система наведения на скважину (HNS) позволит достичь максимального полезного времени бурения. Установка имеет дизельный двигатель Caterpillar CAT C15 с турбонаддувом, Tier 3/Stage IIIA с номинальной мощностью 403 кВт при 1800 об/мин [5].

SmartROC D65	ППУ – COP 44 Gold, COP 54 Gold, COP 64 Gold, COP 66	110–203 мм
<b>Макс. глубина бурения с гидравлической системой наращивания штанг и штангами 5 м</b>		
SmartROC D65	Штанги диам. 89–114 мм	45 м
SmartROC D65	Штанги диам. 127–140 мм	25 м
<b>Макс. глубина бурения с гидравлической системой наращивания штанг, штангами 6 м и стартовой штангой 7.5 м</b>		
SmartROC D65	Штанги диам. 89–114 мм	55.5 м
SmartROC D65	Штанги диам. 127–140 мм	31.5 м
<b>Однозаходное бурение, макс. глубина скважины</b>		
SmartROC D65 со стандартным податчиком		5.4 м
SmartROC D65 с длинным податчиком		7.5 м

Рисунок 2. Рекомендуемые диаметр и глубина бурения для станка SmartROC D65

Главный приоритет для горнодобывающих компаний по всему миру заключается в минимизации риска травматизма для операторов, поскольку открытый рудник является опасным местом, а работа на некоторых уступах может оказаться еще опаснее. Одним из основных преимуществ автономной буровой установки SmartROC D65 является безопасность. Все просто: оператор удаляется из опасной зоны и осуществляет управление из офиса в нескольких километрах от участка работ. Однако, офис может находиться и в другом полушарии при условии обеспечения надежного интернет-соединения. На участке проведения работ нужны лишь

несколько человек обслуживающего персонала для периодической замены коронок, дозаправки установок и отбора образцов при необходимости.

Дополнительным преимуществом является повышение производительности и качества скважин. Работая в автономном режиме, SmartROC D65 проходит большее количество скважин за смену, в том числе благодаря обеспечению непрерывной работы без перерывов и с меньшим износом бурового инструмента за счет автоматизации процесса [1].

Подобный кейс был успешно реализован в Чили. Основываясь на концепции устойчивой добычи полезных ископаемых, которая направлена на обеспечение безопасности своих сотрудников, Epiroc совместно с горнодобывающей компанией Los Palombres осуществили проект по преобразованию парка буровых установок серии Pit Viper в полностью автономные. Месторождение, где добываются медный и молибденовый концентраты, расположено в 240 километрах к северо-востоку от Сантьяго, столицы Чили, в горах Анд региона Кокимбо недалеко от границы с Аргентиной и почти на высоте 3600 метров над уровнем моря.

Компания Epiroc разработала плавное обновление аппаратного и программного обеспечения, которое обеспечивает полностью автономную работу двух дизельных буровых установок Pit Viper 351, работающих на руднике с 2018 года (рис. 3). Оператор был переведен в диспетчерскую, расположенную в трех километрах от места работ, чтобы повысить безопасность и производительность процесса бурения. Технологической модернизации была успешно выполнена, и обе буровых установки начали работать в автономном режиме в 2020 году.



Рисунок 3. Буровой станок Pit Viper 351 компании Epiroc

Однозаходный буровой станок Pit Viper 351 способен бурить скважины вращательным и пневмоударным способом на глубину до 19,8 м без наращивания. Максимальная глубина скважин – 41,1 м, диаметр 219-340 мм. На станке установлена функция автогоризонтирования, которая позволяет поставить станок на домкраты путём нажатия двух клавиш. Станок может бурить в автоматическом режиме без участия оператора, все параметры бурения подбираются с помощью искусственного интеллекта. Полная автономность Pit Viper 351 позволила компании Los Palumbbras уменьшить количество обслуживающего персонала в зонах бурения и сократить время, затрачиваемое на техническое обслуживание.

Положительный опыт применения автономных систем существует и в России. С 2019 года группа компаний СУЭК реализует проект по внедрению роботизированного бурового станка на Тугнуйском угольном разрезе совместно с Цифра Роботикс (входит в группу компаний «Цифра»). Проект находится в стадии завершения. Реализована система удалённого управления буровым станком PitViper 271, решены вопросы предотвращения столкновения, обеспечения безопасности работы. Уже подтверждено, что производительность автономных буровых станков на 21% больше, чем производительность обычного станка, а темп бурения – увеличился на 4%. Опытно-промышленная эксплуатация показала, что система мгновенно реагирует на превышение критических параметров, а также предотвращает работу бурового станка в неоптимальных диапазонах [4].

Существуют участки работ, где большие проблемы с персоналом, такие как Тугнуй в Бурятии, Ургал в Хабаровском крае и многие другие, особенно в самых удаленных частях России. Технология автономного бурения позволит снизить штатное расписание, количество сотрудников, задействованных на месторождении, что позволит компаниям увеличить объемы добычи и разведки, повысить безопасность и качество рабочих мест и привлечь высококвалифицированных специалистов.

### **Выводы**

Автономные технологии бурения позволяют выполнять работы на месторождении с большей безопасностью. Отмечаются очевидные улучшения показателей при автономном бурении с применением искусственного интеллекта по сравнению с ручными операциями, увеличение скорости проходки, а также уменьшение затрат на техническое обслуживание и увеличения срока службы бурового инструмента.

### **Библиография**

1. Amadi K. et al. Development of predictive optimization model for autonomous rotary drilling system using machine learning approach //Journal of petroleum exploration and production technology. – 2023. – Т. 13. – №. 10. – С. 2049-2062.
2. Leonida C. Advancing art of autonomous drilling //Engineering and Mining Journal. – 2021. – Т. 222. – №. 5. – С. 44-47.
3. Leonida C. Drilling in the Digital Age //Engineering and Mining Journal. – 2019. – Т. 220. – №. 9. – С. 34-38.
4. Группа компаний «Цифра» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zyfra.com/ru/> (Дата обращения: 08.03.2024).
5. Epiroc Russia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epiroc.com/ru-ru> (Дата обращения: 08.03.2024).

*Анализ комплексов со съёмным керноприемником с целью выбора  
оптимального для условий месторождения Самолазовское (Республика Саха)*

*Мартюшин С.А.\* (МГРИ, martushin92@mail.com),*

*Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Рост эффективности колонкового бурения связан с освоением и широким внедрением способа бурения снарядами со съёмными керноприемниками (ССК). Данный способ помогает достичь кондиционного выхода керна, который имеет большое значение для геологоразведочных работ и подсчета запасов. Конструктивные особенности снарядов определяют ряд технологических преимуществ.

**Ключевые слова**

Система со съёмным керноприёмником, ССК, бурение, технология.

**Теория**

Проходка за рейс может достигать величины проходки на алмазную коронку, т.е. десятков и сотен метров. Это позволяет значительно сократить количество рейсов, связанных с необходимостью выполнения трудоемких спускоподъемных операций. В результате сокращения количества спускоподъемных операций уменьшается износ бурильных труб и их резьбовых соединений, а также непроизводительный износ алмазной коронки, что способствует снижению расхода коронок в процессе бурения; повышается устойчивость ствола скважины. Подъем съёмного керноприемника производится специальной лебедкой со скоростью, значительно превышающей скорость подъема бурильных труб. Спуск керноприемника через бурильные трубы происходит достаточно быстро под действием собственного веса и потока промывочной жидкости. Процесс механизации сборки-разборки колонн ССК решается за счет применения станков с подвижным вращателем, у которых для свинчивания-развинчивания труб используются вращатель станка и трубозахватный механизм с зажимными плашками [1]. Самые популярные компании на рынке бурового оборудования, производящие ССК – Atlas Copco, Voart Longyear и Fordia.

Снаряды со съёмным керноприёмником Atlas Copco имеют отличительные технические особенности. Например, замок стандартного овершота имеет независимые фиксаторы повышенной надежности, а овершот серии CORAC (рис.1) разделен на две составляющие части с шарнирным соединением, что упрощает работу при проведении бурения в ограниченном пространстве подземных выработок или в буровом здании [2].



Рисунок 1. Овершот с шарниром серии CORAC компании Atlas Copco

Снаряды Atlas Copco (рис. 2) обеспечивают выход керна более 95 % и снижение искривления скважин за счет специальной системы подвески подшипников внутренней трубы и наличия алмазного стабилизатора на внешней трубе. Резьбовые соединения, как и на отечественных снарядах ССК-76, выполнены трапецеидальными и из-за небольшой высоты профиля резьбы не способны выдерживать значительные, а часто необходимые для разрушения твёрдой породы осевые нагрузки.

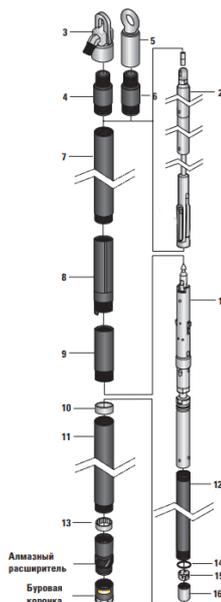


Рисунок 2. Конструкция снаряда Atlas Corco: 1 – головной блок керноприемника; 2 – овершот; 3 – промывочной вертлюг; 4 – переходник; 5 – подъемный вертлюг; 6 – переходник; 7 – бурильные трубы; 8 – стопорная муфта; 9 – переходник; 10 – посадочное кольцо; 11 – внешняя колонковая труба; 12 – внутренняя керноприемная труба; 13 – стабилизатор; 14 – стопорное кольцо; 15 – кернорвательное кольцо; 16 – кернорвательный стакан

Компания Voart Longyear изготавливает два основных типа снарядов со съёмными керноприёмниками – стандартные и усиленные, отличающиеся, в основном, прочностью бурильной колонны, шириной торца коронки и диаметром получаемого керна. К стандартным относятся пять типоразмеров снарядов (AQ, BQ, NQ, HQ и PQ) с бурильными колоннами, имеющими соединение типа «труба в трубу» (рис. 3).

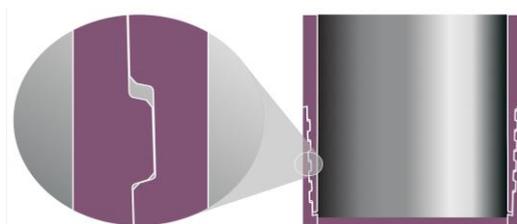


Рисунок 3. Резьбовое соединение – трапецеидальный профиль Q

Voart Longyear является единственным крупным производителем в отрасли, который закаливает резьбу. Резьбовое соединение закалено до номинальной твердости 60 HRC для устранения разрушительного адгезионного износа. Закаленная резьба обеспечивает прочность материала на 140%, что значительно увеличивает срок службы колонковых снарядов [3].

Стандартная система со съёмным керноприёмником Voart Longyear – это самый распространенный колонковый набор с головным блоком, имеющим пружинную защелку, и керноприемные трубы промышленного стандарта. Её взаимозаменяемые детали подходят практически ко всем идентичным системам, производимым в России (Алмазгеобур, ЗБО) и за рубежом (Fordia, MICON-Drilling и др.). При необходимости детали можно легко заменить, хотя система является достаточно прочной для выполнения различных проектов по бурению с отбором керна.

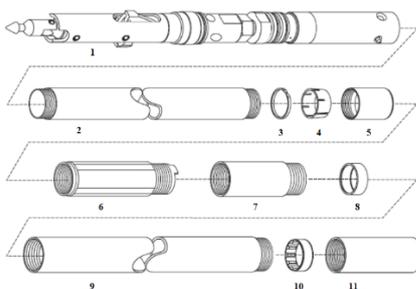


Рисунок 4. Колонковый набор HQ Voart Longyear. 1 – головной блок; 2 – внутренняя труба; 3 – стопорное кольцо; 4 – керноприемная труба; 5 – керноприемная труба с кернователем в нижней части; 6 – бескерновая блокировочная соединительная муфта с хвостовиком; 7 – переходная муфта; 8 – посадочное кольцо; 9 – внешняя труба; 10 – стабилизатор внутренней трубы; 11 – предохранитель резьбы

Канадской компанией Fordia представлены комплексы ССК типоразмеров В, N, H различных линеек. Excore – тип колонкового набора, ориентированный на производительность и оснащенный прочным механическим замком с долговечными защелками. OWL L-Latch – с рычажными защелками, имеющий оптимальное соотношение стоимости и производительности. OWL Standard – колонковый набор с пружинными защелками, характеризуемый как отраслевой стандарт надежности, имеющий минимальную стоимость. Набор инновационного поколения DiscovOre (рис. 5) с пружинными защелками – изделие класса премиум, в котором используется новая технология для повышения производительности.

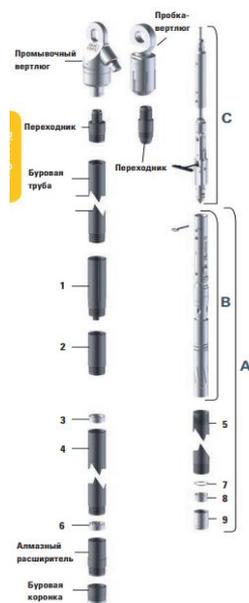


Рисунок 5. Колонковый набор DiscovOre: 1 – релитовый переходник, 2 – переходник, 3 – посадочное кольцо, 4 – наружная труба, 5 – внутренняя керноприемная труба, 6 – стабилизатор, 7 – стопорное кольцо, 8 – керноврательное кольцо, 9 – керноврательный стакан. А – внутренняя труба в сборе, В – головной блок, С – овершот

Конструкция системы DiscovOre в сочетании с овершотом Arrow 3S (рис. 6) устраняет несколько конструктивных недостатков систем ССК старого образца. Вместо фиксации слабого

наконечника с пружинными штифтами, который проникает в овершот, защелкивается непосредственно овершот внутри головного блока. В новой конструкции исключены слабые и потенциально опасные компоненты стандартного колонкового ствола, такие как копьевидный наконечник и пружинные штифты. Пружинные штифты обычно заедают после использования в течение некоторого времени. Овершот нового типа попадает быстрее и автоматически фиксируется внутри керноприемника. Обтекаемая форма снижает общий вес конструкции, а благодаря рычажным защелкам заклинивание инструмента практически исключено [4].



Рисунок 6. Головной блок керноприёмника DiscovOre и овершот Arrow 3S

### **Выводы**

Применение снарядов со съёмным керноприемником позволяет значительно увеличить время чистого бурения, а также расход энергии при выполнении геологоразведочных работ. При выборе оптимального ССК необходимо отталкиваться от простоты в использовании изделия, его минимальной стоимости при его оптимальной производительности.

При бурении в твердых породах, у снарядов Atlas Copco, был выявлен существенный недостаток – малопрочные резьбовые соединения, неспособные выдерживать значительные осевые нагрузки, что сокращает срок их службы при сравнительно высокой стоимости. Fordia предлагает инновационные технические решения, колонковые наборы отличаются производительностью и высокой стоимостью.

Основываясь на предыдущем опыте компании при бурении в схожих горно – геологических условиях, целесообразно выбрать стандартные колонковые наборы производителя Voart Longyear. За счет прочности резьбовых соединений, долговечности и оптимальному соотношению цена – качество они получили широкое применение во всём мире, и рекомендуются к использованию при проведении работ на Самолазовском месторождении. В процессе износа оборудования, существует возможность заказа деталей и запасных элементов у российских производителей, таких как Алмазгеобур, что повышает доступность применения технологии.

### **Библиография**

1. Игаев А. А. Автоматизация спуско-подъемных операций в геологоразведочном бурении //Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные технологии в мировом научном пространстве»(Пермь, 25.05. 2017 г.).-Уфа: Аэтерна. – 2017
  2. Современные технологии бурения на твердые полезные ископаемые : учебник / В. В. Нескоромных, М. С. Попова, П. Г. Петенев [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 340 с.
  3. Voart Longyear [Электронный ресурс]. URL: <https://www.boartlongyear.com/> (Дата обращения: 08.03.2024).
- Fordia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fordia.com/en/> (Дата обращения: 08.03.2024).

*Технология бурения с использованием роторно-управляемых систем предельно малых диаметров и систем искусственного интеллекта*

*Мезенцев Д.Ю.\* (МГРИ, mezencevdu@mgri.ru),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)*

**Аннотация**

Исследование и реализация в производство роторно-управляемых систем (РУС) предельно малых диаметров проходит в рамках импортозамещения оборудования с зарубежного на отечественное. Разработка РУС-120-ГТ актуальна и своевременна ввиду отсутствия отечественного оборудования на российском рынке нефтегазовой промышленности. Способность к автономной работе РУС-120-ГТ позволяет функционировать в забойной зоне скважины и выполнять многие задачи без вмешательства оператора с использованием функциональных возможностей искусственного интеллекта. Целью данной работы является передача полученного опыта при разработке и практическом использовании РУС-120-ГТ при управлении процессом бурения скважин с применением импортозамещающих систем искусственного интеллекта.

**Ключевые слова**

Роторно-управляемая система, опытно-промысловые испытания, многозабойная скважина, искусственный интеллект, горизонтальное бурение.

**Источники финансирования**

Разработка, проведение опытно-промысловых испытаний и внедрение в производство проводится группой компаний «ГЕРС», ООО «ГЕРС Технолоджи».

**Теория**

На сегодняшний день приоритетными направлениями развития наклонно-направленного бурения являются сложные горизонтальные скважины и скважины с большим отходом от вертикали. РУС широко применяют благодаря возможности бурения прямолинейных скважин, промывки ствола и точного контроля параметров бурения [6]. Реализация отечественных роторно-управляемых систем возможна при разработке методики управления траекторией скважин в сочетании с техническими средствами и технологией бурения с применением модулей искусственного интеллекта.

Роторная управляемая система (РУС) — это результат развития технологии направленного бурения, позволяющий устранить недостатки управляемых двигателей и традиционных роторных компоновок [4].

Положительными сторонами в бурении при применении РУС, являются:

1. Бурение профилей со сложными условиями (большие отходы стволов от вертикали, возникающие в процессе бурения высокие значения сил трения, увеличение рисков осложнений за счет деформационной неустойчивости ствола скважин и др.);
2. Уменьшение влияния субъективного фактора на процесс направленного бурения скважины [3].
3. Уменьшаются динамические скачки давления, снижается вероятность гидроразрыва пород [5];
4. Улучшение технологии конструкции скважины за счет выдержанного номинального диаметра и геометрии ствола;
5. Сокращается риск механического и дифференциального прихватов, поскольку нет неподвижных элементов РУС, контактирующих с обсадной колонной, отклонителем или стенкой ствола скважины [1].

Разработка РУС-120-ГТ основана на принципе толкания боковых лопат – система типа «push-the-bit». Отклонение от стенки скважины производится за счет опор, которые выдвигаются во время вращения прибора. Величина отклоняющей силы зависит от гидравлической энергии потока бурового раствора и перепада давления на долоте. Достоинствами РУС-120-ГТ являются, относительная простота конструкции, малые энергозатраты, требующие поддержания работы модуля управления и телеметрических систем, но не силового блока (эскиз представлен на рисунке 1). Главным недостатком выступает усталостный и абразивный износ внешней поверхности лопаток, при применении их в бурении в высокоабразивных породах.

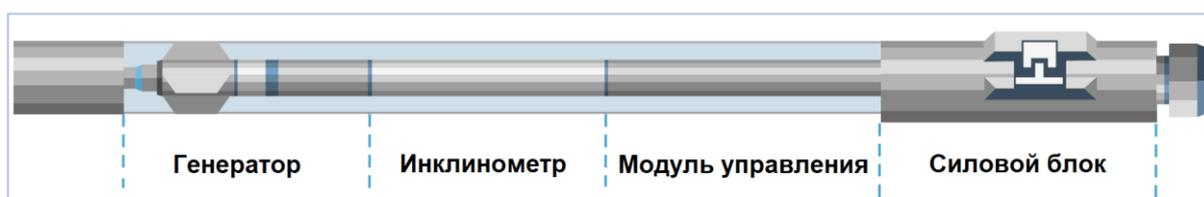


Рисунок 1. Эскиз РУС-120-ГТ. Общий вид

Модуль РУС-120-ГТ включает в себя следующие элементы: силовой блок с узлом лопаток, узел клапанов с приводами, модуль управления электроники с коротким акустическим каналом связи и блоком гамма-каротажа, модуль инклинометра и модуль генератора с питанием. Все элементы, располагаются коаксиально в немагнитных трубах и переходных переводниках, кроме силового блока. В составе РУС присутствует стабилизирующий калибратор, который обеспечивает третью точку контактной опоры при работе силового блока. Выбор диаметра узла лопаток и калибратора зависит от диаметра долота. Отклоняющие лопатки на силовом блоке, имеют независимое управление между собой. Технические характеристики РУС описаны в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики РУС-120-ГТ

Общие технические характеристики			
Рабочая температура, °С		150	
Рабочее давление, МПа		100	
Вибрационная нагрузка, G		20	
Межсервисный интервал, час		250	
Наработка на отказ, час		600	
Конструкционные параметры:			
Диаметр ствола (долота), мм	Диаметр по лопаткам в закрытом положении, мм	Диаметр по лопаткам в открытом положении, мм	Наружный диаметр по центрирующему элементу, мм
139,7	136	158	136.5
146,1	140	161	142.8
155,6	147	172	152
Общая длина, мм		680	
Диаметр тела, мм		121	
Функциональные характеристики:			
Набор кривизны, °/10 м		2,5	

Скорость вращения, об/мин	60 - 250
Перепад давления на долоте, МПа	4 - 6
Диапазон расхода, л/с	10...20

РУС-120-ГТ производства компании ООО «ГЕРС Технолоджи» прошла успешные опытно-промысловые испытания и внедрена в производство. С использованием компоновок РУС-120-ГТ произведены 26 опытно-промысловых испытаний с общей проходкой 16326 метров в период 09.2021-02.2024г.

Сравнительный анализ зависимости зенитных углов при изменении алгоритмов работы РУС-120-ГТ подаваемыми командами при бурении скважины на Самотлорском месторождении приведен на графике (эскиз представлен на рисунке 2).



Рисунок 2. Сравнительный анализ зависимости зенитных углов при изменении команд РУС

Графический анализ зенитных углов показывает сравнение показаний инклинометра РУС с базовой телесистемой и плановой траекторией. Также отмечено, что траектория скважины велась по нескольким корректирующим мероприятиям от геологической службы. Корректирующие работы выполнялись на хорошем уровне. Сравнительная погрешность инклинометрии по зенитному углу между роторно-управляемой системой и телесистемой показала допустимые отклонения в пределах 0,3 градуса, и это показывает технологичность управления с заложенными в нее принципами искусственного интеллекта. Поставленные задачи по проведению опытно-промысловых испытаний, были выполнены в полном объеме. Бурение горизонтального участка скважины было проведено за 1 рейс с выполнением плановой рейсовой скорости проходки.

### **Выводы**

Современный процесс бурения скважин является сложным технико-технологическим процессом, состоящим из цепи звеньев, разрыв, одного из которых может привести к различным осложнениям, авариям или даже к потере скважины. Поэтому бурение скважин требует постоянного совершенствования технологий [2].

В работе представлены сведения о эффективности применения роторно-управляемой системы для бурения горизонтальных скважин. Дано описание достоинств и недостатков. Представлены общие технические характеристики первой отечественной коммерчески используемой РУС-120-ГТ, разработанной и производимой ООО «ГЕРС Технолоджи» (г. Тверь). По результатам опытно-промысловых испытаний полностью подтверждена возможность управления траекторией и, как следствие, успешность применения технологии и дизайна. Исследование, разработка и внедрение в производство современной российской техники разных габаритов в бурении является высоко актуальной в нашей стране.

### **Библиография**

1. Нескоромных В.В. Направленное бурение. Бурение горизонтальных и многозабойных скважин: учебник / В.В. Нескоромных. – Красноярск: Сиб. Федер. Ун-т, 2020. – 410 с., ISBN: 978-5-7638-4100-8
2. Олейников Н. Г. Технологические инновации как основа снижения затрат бурового предприятия в современных условиях / Н. Г. Олейников, К. А. Снегирева, О. В. Ямова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2019. – № 51 (289). – С. 251-254. – URL: <https://moluch.ru/archive/289/65444/> (дата обращения: 04.03.2024).
3. Повалихин, А. С. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин / А. С. Повалихин, А. Г. Калинин, С. Н. Бастриков, К. М. Солодкий; под ред. А. Г. Калинина. — Москва: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. — 647 с.
4. Справочник инженера-нефтяника. Том II. Инжиниринг бурения. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 1064 с. – ISBN 978-5-4344-0141-8.
5. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: в 5 т. Т. 3.: учеб. для студентов вузов / Под общ. ред. В. П. Овчинникова. — Тюмень: ТИУ, 2017. — 342 с. — ISBN 978-5-9961-1328-6, ISBN 978-5-9961-1331-6
6. Фелцак Э. Гибридная роторная управляемая система бурения - сочетание лучшего / Фелцак Э., Торре А., Нил Д. Годвин [и др.] // Нефтегазовое обозрение, зима 2011- 012. – 2013. – Т. 23, № 4. – с. 50-62.

***Обоснование выбора состава промывочной жидкости для бурения в прихватоопасных интервалах на Арчинском нефтегазоконденсатном месторождении (Томская область)***

***Мухаммад А.И.\* (МГРИ, ibnmuhammad739@gmail.com),***

***Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)***

**Аннотация**

В условиях Арчинского нефтегазоконденсатного месторождения в Томской области анализ промысловых данных выявил влияние геологических особенностей стенок скважин на возникновение осложнений и аварий. Бурение в этом регионе сталкивается с затруднениями, особенно в прихватоопасных интервалах, где различные типы горных пород с разной текстурой и твердостью могут привести к прихватам бурового инструмента.

Для преодоления этих проблем был использован метод добавления смазочных добавок в буровой раствор, с целью устранения прихватов бурильных инструментов. Однако, несмотря на некоторые положительные результаты, выбор состава промывочной жидкости для бурения в прихватоопасных интервалах требует дополнительного обоснования.

Цель данного исследования заключается в системном обосновании выбора состава промывочной жидкости, учитывая конкретные геологические условия и требования Ачинского нефтегазоконденсатного месторождения. В данном контексте основное внимание уделяется оптимизации буровых процессов в прихватоопасных интервалах с целью повышения эффективности бурения и предотвращения аварийных ситуаций. Анализ и обоснование выбора состава промывочной жидкости представляют собой ключевые аспекты данного исследования, направленного на повышение безопасности и эффективности добычи нефти и газа на Ачинском месторождении.

**Ключевые слова**

Арчинское месторождение, прихватоопасные интервалы, промывочная жидкость, буровой раствор, геологические условия, прихваты бурильных инструментов.

**Теория**

При бурении наклонно-направленной скважины, при вскрытии или прохождении пластов с пониженным пластовым давлением возникают осложнения, такие как заедание бурильной колонны под воздействием перепада давления, сужение ствола скважины, образование шлама и т.д. [1].

При анализе промысловых данных было установлено, что геологические условия скважин являются основным фактором, влияющим на возникновение осложнений и аварий. При бурении скважин на Арчинском нефтегазоконденсатном месторождении осложнения в основном возникают в следующих горно-геологических условиях:

Четвертичная система на исследуемой территории представлена сложным чередованием глин, суглинков, супесей, аргиллиты, известняки, песчаники, алевролиты, углы, песков и гравия мощностью (0-1600 м и 2890-3170 м).

Бурение этого интервала затруднено из-за прихватов бурильных инструментов. Это было вызвано присутствием различных типов горных пород с разной текстурой и твердостью.

**Способы ликвидации прихватов бурильных инструментов**

Одним из способов борьбы с возможными прихватами является добавление смазывающих добавок в буровой раствор [2]. Смазочные добавки к буровым растворам значительно увеличивают срок службы не только ботов, но и всего бурового оборудования.

В связи с этим важно использовать более эффективные и малододефицитные присадки, которые могут значительно улучшить смазывающие свойства буровых растворов. После открытия Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским нового явления - избирательного переноса (ИП)

- был накоплен положительный опыт его применения при трении для снижения износа движущихся частей машин и механизмов.

Это достигается не только подбором пар трения, но и разработкой и использованием этих смазочных материалов, которые способствуют проявлению избирательного переноса.

Решения конкретно по скважине

Эти два типа бурового раствора будут использоваться для устранения прихватов бурильных инструментов.

I. Пресный бентонитовый раствор для бурения интервала 0 – 1600 метров:

- Бентонит – 2-5%: Бентонит является наиболее распространенным смазывающим агентом, используемым в буровых растворах. Он обладает высокой смазывающей способностью и улучшает реологические свойства раствора. Бентонит снижает трение между буровыми инструментами и породами, что предотвращает заклинивание и облегчает процесс бурения. Он также обладает способностью контролировать фильтрацию бурового раствора, предотвращая потерю циркуляции и выбросы в процессе бурения.

- Гипан (к – 4) – 0,3%: Гипан является полимером, который придает буровому раствору высокую вязкость и стабильность. Он улучшает смазывающие свойства бурового раствора и снижает его фильтрацию. Гипан также может снижать трение между буровыми инструментами и породой, что помогает предотвратить прихватывание инструментов [3].

- КМЦ - 45 кг/м<sup>3</sup> (Ф30↓): КМЦ (Карбоксиметилцеллюлоза) является загустителем и стабилизатором бурового раствора на основе глины. Она улучшает смазывающие свойства раствора, снижает трение и предотвращает прихватывание буровых инструментов. КМЦ также улучшает стабильность раствора, предотвращает его разделение на фазы и оседание, что также снижает вероятность прихватывания инструментов [3].

- ПАА - 25 – 50 кг/м<sup>3</sup>: ПАА (Полиакриламид) является полимерным флокулянт, который связывает частицы глины и песка в буровом растворе, образуя стабильные суспензии. ПАА снижает трение в растворе и улучшает его смазывающие свойства, предотвращая прихватывание бурового инструмента. Кроме того, ПАА улучшает реологические свойства раствора и его стабильность, что также способствует предотвращению прихватывания.

- Целлофановая крошка – 6-8 %, целлофан пластинчатый: Целлофановая крошка и пластинчатый целлофан являются добавками, которые улучшают смазывающие свойства и снижают трение в буровом растворе. Они также предотвращают образование комков и стабилизируют раствор, тем самым снижая вероятность прихватывания буровых инструментов.

- Вода – остальное.

<b>Параметры промывочной жидкости:</b>	
$\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$	$\mu_n = 0,01 \text{ Па} \cdot \text{с}$
$T = 45 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$	$\tau_0 = 2,5 \text{ Па}$
$\Phi_{30} = 4 - 5 \text{ см}^3 \text{ за } 30 \text{ мин}$	$\mu_s = 0,5 \text{ Па} \cdot \text{с}$
$\theta_1 \text{ и } \theta_{10} = 40 \text{ дПа и } 80 \text{ дПа}$	$\text{pH} = 8,0 - 8,5$
$K = 1 - 1,5 \text{ мм}$	

Рисунок 1. Параметры пресного бентонитового раствора для бурения интервала 0 – 1600 метров

II. Раствор на углеводородной основе для бурения интервала 2890 – 3170 метров:

- Товарная нефть – 95 тонн- Смазывающая добавка, улучшающая реологические свойства бурового раствора и снижающая трение.
- CALCIUM CHLORIDE - 15 кг/м<sup>3</sup> - Добавка, которая улучшает смазочные свойства бурового раствора за счет снижения поверхностного натяжения и увеличения смазывающей способности.
- LIME - 15 кг/м<sup>3</sup> и REAMUL - 6 кг/м<sup>3</sup> - Эти две добавки относятся к классу стабилизаторов, которые улучшают стабильность бурового раствора и предотвращают его разделение.
- REFLAT - 1 кг/м<sup>3</sup> - Это добавка, улучшающая смазывающие свойства бурового раствора путем уменьшения трения между буровым долотом и породой.
- SALT - 15 кг/м<sup>3</sup> - Используется для регулирования солености бурового раствора, что может улучшить его смазочные свойства.
- VERSATROL M - 1 кг/м<sup>3</sup> - Это добавка-ингибитор, предотвращающая коррозию и эрозию бурового оборудования.
- CALCIUM CARBONATE - 4 кг/м<sup>3</sup> - Карбонат кальция используется для нейтрализации кислоты в буровом растворе и улучшения его смазочных свойств.
- LOCK VEB - (F,M,C,VC) – 10 кг/м<sup>3</sup> - Добавка-загуститель, улучшающая вязкость и смазывающие свойства бурового раствора.
- RUBBER LCM - 2 кг/м<sup>3</sup> - Добавка из резиновой крошки, улучшающая смазочные свойства и снижающая износ бурового оборудования [4].

<b>Параметры промывочной жидкости:</b>
$\rho$ – плотность = 0,93 г/см <sup>3</sup> ;
$\theta_1$ и $\theta_{10}$ – статическое напряжение сдвига = 15 дПа и 30 дПа;
$\Phi_{30}$ – показатель фильтрации = 4 см <sup>3</sup> /мин;
$\mu_{п}$ – пластическая вязкость = 0,004 Па*с;
$\tau_0$ – динамическое напряжение сдвига = 35 Па; соотношение углеводородной/водной фазы – 70-30/ 90-10;
электростабильность > 300 Вольт

Рисунок 2. Параметры раствора на углеводородной основе для бурения интервала 2890 – 3170 метров

### **Выводы**

Оба состава были выбраны с учетом предполагаемых преимуществ: снижения прихватов бурильного инструмента, повышения эффективности бурения и снижения расходов. Однако, для оптимизации параметров промывочной жидкости, будут проведены лабораторные исследования.

Дальнейшие исследования предполагают разработку новых составов промывочной жидкости, удовлетворяющих требованиям прихватоопасных интервалов. Планируется также изучение влияния промывочной жидкости на фильтрацию и другие свойства бурового раствора, а также моделирование процессов прихватообразования.

### **Библиография**

1. Кузнецов В.Г., Липатов Е.Ю. Первоочередные действия при ликвидации прихвата бурильной колонны // Территория «Нефтегаз». 2010. №12. С. 20 – 23.
2. Липатов Е.Ю. Исследование и разработки технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья). ТюмГНГУ. 2015.
3. Яковлев И.Г., Овчинников В.П., Семенов А.Ф., Семенов Т.М. Предупреждение и ликвидация осложнений, аварий и брака при строительстве скважин. ТюмГНГУ. 2015.
4. Матвиенко И.С. Влияние термостарения на буровые растворы на углеводородной основе. ТИУ. 2022. 70 – 75 с.

***Причины аварий и способы их предупреждения при бурении разведочных скважин на  
золотосеребряном месторождении «Лунное» (Омсукчанский р-он. Магаданская обл.  
Россия)***

***Николаев Д.В.\* (МГРИ им С. Орджоникидзе, den1s.n1ck@yandex.ru),  
Склянов В.И. (МГРИ им С. Орджоникидзе, sklianovvi@mgrid.ru)***

**Аннотация**

Аварии при бурении на твердые полезные ископаемые являются серьезной проблемой, с которой сталкиваются горнодобывающие компании во всем мире. Бурение на твердые полезные ископаемые связано с высокими рисками, так как процесс добычи данных ископаемых часто осуществляется на больших глубинах с использованием высокооборотного алмазного бурения в перемежающихся по свойствам породах, что создает дополнительные трудности и опасности для рабочих и оборудования.

Авторами рассмотрены причины аварий и способы их предупреждения при бурении разведочных скважин на золотосеребряном месторождении «Лунное» (Омсукчанский р-он. Магаданская обл. Россия).

**Ключевые слова**

Аварии, устранение аварий, нарушение техники безопасности.

**Теория**

Для анализа причин аварий при бурении разведочных скважин были взяты материалы бурения одной из скважин на золотосеребряном месторождении «Лунное» (Омсукчанский р-он. Магаданская обл. Россия). На рис. 1 представлен геолого-технический наряд на бурение скважины. Период бурения скважины 21.07.2023-12.08.2023, проектная глубина 223.0 метра. Бурение производилось турецким станком ESD-9. На основании анализа были определены следующие основные причины аварий.

1. Недостаточная подготовка оборудования и персонала. Сложность процесса бурения на твердые полезные ископаемые требует высокой квалификации и опыта у рабочих, а также строгого контроля за состоянием бурового оборудования. Недостаток подготовки может привести к различным проблемам и авариям, таким как обрыв буровых труб, заклинивание буровой установки или отказ механизмов управления.

2. Недостаточное знание физико-механических свойств горных пород и геологических особенностей месторождения. Горное давление, наличие водоносных горизонтов и другие факторы могут привести к неожиданным сдвигам и обвалам породы, что создает дополнительные опасности для бурового инструмента, буровой установки и рабочих. Недостаток информации о месторождении также может привести к выбору неэффективных методов бурения, что повышает риск аварий.

Согласно документации, на скважине было допущены следующие типы аварий с буровым инструментом.

1. Аварии с элементами бурильной колонны.
2. Обрывы бурильных труб.
3. Аварии с коронками.
4. Прихваты бурильных и обсадных колонн.
5. Аварии с обсадной колонной колонны и элементами её оснастки.
6. Прочие аварии: при геофизических работах (прихваты и оставление в скважине каротажного оборудования).
7. Обрывы троса лебёдки ССК, поломка насоса, и др.

***Технологические причины аварий***

- 1) неправильный выбор и нарушение рациональных параметров режима бурения (осевая нагрузка, частота вращения, расход промывочной жидкости) и параметров процесса бурения, включая механическую скорость, крутящий момент, усилие на подъем инструмента, давление промывочной жидкости;
- 2) некомпетентность машиниста буровой установки
- 3) несоблюдение рациональной последовательности правил крепления скважины (цементирование);
- 4) неправильный выбор типа промывочного агента, применение которого не обеспечивает выполнение гидродинамических, гидростатических и других функций, включая функции коркообразования;
- 5) необоснованный выбор рецептур промывочных жидкостей, тампонажных смесей и цементных растворов;
- 6) использование материалов и реагентов для приготовления промывочной жидкости низкого качества;
- 7) недоучет геологических и гидрогеологических условий, степени минерализации подземных вод, характера излива жидкости из скважины;
- 8) неудовлетворительная подготовка скважины к гидрогеологическим и геофизическим исследованиям (некачественная проработка ствола на всем незакрепленном интервале долотом номинального диаметра с целью ликвидации уступов, резких переходов от одного диаметра к другому, мест сужения и пробок);

***Организационные причины аварий***

- 1) низкая трудовая дисциплина и квалификация бригады буровых установок и буровых мастеров, выражающиеся в невыполнении или ненадлежащем выполнении своих обязанностей;
- 2) нерегулярное проведение планово-предупредительного ремонта;
- 3) невыполнение профилактических мероприятий по предупреждению аварий, простоев и длительных остановок буровых агрегатов;
- 4) несовершенство диспетчерской службы, отсутствие радиотелефонной связи с объектами, расположенными на отдаленных участках;

Геологическая часть													Техническая часть	
Глубина	Литология				категория пород		угол падения		проходка за рейс		выход керна		Конструкция	
	Геологическая колонка	Описание пород	Геологическая колонка	Описание пород	проект	факт	проект	факт	проект	факт	проект	факт	Проект	Факт
	Проект		Факт											
1	2	3	4	5	6		7		8		9		10	11
0,0-60,0м		Тектоническая зона по алевролитам 0.0-60.0м		Тектоническая зона по алевролитам 0.0-60.0м	III	III								обсадная колонна 108.0мм на глубину до 10.5м
60,0-72,0м		Алевролиты 60.0-72.0м		Алевролиты 60.0-72.0м	IV	IV								Бурение алмазным коронкой с расширителем на 96.0мм
72,0-97,0м		Жила СаQ 72.0-97.0м		Жила СаQ 72.0-97.0м	X	X			1.5м		1.5м			Бурение алмазным коронкой с расширителем на 96.0мм
97,0-176,0м		Туфы андезита в 97.0-176.0м		Туфы андезита в 97.0-176.0м	VI	VI	51°	52°	1.5м		1.5м			Бурение алмазным коронкой с расширителем на 75.7мм
176,0-178,0м		Жила СаQ 176.0-178.0м		Жила СаQ 176.0-178.0м	X	X								Бурение алмазным коронкой с расширителем на 75.7мм
178,0-192,0м		Туфы андезита в 178.0-192.0м		Туфы андезита в 178.0-192.0м	VI	VI								Бурение алмазным коронкой с расширителем на 75.7мм
192,0-203,0м		Тектоническая зона по алевролитам 192.0-203.0м		Тектоническая зона по алевролитам 192.0-201.0м	III	III								Бурение алмазным коронкой с расширителем на 75.7мм
203,0-208,0м		Туфы андезита в 203.0-209.0м	?		VI									Обрыв колонны бурильных труб на глубине 200.5м
208,0-209,0м		Жила СаQ	?	Авария	X	Авария								Обрыв колонны бурильных труб на глубине 200.5м
209,0-223,0м		Туфы андезита в 209.0-223.0м	?		VI									Обрыв колонны бурильных труб на глубине 200.5м
									0.5м		0.5м			

Рисунок 1. геолого-технический наряд на бурение разведочной скважины

### **Геологические причины аварий**

5) нарушение целостности стенок скважин; обстоятельства, не зависящие от исполнителей технологического процесса.

Существуют косвенные факторы, уменьшающие или увеличивающие вероятность их появления. К ним относятся: способ бурения; глубина и конструкция скважин; оснащение буровых установок контрольно-измерительными и регистрирующими приборами; степень

автоматизации и механизации спускоподъемных операций; скорость бурения скважин; тип породоразрушающего инструмента, бурильных и обсадных труб и элементов их соединений; интенсивность пространственного изменения оси скважины и др.

Эти факторы в отдельных случаях превращаются в непосредственные причины аварий и снижают технико-экономические показатели буровых работ. Несмотря на многообразие факторов, влияющих на возникновение аварий, большая часть аварий происходит по вине исполнителей работ или их недостаточной квалификации.

Однако некоторые обстоятельства все-таки повышают вероятность возникновения аварий. К ним могут быть отнесены: недостаточная геологическая изученность района, увеличение глубины скважин, сейсмические особенности района, необходимость осуществления буровых работ при недостаточной материальной оснащенности и др.

### **Выводы**

1. Обеспечение правильной подготовки и обучения персонала, который занимается бурением, чтобы минимизировать риск возникновения аварий. Необходимо строго соблюдать технологические инструкции и инструкции по технике безопасности, постоянно следить за эксплуатацией оборудования, инструмента и процессом бурения.

2. При возникновении аварии необходимо немедленно принимать меры по ее устранению. Это может включать в себя остановку буровых работ, вызов специалистов по аварийной техпомощи, проведение необходимых ремонтных работ, а также анализ причин аварии для предотвращения ее в будущем.

3. Оперативная реакция и координация действий всех участников процесса, т.к. с течением времени ликвидация аварии может усложниться. Только при совместных усилиях можно быстро и эффективно устранить последствия аварии.

### **Библиография**

1. Гражданкин А. И. Современные опасности крупных промышленных аварий / А. И. Гражданкин, под. общ. ред. В. А. Акимова // ВНИИГОЧС: вчера, сегодня, завтра. — Москва: ВНИИГОЧС, 2011. — Книга 3 : научные статьи. — 254 с.

2. Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприемниками (ССК). Алматы, КазНТУ, 2010.

3. Твердов, А. А. Передовые технологии бурения наклонно-горизонтальных скважин при разработке твердых полезных ископаемых / А. А. Твердов, Э. Э. Байсаров. - (Современные технологии). - Текст: непосредственный // Горная Промышленность. - 2017. - № 3 (133). - С. 26-30 : рис. - Библиогр. в конце ст. (9 назв.). - ISSN 1609-9192.

4. В. В. Нескоромных, М. С. Попова, П. Г. Петенев, А. Л. Неверов, А. Е. Головченко. Современные технологии бурения на твёрдые полезные ископаемые.

***Обоснование параметров бурового раствора при бурении соленосных толщ на  
Черноярковском месторождении (Оренбургская область)***

***Носачёв В.В.\* (МГРИ, nosachev\_02@mail.ru),***

***Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)***

**Аннотация**

Осложнения обусловлены рядом геологических и технико-технологических факторов. Им способствуют: поглощения; газонефтеводопроявления (ГНВП); потеря устойчивости стенок скважины; частая перемеживаемость глинистых пород с песчаниками; большая мощность глинистых, хемогенных отложений; большие углы падения горных пород; сильно развитая сланцеватость и трещиноватость; наличие слабоустойчивых и проницаемых горных пород; недостаточная скорость восходящего потока бурового раствора; самопроизвольное изменение траектории ствола скважины; длительное бурение интервалов, склонных к осложнениям, и пребывание их в не обсаженном состоянии.

Эти и другие факторы приводят к зашламлению и сужению ствола скважины, осыпям и обвалам, желобообразованию, что отрицательно сказывается на подвижности инструмента, а иногда вызывает его прихват.

**Ключевые слова**

Соленые толщи, рапопроявления, буровые растворы, безглинистые растворы.

**Теория**

Соленосные отложения представляют собой комплекс легкоразмывающихся хемогенных и терригенных пород. После перебуривания соленосных отложений под воздействием нескомпенсированных напряжений горная порода стремится занять устойчивое положение, вследствие чего в пристволевой зоне под воздействием горного давления наблюдаются пластические деформации (течение солей), а при наличии хрупких непрочных пород возможны обрушения, обвалы, образование каверн. Наряду с естественными процессами дестабилизации стенок скважин наблюдается и искусственная дестабилизация под воздействием промывочных жидкостей: растворение и размывание стенок скважин. Растворение соли ухудшает качество БР, требуются дополнительные затраты труда и средств на его стабилизацию.

К вскрытым соленосным отложениям в большинстве случаев приурочены интервалы интенсивного кавернообразования. Причиной образования каверн являются растворимость и размыв солей. Растворимость солей можно уменьшить путем: – применения нерастворимых сред буровых растворов на нефтяной основе и гидрофобных эмульсий; – подавления растворимости одной соли другой в соответствии с закономерностями солевого равновесия; – перенасыщения БР солью (избыток соли в твердой фазе 5–10 %) для исключения возможности растворения пластовой соли в призабойной зоне при более высокой температуре.

Для снижения скорости пластического течения солей рекомендуется осуществлять многократные промывки скважины охлажденным раствором, который берется из запасных емкостей, с целью снижения забойной температуры. Прокачка буферной жидкости перед началом подъема колонны бурильных труб в ходе бурения и проработок позволяет предупредить ряд осложнений, связанных с разбуриванием хемогенных пород. Буферную жидкость выбирают в зависимости от используемого БР: для эмульсионного раствора, насыщенного хлористым натрием, – воду с сульфолом до 0,5 %; для хлормagneйевых, хлоркальциевых, гидрогеля рассолов или растворов на нефтяной основе – воду, насыщенную хлористым натрием. Объем буферной жидкости составляет 10–20 м<sup>3</sup>, прокачивают его в один или несколько приемов (2–3 пачки по 5–7 м<sup>3</sup>). Прихваты колонны бурильных труб, возникшие в результате пластического течения солей, можно ликвидировать путем замены БР на воду.

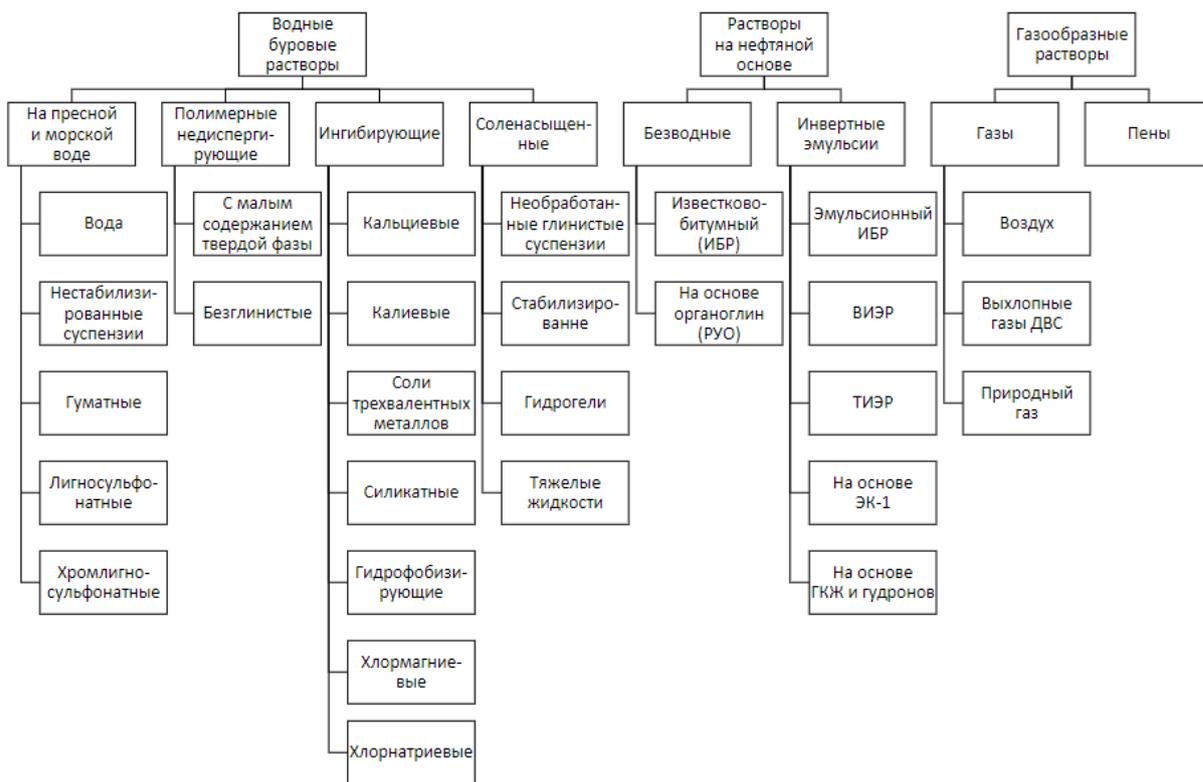


Рисунок 1. Классификация буровых растворов [1]

Несмотря на все существующие методы борьбы с рапопроявлениями, лишь в некоторых случаях, когда дебиты рапы минимальны, удается довести скважину до проектной глубины.

Основными способами борьбы с осложнениями при прохождении соленосных толщ можно выделить являются:

1. Увеличение плотности используемого бурового раствора;
2. Разрядка рапопроявляющего горизонта [2].

Однако, стоит учитывать тот факт, что повторные вскрытие пласта, на таких условиях и дальнейшее увеличение плотности бурового раствора способно привести только к поглощению [3]. И помимо прочего, использование первого способа способно привести к увеличению риска прихватов бурового инструмента.

Разрядка горизонта тоже имеют ряд своих недостатков и невысокую эффективность, в следствие чего буровой раствор приходит в негодность [3]. Более того, даже после длительного проявления пласта, давление в нем выше подстилающего горизонта. Данный метод продуктивен лишь при линзовидном локальном скоплении рапы с малой энергией

Наиболее перспективным и эффективным способом проходки соленосных толщ горизонтов является использование специальных буровых растворов, например, безглинистых, на нефтяной основе, соленасыщенных и полимер-эмульсионных утяжеленных, поскольку традиционные их рецептуры малоприспособны, так как рапа вызывает их коагуляцию и повышает затраты на реагенты.

Буровой раствор, состав	Параметры
1. Солестойкий буровой раствор: формиат натрия 9-45 %; мраморный порошок 0-10 %; полимер Fito-РК 1-5 %; техническая вода остальное.	Плотность 1050 -1400 кг/м <sup>3</sup> ; Водоотдача 1-5 см <sup>3</sup> /30 мин; ДНС 48-150 дПа; Пластическая вязкость 25-70 мПа·с.
2. Высокоминерализованный безглинистый буровой раствор: формиат натрия 9-30 %; мраморный порошок 0-12 %; сульфацелл до 3 %; МАС-200 0,2- 0,4 %; техническая вода остальное.	Плотность 1100-1300 кг/м <sup>3</sup> ; Водоотдача 1-7 см <sup>3</sup> /30 мин; ДНС 70-240 дПа; Пластическая вязкость 25-75, мПа·с.
3. Буровой раствор на основе формиата натрия: формиат натрия 9-33 %; ПС 1-3 %; МАС-200 0,1- 0,3 %; техническая вода остальное.	Плотность 1050-1230 кг/м <sup>3</sup> ; Водоотдача 2-3 см <sup>3</sup> /30 мин; ДНС 25-38 дПа; Пластическая вязкость 20-24 мПа·с.
4. Безглинистый буровой раствор для вскрытия зон с АВПД: формиат натрия 13-44 %; КМК до 5 %; мраморный порошок до 14 %; МАС-200 0,1- 0,3 %; техническая вода остальное.	Плотность 1050-1450 кг/м <sup>3</sup> ; Водоотдача 2-4 см <sup>3</sup> /30 мин; ДНС 80-140 дПа; Пластическая вязкость 30-60 мПа·с.

Рисунок 2. Рекомендуемые составы и параметры буровых растворов для вскрытия продуктивных пластов [4]

Требования к буровым и тампонажным растворам определяются генезисом коллекторов рапы. При изоляции соленасыщенных пластов внутренний диаметр скважины является ключевым параметром достижения необходимого бокового режима нагнетания, поэтому нельзя допускать размыва ствола скважины. Для этого необходимо использовать буровые растворы, затворённые на рапе, и расширяющиеся цементные растворы, затворённые на рассолах хлорида натрия. Кроме того, возможно использовать буферные тампоны с пластической прочностью в 2-3 раза большей динамического напряжения сдвига цементного раствора для снижения закачиваемых объемов.

В большинстве методов буровой раствор для проходки в интервале солей меняют. Зачастую для этих целей готовят водный раствор хлорида натрия, который обрабатывают биополимерным реагентом, КМЦ и полиакриламидом. Однако учитывая сложные геологические особенности, для которых характерно наличие рапоносных горизонтов, такие как карбонатно-терригенные горные породы, пласты галита, разуплотненные трещиноватые горные породы, засоленные коллекторы, высокоминерализованные (0,35-0,4 кг/л) и высококислотные (рН=2-3) пластовые воды и т.д., текущее состояние бурового раствора изменяется. С увеличением концентрации солей в рапе растворимость хлорида натрия в растворе снижается и ухудшаются его параметры из-за воздействия солей на полимеры.

При разработке рецептуры раствора нужно обращать внимание на равновесие степеней минерализации раствора и поступающего рассола. В первую очередь, необходимо, чтобы буровой раствор состоял из положительно заряженных частиц, как и рапа. Для этого предлагается исключить использование глины, полимеров (К-4, крахмала, ВПРГ, Унифлока), кальцинированной и каустической соды, а вместо них применять полиакриламид с мраморной пудрой.

### **Выводы**

При изливе рапы изолировать интервалом цементом не удаётся. Для этого используют специальные буровые растворы: полимер-эмульсионные утяжеленные, гидрогели, РУО, соленасыщенные на полимергуматной основе с кольматантами.

Растворы с кальциевыми глинами менее чувствительны к рапе, например, палыгорскит. Для снижения водоотдачи растворы эмульгируют. Кроме того, для успешной проводки растворы готовят на соответствующей рапе с добавлением КМЦ, крахмальных реагентов, декстрина, бентонита и сульфанола.

### **Библиография**

1. Ташкевич И.Д., Вахромеев А.Г., Сверкунов С.А. Обоснование типов промывочных жидкостей для первичного вскрытия терригенных коллекторов углеводородов (юг Сибирской платформы). Науки о Земле и недропользование. 2020; 43 (1); 77 – 87.
2. Сидоров Д.А. Обоснование и разработка технологии изоляции рапороявляющих пластов при вскрытии соленосных толщ восточной Сибири. г. Санкт-Петербург, 2023. 140 с.
3. Батыров, М.И. Разработка мероприятий для предупреждения и своевременной ликвидации геологического осложнения в виде рапопроявлений при бурении скважины №9 Виканской площади / Батыров М.И., Савенок О.В. // НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ (ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК). – Краснодар: ООО "Издательский Дом - Юг", 2020. – №1. – С. 44-73
4. Овчинников П.В., Аксенова Н.А., Грошева Т.В., Рожкова О.В. Современные составы буровых промывочных жидкостей. ТюмГНГУ. 2013. 156 с.

*Способы закрепления проппанта на стенках скважины  
Синюков Р.А.\* (МГРИ им.Серго Орджоникидзе, SinykovR-9@yandex.ru),  
Сырчина А.С. (МГРИ им.Серго Орджоникидзе, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Проблема увеличения нефтеотдачи пластов появилась практически с начала добычи нефти и до сегодняшних дней не теряет своей актуальности. Эффективность извлечения нефти из нефтеносных пластов современными, промышленно освоенными методами разработки во всех нефтедобывающих странах на сегодняшний день считается неудовлетворительной, хотя потребление нефтепродуктов во всем мире растет из года в год. Средняя конечная нефтеотдача пластов по различным странам и регионам составляет от 25 до 40%.

**Ключевые слова**

Нефтеотдача, проппант, гидроразрыв пласта, адгезия.

**Теория**

Проппант - гранулообразный материал для расклинивания, который используется в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности нефтеотдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта (ГРП).

Обратим внимание на важные аспекты применения проппанта в нефтедобывающей индустрии и связанные с этим проблемы, требующие глубокого анализа и поиска эффективных решений.

В основном причина поступления проппанта в ствол скважины обусловлена возможностью его перемещения по созданной трещине вместе с потоком пластового флюида, из чего следует, что проппантовая пачка находится в неустойчивом состоянии.

Практический опыт подтверждает, что указанное явление, в случае уменьшения депрессии на продуктивный пласт, может снижать свою интенсивность вплоть до полного прекращения.

Во втором случае причину поступления проппанта в ствол скважины можно объяснить вероятностью его вымывания из прискважинной зоны пласта (ПЗП), например, из полостей, трещин цементного камня и т. д. При этом существует реальная вероятность частичного смыкания созданной трещины вблизи ствола скважины, что в значительной степени может уменьшить ее проводимость.

Во втором случае причиной поступления проппанта в ствол скважины может быть вероятность его вымывания из прискважинной зоны пласта. Проппант, используемый в гидравлическом разрыве пласта (гидроразрыве), предназначен для создания прочных трещин в пласте и предотвращения их закрытия после завершения процесса. Однако, если проппант неправильно закреплен или если в процессе эксплуатации скважины возникают условия, способствующие его вымыванию, часть проппанта может мигрировать к стволу скважины. Вымывание проппанта может произойти из-за различных причин, таких как переносочные потоки, динамическое воздействие флюидов в скважине, аномалии в пластовом давлении и т.д. Если проппант попадает в ствол скважины, это может негативно повлиять на её производительность, а также на эффективность гидроразрыва пласта.

Присутствие различных флюидов в скважине, таких как кислоты, щелочи, остатки геля ГРП, деструкторы, пластовая вода и нефть, негативно влияет на качество адгезии зерен RCP (Resin-Coated Proppant) и снижает способность покрытого проппанта закрепляться. Использование таких проппантов имеет свои ограничения, так как они чувствительны к условиям скважины, включая температуру, давление, сдвиг и период закрытия скважины. Это часто приводит к уменьшению проходимости скважины по сравнению с ожидаемым.

В низкотемпературных скважинах требуется добавление дорогостоящих активаторов вулканизации смолы к RCP в концентрации от 0,5% до 2%, чтобы обеспечить надежное закрепление проппанта. Этот процесс может потребовать длительного периода закрытия скважины до 24 часов.

Необходимость обеспечения надежного закрепления RCP проппанта на этапе строительства скважины обусловлена его низкой химической стойкостью к кислотам, щелочам и органическим растворителям. Исследования показывают, что контакт с кислотными средами, такими как соляная или глинокислотная, в течение 2 часов приводит к необратимому разрушению покрытия RCP проппанта (Рисунок 1). Это влечет за собой потерю прочности проппанта и образование абразивных обломков с высокой твердостью. Такие недостатки подчеркивают необходимость разработки более надежных методов предотвращения выноса проппанта, способных одновременно повысить эффективность очистки и уровень добычи нефти и газа. Существует несколько средств и методов, которые могут повысить адгезию (сцепление) проппанта с стенками скважины. Эти методы могут быть использованы для улучшения удержания проппанта в трещинах и предотвращения его выноса:

1. **Адгезивные промотеры:** это добавки, которые улучшают адгезию проппанта к поверхности скважины. Они обычно добавляются в состав RCP проппанта или в гидравлическую жидкость для усиления сцепления.

2. **Улучшенные формулы покрытия:** Разработка более эффективных покрытий для проппанта с использованием устойчивых смол или полимеров, специально созданных для улучшения адгезии.

3. **Технологии активации поверхности:** Применение методов обработки поверхности проппанта, таких как изменение текстуры, увеличение шероховатости или создание микрорельефа, чтобы улучшить его сцепление с поверхностью трещины.

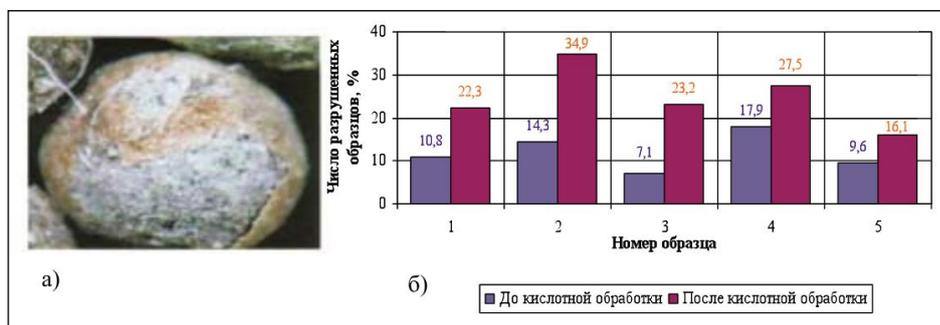


Рисунок 1. Влияние кислотного воздействия на покрытие RCP проппанта и результаты краш-теста

### Выводы

Выбор оптимального средства для увеличения адгезии зависит от конкретных условий скважины, характеристик проппанта и используемых технологий гидроразрыва пласта. Эти методы требуют тщательных исследований и испытаний в условиях реальной эксплуатации скважин для оценки их эффективности и применимости.

### Библиография

1. Гидроразрыв пласта для повышения нефтеотдачи / В. А. Петина, Н. В. Соловьев, К. О. Щербакова, Б. А. Овезов // Сборник тезисов XII Международной научно-практической конференции : СБОРНИК ТЕЗИСОВ КОНФЕРЕНЦИИ, Ижевск, 15 апреля 2022 года. – Ижевск:

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования "Международный институт компьютерных технологий", 2022. – С. 342-346. – EDN XDTKRQ.

2. Гидроразрыв пласта для повышения нефтеотдачи / В. А. Петина, А. М. Машкова, Н. В. Соловьев [и др.] // Молодые - Наукам о Земле : Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 31 марта – 01 2022 года / Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. – С. 271-274. – EDN FZBSYP.

3. Желтов Ю.П., Христианович С.А. - О гидравлическом разрыве нефтеносного пласта // Известия Академии наук СССР. Отделение техн. наук. - 1955. - 5. - С. 3-41.

4. Казаку, В. В. Компьютерное моделирование эффективной промывки горизонтальных скважин / В. В. Казаку, Б. А. Овезов, С. Ю. Нестеренко // Молодые - Наукам о Земле : Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 23 октября 2020 года / Редколлегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2020. – С. 154-156. – EDN UKBOWT.

5. НИК Петрос. Обзор современных методов повышения нефтеотдачи пласта // - М.: Нефтяное хозяйство. 2008. - №1

6. Разработка скважинной автономной виброизмерительной аппаратуры / Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р., Петина В.А. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 59-69.

7. Проектирование цементных растворов для глубоких, высокотемпературных наклонно-направленных скважин / Е. В. Орленкова, Н. В. Соловьев, К. О. Щербакова, Б. А. Овезов // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 7(127). – С. 50-52. – EDN ОТОНJA.

8. Технология кислотной обработки призабойной зоны пласта / А. Д. Румянцев, А. М. Машкова, Н. В. Соловьев [и др.] // Молодые - Наукам о Земле : Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 31 марта – 01 2022 года / Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Том 4. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. – С. 279-282. – EDN IDSNAГ.

9. Электроразведочная аппаратура для бесконтактного измерения электрического поля / Петина В.А., Щербакова К.О., Овезов Б.А., Календарова Л.Р. Деловой журнал Neftegaz.RU. 2023. № 2 (134). С. 100-102.

*Создание высокопроизводительных алмазных коронок  
для разведочного бурения твердых горных пород  
Пернебаев Ф.Н. \* (МГРИ, Farabi2999@gmail.com),  
Склянов В.И. (МГРИ, sklianovvi@mgi.ru)*

**Аннотация**

Ускоренный ввод в эксплуатацию полезных ископаемых, залегающих в твердых горных породах, во многом зависит от производительности разведочного бурения, технико-экономические показатели которого в значительной мере определяются эффективностью работы алмазных буровых коронок.

Для решения упомянутой проблемы были проведены исследования, позволившие сформулировать рекомендации по созданию высокопроизводительных, алмазных коронок для бурения твердых абразивных пород, по которым в республике Казахстан были разработаны и испытаны многослойные алмазные коронки КСБ-1 и КСБ-2 с гребенчатым профилем алмазосодержащих импрегнированных слоев. По результатам производственных испытаний сформулированы выводы и рекомендации.

**Ключевые слова**

Буровая коронка, многослойная матрица, импрегнированные и безалмазные слои.

**Теория**

Для создания новой конструкции алмазных коронок, повышающих эффективность бурения геологоразведочных скважин, Казахским научно-исследовательским техническим университетом (КазНИТУ, Алматы, Казахстан) были проведены исследовательские работы и выработаны следующие рекомендации при разработке конструкции алмазных коронок для бурения со съёмными керноприемниками в твердых абразивных породах ряда месторождений Казахстана [1, 2]:

- матрица коронки должна содержать по высоте несколько (пять и более) импрегнированных алмазосодержащих слоев, разделенных между собой безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, твердый сплав ВК-20);

- каждый алмазный импрегнированный слой матрицы должен иметь «гребенчатый» профиль, представляющий кольцевые клинообразные выступы и впадины;

- импрегнированные алмазные слои матрицы в процессе бурения должны быть одинаково нагружены по радиусу коронки, что позволяет повысить износостойкость инструмента и уменьшить количество алмазного сырья для изготовления последнего; получена зависимость, определяющая изменение высоты конусных кольцевых выступов алмазосодержащих слоев в направлении от периферийного выступа к оси коронки при условии равенства оснований упомянутых выступов;

- для сохранения диаметров скважины и выбуриваемого керна внутренняя и наружная боковые поверхности матрицы должны оснащаться износостойкими алмазными вставками (например, из твесала);

- для выполнения высококачественной износостойкой матрицы следует добавлять в малых количествах различные компоненты в состав связки алмазных зерен вида  $94WC+Co+Cu$ ; например, экспериментально доказано, что добавка порошка монокарбида вольфрама WC при зернистости 200/160 показатель эффективности повышается в 1,9 раза, который прямо пропорционален механической скорости бурения, величине проходки скважины и обратно пропорционален линейному износу матрицы по высоте;

- для повышения интенсификации разрушения забоя скважины следует провести экспериментальные работы с алмазной коронкой, импрегнированные слои которой размещены в матрице на трехзаходный винтовой поверхности, имеющий малый шаг, составляющий 0,8 – 1,2

мм; ожидается, что при таком конструктивном исполнении в процесс, помимо глубины внедрения алмазных зерен, будет вовлечена зона предразрушения, залегающая под зоной внедрения и представляющая разбитую и ослабленную трещинами твердую породу на глубину, десятикратно повышающую глубину внедрения алмазных зерен.

Ускоренный ввод в эксплуатацию полезных ископаемых, залегающих в твердых горных породах, во многом зависит от производительности разведочного бурения, технико-экономические показатели которого в значительной мере распределяются эффективностью работы алмазных буровых коронок.

Конструкция алмазной коронки должна удовлетворять следующим требованиям:

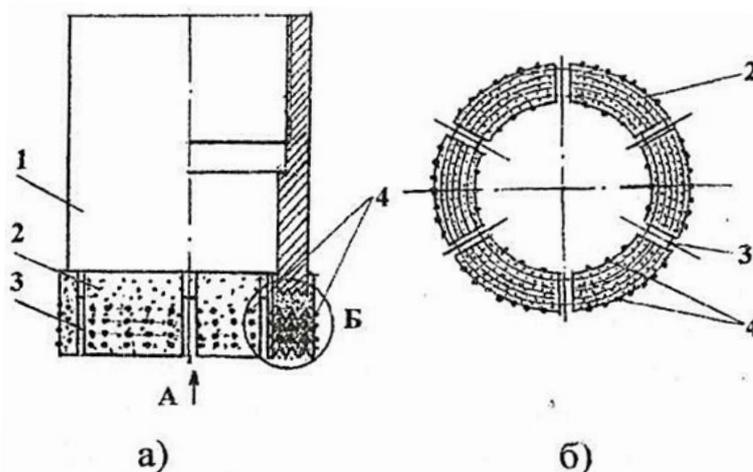
-матрица коронки должна содержать по высоте несколько (пять и более) импрегнированных алмазосодержащих слоев, разделенных между собой безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, твердый сплав ВК-20);

-каждый алмазный импрегнированный слой матрицы должен иметь «гребенчатый» профиль, представляющий кольцевые клинообразные выступы и впадины.

Вышеупомянутые рекомендации реализованы в конструкции многослойной алмазной коронки с гребенчатым профилем алмазосодержащих импрегнированных слоев (рис.1) [1], где, а - вид со стороны корпуса; б – вид А; в – продольный разрез алмазосодержащей матрицы в увеличенном масштабе (узел Б на рис 1а); г – продольный разрез матрицы после износа первого алмазного слоя. 1 – корпус, 2 – матрица, 3 – промывочные каналы, 4 – подрезные алмазы, 5,6,7,8 – алмазосодержащие слои, 9 – безалмазные слои.

Из рисунка 1 следует, что работа по разрушению породы и углублению забоя скважины осуществляется первоначально импрегнированным слоем 5, затем поле его срабатывания – слоем 6, который обнажается благодаря значительно меньшей твердости безалмазных слоев 9. После износа алмазного слоя 6 в работу вступает импрегнированный слой 7 и т.д. до полного износа всех алмазосодержащих слоев в матрице 2 коронки.

Рассматриваемая алмазная коронка под маркой КСБ-1 изготовлена, прошла производственные испытания и показала весьма хорошие результаты [2]. Вместе с тем, следует признать, что в алмазной коронке КСБ-1 внешнее давления на конусные кольцевые выступы алмазосодержащих слоев при равенстве действующей на них нагрузки будет различным в зависимости от их радиального положения. Это связано с различной площадью кольцевых выступов: минимальная площадь будет у выступа, примыкающего к внутреннему радиусу матрицы, а максимальная – у кольцевого выступа, расположенного на ее наружном радиусе.



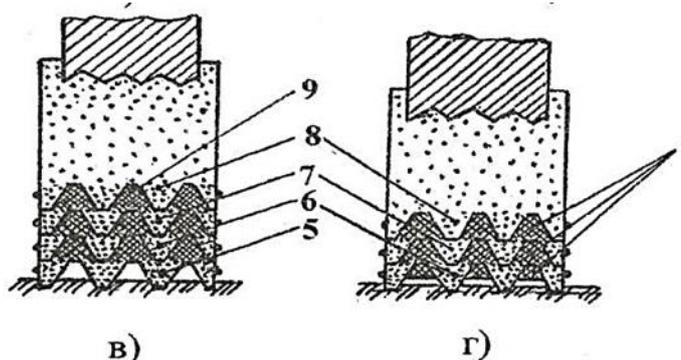


Рисунок 1. Многослойная алмазная коронка КСБ-1 с гребенчатым профилем алмазосодержащих слоев

Такая неравномерность давления на выступы по радиусу матрицы может привести к чрезмерной величине на выступ, расположенный на внутреннем радиусе матрицы, и ее недостаточной величине на периферийный выступ. Поэтому следующая рекомендация при изготовлении алмазных коронок формулируется следующим образом:

-импрегнированные алмазные слои матрицы в процессе бурения должны быть одинаково нагружены по радиусу коронки, что позволяет повысить износостойкость инструмента и уменьшить количество алмазного сырья для изготовления последнего, для сохранения диаметра скважины и керна нужно оснастить коронку износостойки алмазными вставками.

В соответствии с этой рекомендацией разработана алмазная многослойная буровая коронка с равномерно нагруженными при бурении импрегнированными слоями [3].

Многослойная алмазная коронка с равномерно нагруженными при бурении импрегнированными слоями под маркой КСБ-2 успешно прошла производственные испытания и внедрена при разведочном бурении ряда месторождений Казахстана со значительным экономическим эффектом [4].

### **Выводы**

1. При создании алмазных буровых коронок для бурения твердых абразивных пород нужно учитывать, что наибольшая эффективность их применения достигается при оснащении ими снарядов со съёмными керноприемниками.

2. Коронки должны иметь несколько (4-5 и более) импрегнированных слоев, разделенных безалмазными слоями значительно меньшей твердости (например, ВК-20).

3. Каждый импрегнированный слой должен иметь «гребенчатую» форму, представляющую кольцевые выступы и впадины. Такая форма слоев обеспечивает высокие удельные давления на забой, что весьма важно при разрушении твердых пород.

4. Следует создавать коронки с равномерно нагруженными алмазосодержащими слоями, что обеспечит наибольшую долговечность работы инструментов.

### **Библиография**

1. Предварительный патент РК №13169 «Алмазная буровая коронка», опубликовано в бюл. № 6, 2003 (Авторы: Федоров Б.В. Кудайкулов С.К., Касенов А.).
2. Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприемниками (ССК). Алматы, КазНТУ, 2010.
3. Предварительный патент РК №13379 «Алмазная буровая коронка», опубликовано бюл. №5, 2006. (Авторы: Федоров Б.В., Кудайкулов С.К., Касенов А.).
4. Кудайкулова Г.А., Федоров Б.В. и др. Результаты сравнительных испытаний алмазных буровых коронок ведущих фирм. Вестник КазНТУ, №2 (102), Алматы, 2014, стр.75-79.

*Технология бурения эксплуатационной добывающей наклонно-направленной скважины в Ханты-Мансийском автономном округе на юрские нефтяные отложения на Федоровском НГКМ с применением системы каротажа в процессе бурения*

*Саидов С.С.\* (МГРИ, saidgoh03@gmail.com),  
Овчинников П.В. (МГРИ, ovchinnikovpv@mgrid.ru)*

**Аннотация**

Каротаж в процессе бурения (LWD) - это технология, которая позволяет получать данные о геологической структуре скважины в режиме реального времени. LWD использует специальные измерительные приборы, установленные на буровой колонне, для сбора информации о свойствах пород и флюидов внутри скважины.

Основная цель LWD - это получение данных о геологических параметрах скважины, таких как плотность, скорость звука, электрическая проводимость, магнитная восприимчивость и другие. Эти параметры могут быть использованы для определения типа породы, ее состава, структуры и флюидных свойств.

В целом, LWD является важной технологией для бурения скважин, которая позволяет получать ценную информацию о геологической структуре скважины в режиме реального времени. Он может быть использован для оптимизации процесса бурения, улучшения точности и эффективности, а также для принятия решений о дальнейших действиях в процессе эксплуатации скважины.

**Ключевые слова**

Каротаж, бурение, прихват, телеметрическая система, программное обеспечение, подземный и надземный модуль.

**Теория**

Сегодня во всем мире передовые нефтегазовые компании активно используют технологии каротажа в процессе бурения как для разведки новых, так и для оптимальной разработки уже эксплуатируемых месторождений.

LWD системы служат для обеспечения проводки скважины по проектной траектории, осуществляя контроль искривления, литологии, насыщения и оперативного управления бурением. LWD системы, кроме измерения инклинометрических и технологических параметров, дополнены аппаратурой для измерения свойств разбуриваемых пород. Информация о траектории ствола и свойствах разбуриваемых горных пород, получаемая в режиме реального времени, позволяет более точно направлять ствол скважины относительно интересующих коллекторов и зон различной насыщенности.

Возникновение какого-либо вида осложнений или аварий зависит от многих причин, главным образом, от соответствия технологии бурения геологическим условиям, а также от исправности бурового оборудования [1]. Прихват бурильной колонны – это непредвиденная потеря подвижности колонны труб вследствие: прилипания под действием перепада давления; заклинивания в желобах, в местах сужений; в результате обвала, осыпания горных пород со стенок скважины или оседания шлама за счет нарушения режима промывки, а также из-за образования сальника на бурильной колонне (рис.1). Любой прихват сопровождается затяжками бурильной колонны. Затяжка бурильной колонны - это кратковременная потеря подвижности бурильной колонны, которая сопровождается периодическим увеличением веса на крюке. В следствие чего происходит застревание труб при проведении геофизических исследований скважин, что несет за собой прихваты и оставление в скважине каротажного кабеля, приборов, грузов, шаблонов, торпед и других устройств. Этот тип - самый распространенный вид аварии во время ГИС [2].

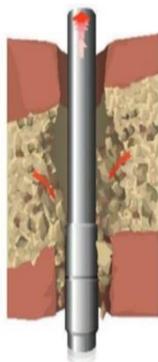


Рисунок 1. Изображение прихвата бурильного инструмента

Буровые компании на постоянной основе несут огромные убытки по причине прихвата бурильного инструмента:

- Трата времени на его ликвидацию;
- Потеря части бурильной колонны;
- Необходимость бурения бокового в обход, оставленного в скважине;
- Потеря скважины [3].

Решением данной проблемы является использование телеметрического комплекса LWD [4]. Предназначена для оперативного контроля направления бурения скважины с целью управления и геофизических исследований нефтегазовых скважин, с использованием для передачи информации гидравлического канала связи. Телесистемой также обеспечивается измерения естественной радиоактивности горных пород, коэффициента водонасыщенной пористости пластов и удельное электрическое сопротивление (далее – УЭС) среды.

Цели и задачи, решаемые комплексом:

- Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин;
- Передача данных в реальном времени;
- Проведение геофизических замеров в реальном времени;
- Снижение сроков строительства скважин;
- Универсальность и простота обслуживания.

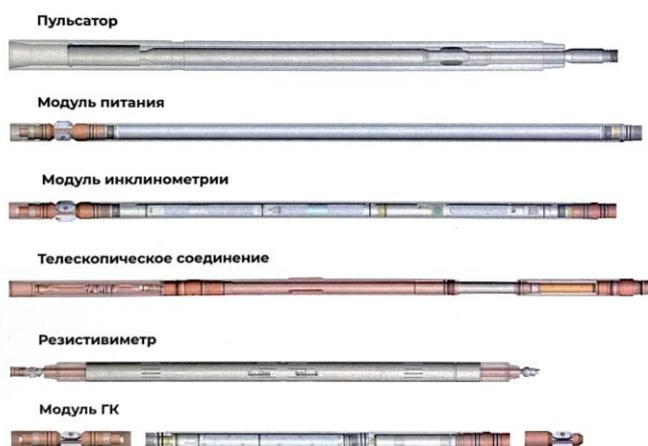


Рисунок 2. Состав подземного модуля

Наземная система преобразовывает информацию со скважины и выдает данные на дисплей в виде азимута, зенитного угла и направления отклонителя (toolface). Инженер по направленному бурению имеет дисплей на буровой установке, показывающий последнюю информацию после расшифровки, а также информацию о предыдущих изменениях направления. На персональном компьютере происходит визуализация данных каротажа. Время, необходимое для получения полного замера (угол, азимут) – от 30 до 150 секунд. (рис.3)



Рисунок 3. Состав надземного модуля

Программное обеспечение системы:

- представляет инженеру и бурильщику телеметрическую и каротажную информацию;
- обеспечивает протоколирование данных и формирование отчетности согласно требованиям заказчика;
- предоставляет данные для анализа геологического сопровождения скважин.

### Выводы

Данная система позволяет минимизировать срок бурения скважин. Основные преимущества – передача данных в реальном времени, высокое качество приборов, собственное программное обеспечение, простота обслуживания, проведение и передача замеров в реальном времени.

### Библиография

1. ВНЕДРЕНИЕ НАДДОЛОТНОГО МОДУЛЯ. Мефодьева А.В., Машкова А.М., Соловьев Н.В., Щербакова К.О., Овезов Б.А. В книге: Молодые - Наукам о Земле. Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах. Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Москва, 2022. С. 264-266.
2. Машкин К.А., Рыскаль О.Е., Коротченко А.Г., Гайнетдинов Р.Г., Глухов В.Л., Огнев А.Н., Шабиев И.Х. Расширение области применения ядерно-геофизических методов в сложных геолого-технических условиях // Каротажник. 2012. № 4. С. 19-28.

3. Черепанов В.В., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Егурцов С.А., Иванов Ю.В., Лысенков А.И., Меркулов А.В. Применение технологий нейтронного каротажа скважин при разработке нефтегазоконденсатных месторождений. Состояние и перспективы развития // Газовая промышленность. 2019. №S1 (782).

4. РАЗРАБОТКА СКВАЖИННОЙ АВТОНОМНОЙ ВИБРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ / Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р., Петина В.А. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 59-69.

*Опыт применения телеметрической системы для предупреждения столкновения стволов  
скважин на Самотлорском месторождении*

*Салимов Б.Ю.\* (МГРИ, salimovbakhtovar02@gmail.com),  
Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Наибольшее распространение получили ТС с проводным, гидравлическим, электромагнитным каналом связи.

Дальнейшая классификация телеметрических систем проводится по числу регистрируемых параметров, по числу точек регистрации, по принципу работы датчиков и т.д.

Любая телеметрическая система состоит, по существу, из пяти частей - источника информации, передатчика, канала связи, приемника и потребителя информации.

В последнее время с увеличением количества измеряемых параметров и требований совместимости аппаратного и программного обеспечения телеметрической системы, приборов интерпретации и обработки полученных параметров появились новые требования и классификация относительно поддержки оборудования ведущих производителей.

**Ключевые слова**

Телесистема, траектория скважины, направленное бурение.

**Теория**

Существующие каналы связи для передачи информации при геонавигации скважин [1]:

1. Геофизические исследования скважин (ГИС):

Это набор физических методов, которые используются для изучения горных пород вокруг скважин и между ними, а также для проверки состояния скважин. Методы геофизических исследований скважин делятся на два больших типа - каротаж и методы скважинной геофизики.

2. Скважинные телеметрические системы (наклонометрия, инклинометрия): используются для измерения угла наклона скважины и ее азимута. Это позволяет определить точное местоположение скважины и направление ее движения.

3. Скважинный каротажный кабель:

Используется для передачи данных между приборами в скважине и наземной станцией.

4. Гидродинамические исследования:

Позволяют изучать свойства пласта путем измерения давления и скорости потока флюида в скважине.

Методы использования телеметрических системы в основном задаются их конструктивными особенностями, условиями бурения конкретных скважин и квалификацией персонала сервисного предприятия.

**Применяемые телеметрические системы в месторождении**

**БТС-172 (Петротул)**

Телесистема БТС используется для работы с гидравлическими забойными двигателями в геологических условиях без магнитных аномалий. Данные передаются электромагнитным или беспроводным каналом связи. БТС-172 (рисунок 1) и БТС-210 — две модификации БТС, с номинальным наружным диаметром 172 мм и 210 мм соответственно [2].

БТС применяется при следующих операциях турбинного и роторного бурения:

- измерение параметров ствола скважины (зенитный угол, азимут) в статике и в динамике;
- ориентирование отклонителя для изменения зенитного угла и азимута ствола скважины;
- измерение естественного гамма излучения при наличии гамма модуля;
- измерение температуры;
- измерение вибрации.

**Таргет (Петротул)**

Модули инклинометрического комплекса направленного бурения «Таргет» [2] предназначены для измерения азимута и зенитного угла ствола, а также угла установки отклонителя бурового инструмента в горизонтальной или наклонно-направленной скважине. Принцип действия модулей состоит из измерений в трех направлениях с помощью трех ортогонально установленных акселерометров в скважине, значений проекций вектора силы тяжести на ось чувствительности акселерометра, а также измерений в трех направлениях с помощью трех феррозондов, проекций вектора напряженности естественного магнитного поля Земли на ось чувствительности [3]. Эти измерения используются для определения зенитного и азимутального углов скважины, а также угла установки отклонителя.

В комплексе направленного бурения «Таргет» информация передается с модулей по внутренним проводам, а затем по электромагнитному или импульсно-гидравлическому каналу связи на поверхность комплекса.

### **Компас (Буринтех)**

В основу конструкции скважинного прибора телеметрических систем с гидравлическим каналом связи «Компас» положены 6 основных взаимозаменяемых модулей:

- передающий модуль (пульсатор);
- батарейный модуль;
- модуль гамма-каротажа;
- навигационный модуль (инклинометр);
- соединительные модули (центраторы).

Основными преимуществами телесистемы являются:

- извлекаемость забойных модулей в случае проведения аварийных работ;
- низкое энергопотребление, что обеспечивает максимальный срок службы батарейных элементов (от 300 до 400 часов работы в режиме циркуляции);
- небольшая продолжительность полного технического обслуживания (3 часа) благодаря применению современных материалов и технологий, минимальные затраты на ремонт и обслуживание;
- работа при высоком содержании кольматирующих добавок (до 112,5кг/м<sup>3</sup>) и песка (до 1,5%);
- настройка амплитуды создаваемого импульса с помощью выбора клапанной пары в широком диапазоне расхода от 3 до 75 л/с [4].

Принципиальным преимуществом данной системы является то, что в конструкции скважинного прибора заложены идентичные модули системы с гидравлическим каналом связи за исключением передающего (пульсатора).

### **СлимПалс (Шлюмберже)**

Измерения гамма-каротажа, положения отклонителя и зенитного угла в процессе бурения Прибор СлимПалс измеряет ударные нагрузки, положение отклонителя, азимут, зенитный угол и гамма-каротаж на КНБК [2].

Преимущества гидравлического канала связи включают сильный сигнал передачи, высокую скорость передачи данных и способность самовысвобождения модулятора сигнала из состояния «заклинивания».

Эти преимущества гарантируют, что сигнал передается надежно в сложных геологических условиях.

Телесистема, которая может быть извлечена, снижает риск потери оборудования в скважине. Одним из основных преимуществ является возможность удаления телесистемы с помощью кабеля в случае аварии.

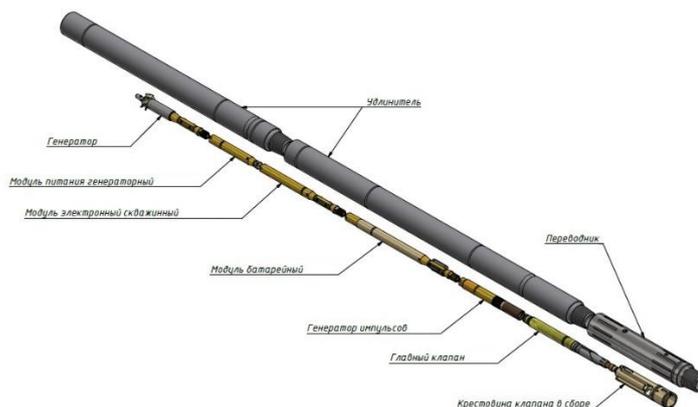


Рисунок 1. Общий вид телеметрическую систему BTC-172-50

### **Выводы**

Проведен сравнительный анализ показателей бурения скважин с применением различных технологий проводки скважин. Исходя из анализа опыта строительства скважин в регионе с различными геолого-техническими условиями бурения, целесообразно использовать телеметрическую систему BTC-172-50 (175мм).

Аппаратура бескабельная телеметрическая скважинная BTC-172-50 (далее -аппаратура BTC) предназначена для измерений зенитных углов, азимутов скважин и углов установки отклонителя бура в процессе оперативного управления траекторией бурения скважин.

### **Библиография**

1. Т. О. Акбулатов, Р. Х. Санников, В. М. Шенбергер. Технология бурения нефтяных и газовых скважин/ под общ. ред. В. П. Овчинникова. Тюмень: ТИУ, 2017
2. А.Д. Мальнова. Анализ рисков и предупреждение пересечение стволов скважин на примере существующего месторождения. Тюмень: ТИУ, 2018
3. П.В. Овчинников, А.С. Сырчина. Направления совершенствования конструкций, технологий бурения и заканчивания скважин. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 5. С. 22-32
4. Л. М. Левинсон, Ф. Мухаметов. Управление искривлением наклонно-направленных и горизонтальных скважин: Учебное пособие. Уфимский государственный нефтяной технический университет. 2019 г.

*Регулирование свойств, облегченных тампонажного раствора  
Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Для обеспечения качественного сцепления тампонажного камня с горной породой необходимо качественно следить за регулированием свойств цементного раствора, особенно в интервалах аномально-низких пластовых давлений (АНПД). Аномально-низкие пластовые давление вызывают повышенные трудности в процессе цементирования и влияет на качество процесса.

В связи с этим актуальной является проблема разработки такой рецептуры облегченного тампонажного раствора, который будет обладать низкой плотностью с устойчивыми к действию скважинных давлений и температур добавками, а также иметь низкий показатель фильтрации.

**Ключевые слова**

Цементирование скважин, микросферы, облегченная минеральная добавка.

**Теория**

Сложные горно-геологические условия предполагают, что цементирование может проводиться в горных породах с аномально-низким пластовым давлением, что в свою очередь требует применения облегченных тампонажных растворов и оправдывается с экономической точки зрения. При этом современные рецептуры таких тампонажных растворах основаны на применении традиционных облегчающих наполнителей и высоком водоцементном отношении.

Тампонажный раствор – гетерогенная дисперсная система, которая с течением времени способна переходить из жидкообразного состояния в твердое как на воздухе, так и в жидкой среде. Тампонажные растворы состоят из специально подобранных реагентов или их смесей и применяются для заполнения заколонного пространства скважины. С течением времени происходит твердение и упрочнение раствора, в результате чего образуется тампонажный камень.

Основное назначение облегченных тампонажных растворов – цементирование обсадных колонн скважин в горных породах с низкими градиентами гидроразрыва и в поглощающих горизонтах, а также с целью облегчения прокачки столба тампонажной смеси до заданной высоты. Кроме того, данные растворы применяются для снижения затрат на цементирование скважины за счет экономии высококачественного тампонажного цемента.

Существуют различные подходы для снижения плотности тампонажной смеси:

- Замена части или всей жидкости затворения жидкостью меньшей плотности;
- Замена всего или части вяжущего вещества вяжущим веществом меньшей плотности;
- Замена всей или части добавки добавкой меньшей плотности; части вяжущего вещества специальной добавкой, обладающей меньшей по сравнению с ним плотностью;
- Замена объема твердых и жидких фаз газообразной фазой [1].

В.Ф. Горский [2] предложил перед затворением портландцемента диспергировать водную суспензию палыгорскита с целью выравнивания параметров вязкости, и после затворения цемента дополнительно диспергировать смесь под давлением. Данный способ позволяет уменьшить концентрацию добавки до 10 раз. Дополнительно происходит увеличение гидратации, а также увеличение свойств полученного камня, таких как прочность, его плотность и уменьшение усадочных свойств. Метод позволяет получать тампонажный раствор с плотностями 1,3-1,7 г/см<sup>3</sup>. Другие авторы предлагают в качестве добавки, содержащей глину мелкогранулированный материал – МГГМ. Он получается методом высокотемпературной сушки глинистых буровых растворов с соотношением ингредиентов по массовой доле: МГГМ 10-35%,

портландцемент 65-90%. Данный метод дает возможность получать растворы плотностью 1,39-1,6 г/см<sup>3</sup>.

Исследования показывают, что при плотности выше 1,55 г/см<sup>3</sup> растворы имеют низкую растекаемость, а при меньшей плотности увеличивается показатель фильтрации. Для уменьшения показателя фильтрации становится невозможно вводить большое количество глины для связывания свободной воды, поскольку это будет приводить к значительному ухудшению физикомеханических свойств получаемого тампонажного раствора и камня. При этом при низких температурах сроки схватывания удлиняются, а при снижении плотности прочность гельцементного камня уменьшается [5].

В работе И.Белей, Н.Щербича, В.Штоля, Н.Долгушиной авторы рассматривают в качестве базового облегченного тампонажного раствора применением раствора портландцемента и облегчающих добавок в форме микросфер. Среди различных вариантов выделяются стеклянные и керамические микросферы, микросферы, полученные при использовании полимерных цепей, алюмосиликатные полые микросферы, а также микросферы, получаемые за счет переработки зол. В качестве их достоинств отмечается высокая степень облегчения раствора с низким водоцементным отношением, и как следствие, получение тампонажного камня с требуемыми прочностными характеристиками. При этом с использованием данных облегчающих добавок в условиях ММП решается проблемы быстрого формирования цементного камня с достаточной прочностью.

Недостатками данных микросфер является низкая прочность их оболочек. При действующем в скважине давлении 20-40 МПа наблюдается частичное разрушение микросфер в количестве 30-50% от их первоначальной массовой концентрации. Под разрушением в данном случае понимается не только схлопывание микросфер с уменьшением их объема и разделением на более мелкие частицы, но и нарушение сплошности оболочек за счет развития микротрещин, через которые внутрь может проникать жидкость затворения под действием избыточного давления. Это приводит к увеличению веса облегчающей добавки, в результате чего под действием силы тяжести она осаждается, и наблюдается уменьшение объема тампонажной смеси и последующий рост его плотности. Соответственно, помимо увеличения плотности тампонажного раствора, происходит уменьшение площади свободных 27 поверхностей микросфер, из-за чего часть жидкости затворения перестает быть связанной и становится подтверждена фильтрации в статических и динамических условиях.

По этой причине авторы И.Белей, Н.Щербича, В.Штоля, Н.Долгушиной в своей работе исследуют комплексную облегчающую добавку КОД-1. К ее достоинствам относится меньшая сжимаемость при высоких перепадах давления, снижение показателя водоотделения в 1,5-2 раза по сравнению с растворами с микросферами, повышается качество цементирования скважины. В частности, удалось добиться жесткого контакта в открытом стволе и частичного контакта в межколонном пространстве по сравнению со слабым и отсутствующим контактом для облегченных тампонажных растворов на основе микросфер [3].

В настоящее время неразрешенным вопросом является подбор оптимальной добавки для получения облегченного тампонажного раствора при цементировании скважин в сложных горно-геологических условиях. С одной стороны, такой раствор должен обладать и сохранять в скважинных условиях необходимую плотность, растекаемость и вязкость, чтобы оставаться прокачиваемым при цементировании глубоких скважин с аномально-низкими пластовыми давлениями, с другой стороны, получаемый тампонажный камень должен обладать достаточной прочностью на сжатие и изгиб при эксплуатации скважины. С этой точки зрения можно рассматривать воздухововлекающую облегченную минеральную добавку, которая обладает низкой плотностью и высокой прочностью.

Облегченная минеральная добавка (ОМД) представляет собой микросферы с закрытой системой пор, размер которых составляет от 10 мкм до 350 мкм, при этом средний диаметр частиц 180 мкм. Используется для получения облегченных тампонажных цементов плотностью 1000 -

1700 кг/м<sup>3</sup> в скважинах 31 с температурами до 75°C и в условиях многолетнемерзлых горных пород.

Производителем рекомендуется использовать ОМД вместе с полимерными реагентами для получения требуемых параметров тампонажной смеси. К достоинствам можно отнести низкую насыпную плотность, инертность, высокую механическую прочность, низкую теплопроводность. Это говорит о том, что облегченная минеральная добавка может применяться при цементировании глубоких скважин без риска ее разрушения с последующим ростом плотности раствора. Химический состав добавки в процентах по весу представляет собой: SiO<sub>2</sub>–76%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–17%, (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) – 6%.

Свойства облегченной минеральной добавки представлены ниже:

- Насыпная плотность: 50-80 кг/м<sup>3</sup> (Истинная плотность ~ 150 кг/м<sup>3</sup>);
- Изостатическая прочность в воде при 100°C: 20% разрушения при давлении 40,0 МПа;
- Кислотность водной вытяжки: нейтральная pH 6-7;
- Теплопроводность: 0,04 Вт/(м\*К);
- Водопоглощение, % по объёму: не более 70;
- Водопроницаемость: 25% в течение 200 часов;
- Смешиваемость в тампонажном цементе: хорошая;
- Нетоксичный материал [3].

Изображение ОМД под микроскопом представлено на рисунке 1 [4]:

Полые пузырьки образуются при вовлечении воздуха, которые без работы воздухововлекающей добавки в своем большинстве разрушаются из-за действия сил поверхностного натяжения жидкости затворения.

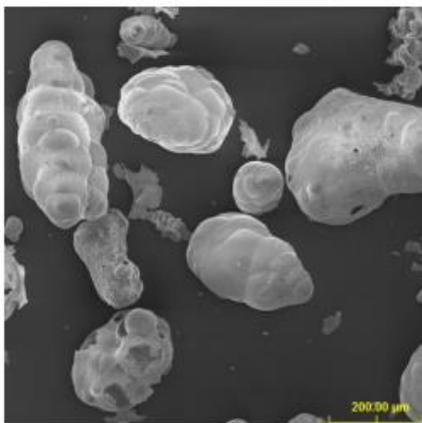


Рисунок 1. Изображение облегченной минеральной добавки под микроскопом [4]

В свою очередь добавка снижает поверхностное натяжение и стабилизирует пузырьки, при этом внутренняя поверхность возникшей сферы действует как барьер для проникновения жидкости во время приготовления и закачки раствора

### **Выводы**

В настоящее время разработаны и исследованы различные рецептуры облегченных тампонажных растворов с применением облегчающих добавок, но все из них имеют существенные достоинства и недостатки. В целом облегчение тампонажных растворов происходит за счет использования двух факторов: ввод облегчающих добавок в качестве твердой фазы с низкой насыпной плотностью и увеличение водоцементного отношения за счет связывания свободной воды использованием большой площади поверхности этих добавок.

При этом разрабатываемые добавки в своем большинстве имеют низкую прочность на сжатие под действием скважинного давления, в результате чего происходит их схлопывание, расслоение или разрушение со значительным ростом плотности раствора. Данные факторы приводят к тому, что такие облегчающие добавки могут образовывать новые активные поверхности в результате расслоения, которые дополнительно будут связывать свободную воду, что будет приводить к уменьшению растекаемости и повышению вязкости раствора.

### **Библиография**

1. Гельцементные растворы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studref.com>
2. Данюшевский В.С. Справочное руководство по тампонажным материалам / В.С. Данюшевский, Р.М. Алиев, И.Ф. Толстых // М.: Недра, 1987. – 373 с.
3. Толкачев О.Л. Технические характеристики облегченной минеральной добавки. – М.: Сфера-НСК, 2018. – 2 с
4. Микросфера поликамерная. Облегчающая минеральная добавка ОМД-Х9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spb.tiu.ru>
5. Белей И.И. Разработка и применение новых облегченных тампонажных материалов для цементирования обсадных колонн при нормальных и умеренных температурах / И.И. Белей, Н.Е. Щербич, В.Ф. Штоль, Н.А. Долгушина // Бурение и нефть. – 2006. – с. 12–15.

*Влияние пульсирующего потока на силу трения*

*Тунгусов С.А.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), tungusovsa@mgri.ru)*

**Аннотация**

В работе рассматриваются силы, действующие на частицу шлама, находящуюся на наклонной стенке ствола скважины. Рассмотрено влияние пульсирующего потока на перераспределение сил, оказывающих влияние на движения шлама в пристенной зоне скважины. Сделан вывод о возможном снижении силы трения вследствие применения пульсаций жидкости при воздействии на шлам.

**Ключевые слова**

Пульсирующий поток, наклонная скважина, шлам, сила трения, коэффициент трения.

**Теория**

При геологоразведочном бурении все чаще скважины закладываются с начальным зенитным углом. В подобных скважинах, в отличие от вертикальных скважин, силы, действующие на частицу шлама, распределяются несколько иначе. Изменение зенитного угла скважины приводит к тому, что сила Архимеда и сила тяжести остаются разнонаправленными как в вертикальной скважине. Сила лобового сопротивления начинает менять свое направление вслед за изменением направления движения потока рисунок 1а. В случае горизонтального ствола скважины, сила лобового сопротивления становится направлена перпендикулярно силе Архимеда и силе тяжести. Результирующую силу, действующую на частицу шлама, можно найти из выражения 1.

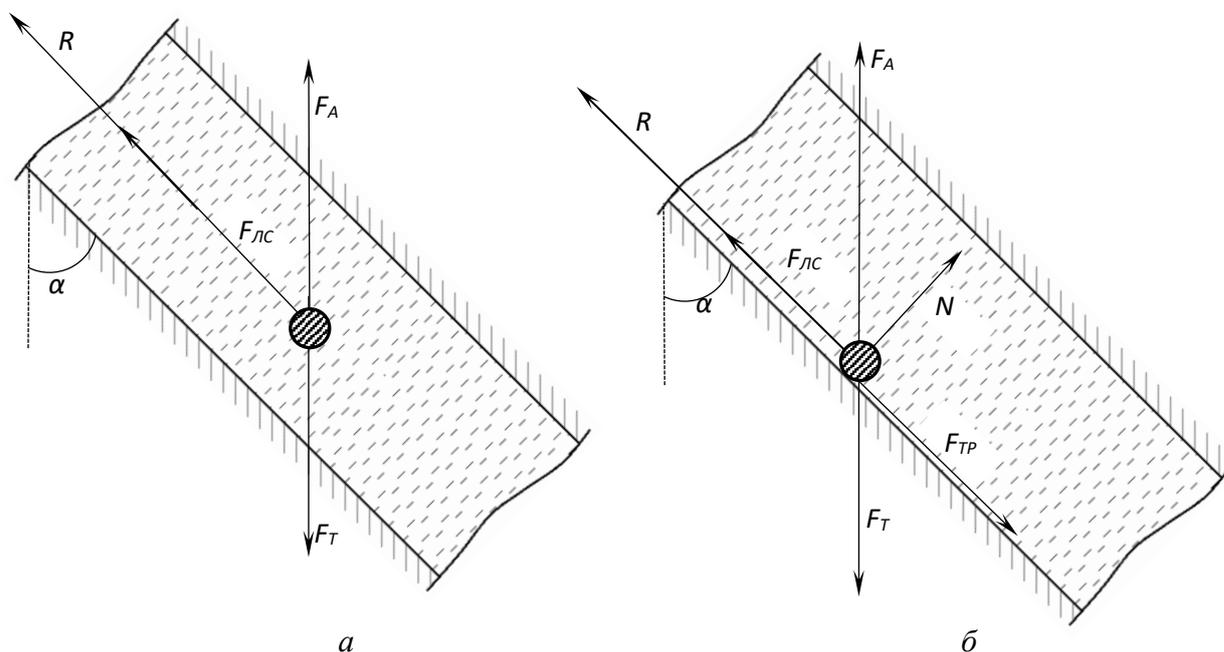


Рисунок 1. Силы, действующие на частицу, находящуюся в наклонном стволе скважины (поток направлен вверх)

$$R = F_T - F_A + F_{Лс} \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

Поскольку сила тяжести действует на частицу постоянно, то частица через определенный промежуток времени опустится вниз и ляжет на боковую стенку скважины рисунок 1б. [1] Для нахождения результирующей сил в этом случае выражение 1 можно представить в следующем виде.

$$R = F_T - F_A - F_{TP} \cdot \cos(\alpha) + F_{LC} \cdot \cos(\alpha) \quad (2)$$

В выражении 2 со знаком минус вошла сила трения  $F_{TP}$  которая препятствует движению частицы по стенке, затрудняя вынос шлама.

Как известно, силу трения можно найти из выражения (3)

$$F_{TP} = \mu \cdot N \quad (3)$$

Из выражения 3 видно, что для уменьшения силы трения необходимо уменьшить любой из сомножителей. Коэффициент трения зависит только от характеристики трущихся материалов. Стоит отметить, что для скважины, если, конечно, в качестве очистного агента не используется воздух (газ), характерно трение со смазкой, в качестве которой выступает буровой раствор. Таким образом на коэффициент трения можно повлиять внесением смазывающих добавок в буровой раствор. Вторым подходом к снижению силы трения может служить уменьшение силы прижатия частицы к стенке скважины, т.е. уменьшение реакции опоры  $N$ . В технике хорошо известен прием уменьшения силы трения за счет применения вибрации. Например, подача сыпучих материалов по наклонным желобам или вибрационная сортировка. [2] Понятно, что стенки скважины «трясти» не удастся. Следовательно, необходимо воздействовать на частицу шлама другим образом. Одна из возможностей такого воздействия заключается в применении пульсационных воздействия потока промывочной жидкости на частицу шлама. Применение пульсирующего потока с этой целью может стать перспективным направлением.

Рассмотрим частицу, лежащую на стенке скважины, для простоты, пока на горизонтальной, на которую действует пульсирующей поток. При действии пульсирующего потока на частицу начинает действовать сила лобового сопротивления, но не постоянная, как в случае равномерного движения потока, а изменяющаяся. При этом стоит отметить, что часть силы лобового сопротивления  $F_{LC}$  будет действовать постоянно в силу инертности движения потока. Таким образом разложим силу лобового сопротивления на две силы, одна останется постоянной составляющей  $F_{LC}$ . Другую назовем пульсирующей и обозначим  $P_{LC}$

Пусть сила  $P_{LC}$  будет меняться по простейшей функции  $P_{LC} = P_{LC0} \sin \omega t$ . Такие колебания в технике реализовать много проще, чем, например тот же меандр. Теперь для того, чтобы тело начало свое движение результирующая всех сил  $R$  должна преодолеть силу трения. Вектора сил, действующих на частицу представлены на рисунке 2. Результирующая  $R$  может быть определена по выражению 4.

$$R = F_{LC} + P_{LC0} \sin \omega t - \mu \cdot (F_T - F_A) \quad (4)$$

Говоря о том, что добавляется некая сила  $P_{LC}$ , обычно принято вводить, так называемый «кажущийся» коэффициент трения [3]. Вспоминая о том, что коэффициент трения есть тангенс предельного угла наклона плоскости, на которой тело еще покоится, коэффициент «кажущегося» трения  $\mu_k$  можно найти из выражения 5.

$$\mu_k = \frac{R}{N} = \mu_k - \frac{P_{LC0}}{N} \quad (5)$$

Где  $N$  есть реакция опоры, в нашем случае  $N = F_T - F_A$

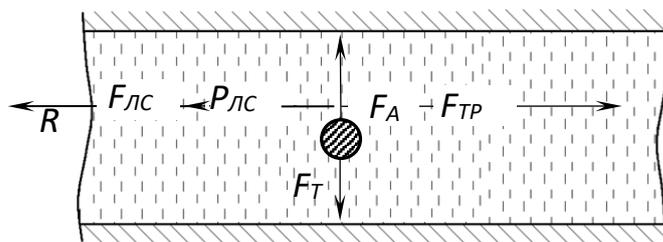


Рисунок 2. Силы, действующие на частицу, находящуюся в пульсирующем потоке (поток направлен влево)

Соответственно, если составляющая  $P_{ЛС0}$  будет равна 0 то коэффициент «кажущегося» трения станет равен коэффициенту трения. Такой подход наглядно показывает, тот факт, что коэффициент трения не изменяется. В действительности меняется перераспределение сил. При использовании вибрации (пульсации потока) возникает дополнительная сила  $P_{ЛС}$ , которая в действительности и способствует лучшему удалению частиц шлама. Следует также отметить, что сила  $P_{ЛС}$  знакопеременна, т.е. не стационарна. Как известно подобные знакопеременные нагрузки довольно эффективно показывают себя при необходимости удаления тела из какой-либо застойной зоны [4]. Здесь можно привести пример с буксующим автомобилем, который зачастую стремятся освободить «в раскачку».

### **Выводы**

Опускание частицы шлама в наклонной скважине на стенку приводит к возникновению силы трения.

Уменьшение силы трения частицы о стенку скважины возможно путем применения вибрации.

### **Библиография**

1. Гукасов Н.А. Прикладная гидродинамика в бурении. М.: Недра, 1999
2. Федоренко И.Я., Сабиев У.К. Особенности проявления эффективного снижения трения в лотковых вибрационных дозаторах // Вестник алтайского государственного аграрного университета, 2011. № 6 (80) Стр. 82-85.
3. Блехман И.И. Вибрационная механика М.: Физматлит, 1994.
4. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. – М.: Наука, 1987.

*Анализ и выбор роторно-управляемых систем для бурения горизонтальных скважин на  
шельфе Охотского моря*

*Ходак Е.Е.\* (МГРИ, hodakee@mgi.ru),  
Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)*

**Аннотация**

В настоящее время для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов активно применяются rotary steerable system (RSS) – роторно-управляемые системы (РУС), в которых разрушение горной породы осуществляется вращением долота с бурильной колонной верхним приводом буровой установки или ротором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей и РУС.

**Ключевые слова**

Роторно-управляемые системы, бурение, технологии.

**Теория**

Системы РУС позволяют успешно бурить скважины с плавными и горизонтальными профилями благодаря отсутствию изгибов ствола, как это бывает при использовании традиционных систем бурения. Данные системы являются наиболее совершенными, а в сочетании с системами телеметрии и геонавигации превратились в совершенные средства дистанционного управления направлением буримых скважин. Возможности этих систем впечатляют: при высочайшей точности ( $\pm 0,1^\circ$ ) и оперативности данные системы способны осуществлять бурение скважин любой ориентации непрерывными рейсами, протяженность которых может составлять более 1000 м [1]. Более высокая проходка с постоянным вращением бурильной колонны уменьшает вероятность прихвата бурильного инструмента, сокращает время очистки ствола от выбуренной породы и обеспечивает более качественное вскрытие продуктивных горизонтов (рис. 1).



Рисунок 1. Сравнение качества ствола скважины, построенного по данным каверномера: а – забойный двигатель с кривым переводником; б – РУС

Применение РУС позволяет бурить горизонтальные стволы протяженностью свыше 10 километров, так как непрерывное вращение бурильной колонны уменьшает риск её зашламованности и обеспечивает более высокую проходимость колонны по горизонтальному стволу [3]. Различают три типа РУС: реализующие механизм фрезерования стенки (push-the-bit), реализующие механизм ассиметричного разрушения забоя вследствие перекоса долота (point-the-bit), а также РУС, совмещающие оба механизма.

Система (push-the-bit) предполагает набор кривизны фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия. В системе с отклонением долота отклоняющая сила на долоте  $P_{от}$  появляется в результате выдвижения лопаток 1, осуществляющих давление на стенку скважины с усилием  $P_p$  (рис. 2).

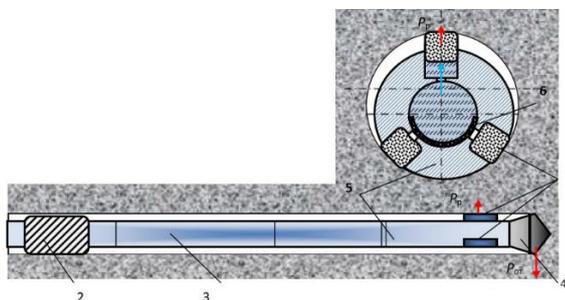


Рисунок 2. Схема роторно-управляемой системы с отклонением долота: 1 – выдвижные лопатки; 2 – стабилизатор; 3 – блок управления; 4 – долото; 5 – блок отклонения; 6 – заслонка

В системе РУС с изменением направления перекоса или позиционирования долота (point-the-bit) используются механизм управления с эксцентриковой втулкой (рис. 3). Эксцентриковая втулка имеет возможность поворота как вокруг собственной оси в направлении  $\eta$ , так и вокруг оси корпуса-статора РУС в направлении  $\tau$ . Вал-ротор РУС, на котором установлено долото, вращается внутри эксцентриковой втулки с частотой  $\omega$ . Эксцентриковая втулка имеет возможность поворота как вокруг собственной оси в направлении  $\eta$ , так и вокруг оси корпуса-статора РУС в направлении  $\tau$ . Вал-ротор РУС, на котором установлено долото, вращается внутри эксцентриковой втулки с частотой  $\omega$ .

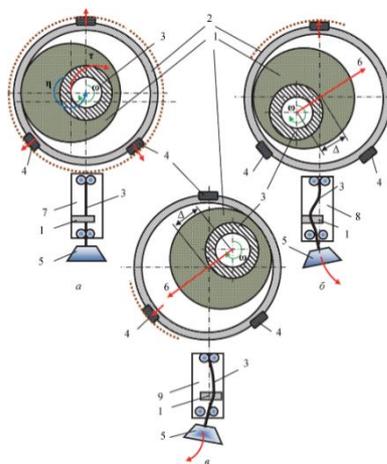


Рисунок 3. Схема работы РУС с позиционированием долота: а – положение системы, определяющей прямолинейное направление бурения; б, в – положения системы, определяющей изменение направления бурения; 1 – эксцентриковая втулка; 2 – корпус – статор; 3 – вал – ротор; 4 – выдвижные плашки; 5 – долото; 6 – направление искривления скважины; 7 – схема РУС при прямолинейном бурении; 8, 9 – схемы РУС при изменении направления бурения

Шельф Охотского моря характеризуется наличием верхней части разреза песчано-глинистых отложений с многочисленными аномалиями приповерхностного газа. Эти аномалии вносят существенную погрешность в определении глубины залегания продуктивных горизонтов, создают высокий риск выбросов приповерхностного газа при бурении, а также конструктивных

решений при строительстве скважин. В этой связи возникает необходимость использовать особые технологий строительства скважин.

Компания ООО НПП «БУРИНТЕХ» в рамках реализации отраслевой стратегии альтернативного замещения в части высокотехнологичных сервисов при бурении создала первую отечественную роторно-управляемую систему, основанную на гидромеханическом принципе. Концепция отклонения долота от оси забоя скважины point-the-bit и система имеют два рабочих режима. «Буринтех» использует для преобразования гидравлической энергии жидкости простейшие компоненты – гидравлические редукторы, пружины, муфты и так далее. В ситуации, когда отсутствует какая-либо забойная электроника, для изменения режима работы или параметров кривизны, необходимо производить эти манипуляции в ручную [2]. Во время испытаний в 2020 году на Южно-Приобском месторождении ООО «Газпромнефть-Хантос» был пробурен наклонно-направленный участок скважины с горизонтальным окончанием. Проходка за рейс составила 1920 м (1560–3480 м). Весь интервал пробурен за один рейс, с набором зенитного угла до 85,75 градуса. РУС-ГМ-195 предназначена для управляемого бурения роторным способом наклонно-направленных и горизонтальных скважин, диаметром долот от 220,7 до 222,3 мм с максимальной пространственной интенсивностью искривления ствола скважины 2,5° на 10 м проходки.

Роторно-управляемая система Revolution компании «Weatherford» обеспечивает точное бурение в скважинах с большим отходом от вертикали с использованием технологии point-the-bit. Короткая компактная конструкция снижает сложность технологии роторно – управляемой системы и позволяет разместить наддолотный модуль вблизи долота. На проекте бурения шести скважин на месторождении Игл Форд в штате Техас (США) система Revolution достигла средней скорости проходки 55 м/ч и поставила рекорд в 69 м/ч, сократив цикл бурения на две недели.

«Schlumberger» представляет широкий выбор РУС для различных геологических условий и решаемых задач. РУС PowerDrive X6 разработана для полного контроля наклонно-направленного бурения при вращении бурильной колонны (рис. 4). Комплект трехосных датчиков обеспечивает быстрое и точное управление направлением в автоматическом или ручном режиме работы. Дополнительный азимутальный датчик гамма-излучения обеспечивает быструю реакцию на изменения в пласте. Вращение всех элементов КНБК и бурильной колонны приводит к сокращению случаев возникновения затяжек, увеличению скорости проходки, сокращается риск прихвата и достигается превосходная очистка ствола.



Рисунок 4. Расположение отклоняющих лопаток в компоновке низа буровой колонны роторной управляемой системы «Push-the-Bit» PowerDrive X6

Государственная нефтяная компания республики Азербайджан (SOCAR) вела бурение скважины J-образного профиля на морском месторождении Булла-Дениз в Азербайджане. Особенности литологии разрабатываемого пласта ранее приводили к замедлению механической скорости проходки до 1 м/ч во время бурения интервала от 4800 глубины по стволу до проектной глубины. Другая трудность заключалась в необходимости использования раствора высокой плотности 2,10-2,13 г/см<sup>3</sup>. Во время бурения данной длинной секции требовалось повернуть траекторию ствола скважины до проектного азимута закрытия 320° с набором от угла 11° до 25°, а затем падением до 19° во время поворота азимута с 300° до 340°. Секция была закончена с максимальной эффективностью бурения и без непроводительного времени, прихватов труб или отказа инструмента (рис. 5). Роторная управляемая система PowerDrive X6 обеспечила

надежную работу в течение 668 часов суммарного времени циркуляции, что является рекордом по продолжительности времени работы данной системы [4].

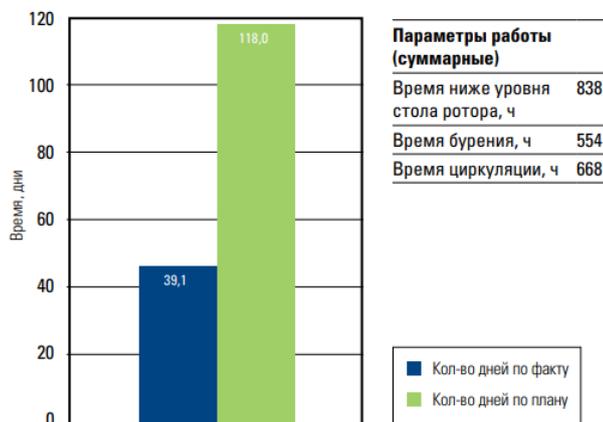


Рисунок 5. График сокращения времени бурения при внедрении PowerDrive X6

### Выводы

Основные критерии выбора систем бурения – механическая скорость проходки, реализация искривления в соответствии с проектом, качество ствола скважины и стоимость оборудования. Известна информация только об испытаниях РУС-ГМ-195, но не о применении в промышленных масштабах. РУС Revolution Weatherford имеет более высокую стоимость за 24 часа циркуляции, сравнительно других РУС. Например, стоимость суток циркуляции PowerDrive X6 475 – 1,8 млн. рублей, а для Revolution 675 – 2,3 млн. рублей. Учитывая стоимость, надежность оборудования и высокие показатели качества пройденного ствола скважины РУС PowerDrive X6 компании «Schlumberger» целесообразно использовать для бурения на шельфе Охотского моря.

### Библиография

1. Епихин А. В., Жиронкин В. С., Яночки Ю. ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОК НА НАДЕЖНОСТЬ РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ ТИПА «PUSH-THE-BIT» //Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2020. – №. 3 (139). – С. 45-57.
2. Закарян А. В. Применение отечественных разработок роторно-управляемых систем //ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА Учредители: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна". – 2022. – С. 23-26.
3. Компания «Шлюмберже» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.slb.ru/> (Дата обращения: 01.03.2024).
4. Осипов Ю. В. и др. Применение роторных управляемых систем для бурения //Проблемы науки. – 2017. – №. 10 (23). – С. 52-54.

**Обоснование выбора рациональной рецептуры бурового раствора для бурения горизонтальных скважин в акватории Охотского моря**

**Чуева А.С.\* (МГРИ, alyachueva@gmail.com),**

**Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)**

**Аннотация**

К буровым растворам, применяемым для бурения горизонтальных скважин, предъявляются достаточно высокие требования. Проектирование современной системы очистки горизонтальной скважины должно включать проектирование реологических свойств промывочной жидкости и технологии промывки таким образом, чтобы обеспечивалась высокая скорость бурения без применения дополнительных средств очистки или других способов ликвидации осложнений.

**Ключевые слова**

Буровые растворы, горизонтальное бурение, вынос шлама.

**Теория**

Анализ реологических показателей бурового раствора показал, что наилучшая корреляция между объемом шлама в затрубье при установившемся режиме течения и показаниями вискозиметра достигается при малых скоростях сдвига. Это относится к показаниям при 6 и 3 об/мин и начальной прочности геля. Коэффициент корреляции от 0,9 до 0,95 [1, с 15].

При углах наклона 45° [2, с 109] увеличение значений этих параметров улучшало вынос шлама, т.е. уменьшался объем шлама в затрубье. То же наблюдалось при углах, близких к 90 [2, с 119] градусам, но при ламинарном режиме течения.

С увеличением зенитного угла вынос шлама затрудняется. Уже при углах 40 – 50° [2] возникают сложности с очисткой ствола скважины. При зенитных углах до 45° [2] шлам выносится эффективнее при ламинарном режиме течения. Транспортировка улучшается при повышении реологических свойств, особенно динамического напряжения сдвигах. Турбулентный режим предпочтителен при углах, близких к 90 градусам. При турбулентном режиме реология раствора оказывает незначительное влияние на транспортировку шлама.

В таблице 1 представлены свойства буровых растворов, применяемых при строительстве Лунского месторождения (Сахалинская область).

Таблица 1

Свойства буровых растворов

MD, m	плотность, SG	Пласт вязк, сР	Пред напряж сдвига, lbf/100ft <sup>2</sup>	6 RPM	НТНР, ml	OWR, %	ES, volts	WPS, mg/L	LGS %	Tau 0, lbf/100ft <sup>2</sup>
<b>ENVIROMUL</b>										
175-375	1.05-1.06	18-28	20-30	10-14	<4	70-80	>400	140-190	<5	8-12
375-1245	1.13-1.20	25-35	20-30	10-14	<4	70-80	>400	140-190	<5	8-12
1245-3780	1.37-1.40	25-40	20-30	14-17	<4	70-80	>400	140-235	<5	8-12
<b>BaraECD</b>										

3780-8046	1.35	20-30	20-30	12-14	<4	70-80	>400	190-235	<5	9-12
-----------	------	-------	-------	-------	----	-------	------	---------	----	------

**Применяемые буровые растворы на Лунском месторождении компанией «Бурсервис»**

В таблице 2 представлены реагенты, используемые для бурения интервалов от 175 до 3780 метров.

Таблица 2

Описание реагентов для раствора ENVIROMUL, используемого на интервалах 175-3780 м

Реагент	Описание	Концентрация, Kg/m <sup>3</sup> (ppb)
<b>Saraline 185V</b>	Базовая жидкость	<b>507 (230)</b>
<b>EZ MUL NTR</b>	Эмульгатор	<b>22.8 (8)</b>
<b>Lime</b>	Источник щелочности	<b>11.4 (4)</b>
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Источник солености	<b>57 (20)</b>
<b>GELTONE II</b>	Модификатор реологии	<b>11.4 (4)</b>
<b>DURATONE HT</b>	Контроль фильтрации	<b>22.8 (8)</b>
<b>BaraFLC® IE-513</b>	Контроль фильтрации	<b>2.85 (1)</b>
<b>RM-63</b>	Модификатор реологии	<b>2.13 (0.75)</b>
<b>BAROID</b>	Утяжелитель	<b>295 (103)</b>
<b>Water</b>		<b>257 (90)</b>

Описание реагентов для раствора BaraECD, используемого на интервалах 3780-8046 м

Реагент	Описание	Концентрация, Kg/m <sup>3</sup> (ppb)
<b>Saraline 185V</b>	Базовая жидкость	<b>459 (161)</b>
<b>BaraMul® IE-672</b>	Эмульгатор	<b>34.2 (12)</b>
<b>Lime</b>	Источник щелочности	<b>5.7 (2)</b>
<b>Water</b>		<b>195 (68.25)</b>
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Источник солености	<b>66.4 (23.3)</b>
<b>BaraFLC® IE-513</b>	Контроль фильтрации	<b>5.7 (2)</b>
<b>Suspension Package II</b>	Суспендирующий агент	<b>62.7 (22)</b>
<b>BaraVis® IE-568</b>	Вискозитор (низкая реология)	<b>7.10(2.5)</b>
<b>TAU MOD®</b>	Вискозификатор	<b>2.85 (1)</b>
<b>BARITE</b>	Утяжелитель	<b>499 (175)</b>

На рис. 1 показана шламовая постель, формирующаяся в кольцевом пространстве с высокой кривизной.

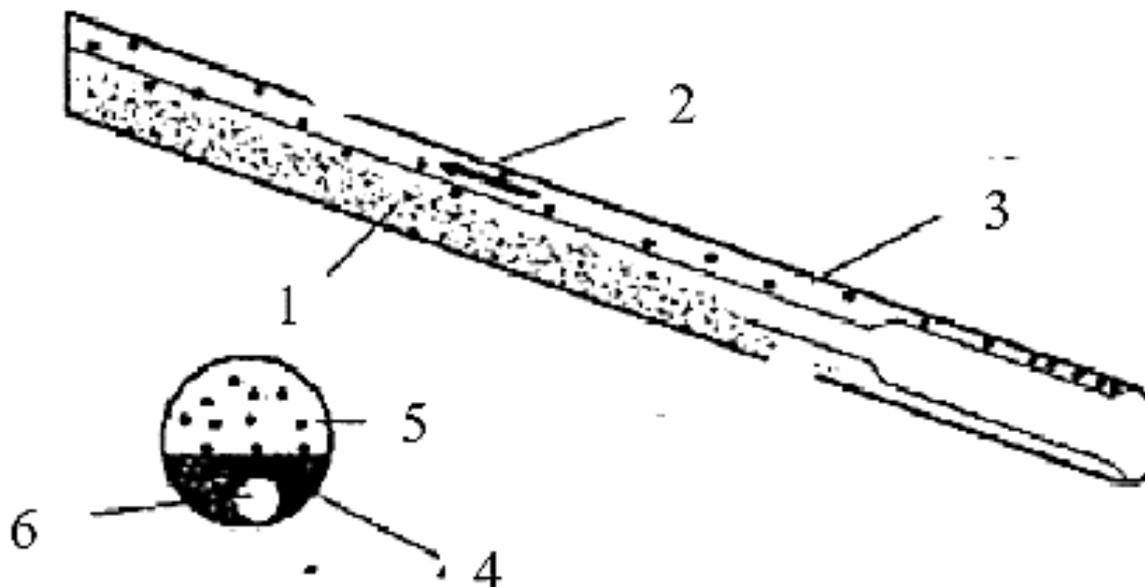


Рисунок 1. Формирование «шламовой постели» при бурении наклонно-направленной скважины. 1 – «шламовая постель»; 2 – течение раствора; 3 – выбуренная порода; 4 – «шламовая постель»; 5 – выбуренная порода; 6 – буровая труба

Скопления шлама могут быть трудно размываемыми, поэтому свойствам раствора и мероприятиям в буровой практике, которые минимизируют их формирование, должно придаваться особое значение. «Шламовые постели», формирующиеся в горизонтальных скважинах, могут приобретать широкий диапазон характеристик, которые сильно воздействуют на технологию очистки скважины. Например, чистый песок, выбуриваемый чистым раствором, будет формировать неконсолидированные шламовые скопления, которые имеют тенденцию скатываться быстрее, чем сползать вниз, и способствуют гидравлической и механической эрозии.

Активные сланцы, разбураемые на растворах на водной основе, могут формировать толстые, подобные фильтрационной корке «постели», которые очень тяжело удаляются без агрессивного гидродинамического и механического воздействия.

### **Выводы**

Основным мероприятием, способствующим поддержанию компонентного состава и показателей свойств буровых растворов при бурении скважин, является своевременная и качественная очистка раствора от выбуренной породы.

Очистка малоутяжелённых буровых растворов (плотность 1,4 – 1,6 г/см<sup>3</sup>) должна осуществляться виброситами, сито-гидроциклонными установками и центрифугой. При использовании утяжелённых буровых растворов их очистка должна осуществляться виброситом и центрифугой. При этом центрифуга используется в режиме регенерации утяжелителя и удаления из системы циркуляции тонкодисперсной выбуренной породы. Качество очистки бурового раствора зависит от эффективности каждой ступени очистки.

### **Библиография**

1. Кульчицкий В.В., Григашкин Г.А., Варламов С.Е. Комплекс оборудования для бурения горизонтальных и наклонно-направленных нефтяных и газовых скважин. - Основной ресурс. - 2005. - № 1.
2. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. - Оренбург: Летопись, 2005.
3. Технологическое руководство по буровым растворам для бурения горизонтальных скважин с большим углом отклонения компании M-1 Drilling Fluids.
4. Акбулатов, Т. О. Определение расчетного радиуса искривления при работе роторных управляемых систем (РУС) / Т. О. Акбулатов, Л. М. Левинсон, Р. А. Хасанов // Территория Нефтегаз. – 2007. – № 10. – С. 20–25.
5. Калинин А.Г., Кульчицкий В.В. Естественное и искусственное искривление скважин. - М.-Ижевск, 2006.

*Восстановление дебита эксплуатационных скважин с помощью центробежных  
виброгенераторов*

*Чурмантаев Д. Д.\* (МГРИ-РГГРУ, fnstrghost@gmail.com),  
Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru)*

**Аннотация**

Одно из важных мероприятий в процессе эксплуатации водозаборных скважин – восстановление дебита. Причиной снижения дебита скважин нередко является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, которая вызывает увеличение гидравлического сопротивления и снижение притока воды в скважины.

Совершенствование процесса восстановления гидрогеологических скважин с помощью центробежных виброгенераторов — это метод, который использует механическую силу вибрации для улучшения процесса восстановления скважин. Виброгенераторы используются для создания центробежных сил, которые раскачивают и вибрируют скважину, помогая разрушить и удалить накопленные отложения и пробки внутри скважины.

**Ключевые слова**

Восстановление дебита, водозаборная скважина, кольматация, виброгенератор, регенерация.

**Теория**

Относительно долгая эксплуатация скважин и плохие качественные показатели подземных вод, в основном высокая жесткость и степень минерализации, также неустойчивый режим эксплуатации скважины являются результатом осаждения солей и продуктов коррозии на поверхности фильтра и в порах прифильтровой зоны. Этот процесс является неизбежным, однако выше указанные факторы могут служить ускорителями процесса кольматации, что приводит к снижению дебита скважин [1].

Дебит водозаборных скважин является функцией многофакторных параметров, воздействие которых отражается на кольматации прифильтровой зоны скважины (ПЗС) и приводит к снижению эксплуатации продуктивного пласта. Деграция дебита скважины в конечном итоге приводит к строительству нового водозабора, что влечет дополнительные капитальные затраты и отражается на конечном продукте и услугах предприятия. Решение проблемы по поддержанию проектного дебита скважин заключается в профилактических мерах по активизации ПЗС различными методами регенерации [4].

Различают 3 вида кольматажа: механический (закупорка отверстий фильтра вследствие выноса из водоносного горизонта частиц пород); биохимический (отложение нерастворимых органических и неорганических соединений на элементах скважин в результате жизнедеятельности железистых, марганцевых и сульфатопродуцирующих бактерий, некоторых представителей высшей водной растительности); физико-химический (отложение на фильтре и прифильтрационной зоне химических соединений, переходящих из растворимых форм в нерастворимые, при изменении физико-химических условий в воде).

Высокая цена сооружения новых скважин вызвала необходимость разработки способов восстановления существующих скважин и регенерации фильтров и прифильтровых зон. Согласно Э.А. Морозову, выделяют следующие методы текущего ремонта скважин: гидродинамические, импульсные, реагентные и вибрационные. Область применения каждого из этих способов ограничена материалом, из которого изготовлен фильтр, и его конструкцией, видом водовмещающих и декольматируемых пород [2].

Большинство из представленных методов применимы только для капитального ремонта после кольматации фильтра.

В соответствии требованиями ВОЗ, предусматривается исключение из состава технологических процессов сооружения и эксплуатации скважин на воду материалов и реагентов ухудшающих качество питьевых вод.

Необходимо принять во внимание и тот фактор, что использование современных средств декольматажа водоносных горизонтов требует использования энергоемкого оборудования и осуществления монтажно-демонтажных операций насосно-компрессорных установок, что существенно удорожает работы, прерывает процесс эксплуатации скважин и повышает вероятность аварий технологического оборудования при выполнении различных установочных и спускоподъемных операций.

С учетом сказанного приобретают актуальность вопросы комплексного совершенствования технологий сооружения и эксплуатации скважин, исключающие или сводящие к минимуму противоречивость между увеличением межремонтных периодов и сложностью последующих обработок скважин с целью восстановления их дебита.

Идея работы заключается в разработке более совершенного, с экологической точки зрения, метода восстановления проницаемости призабойных зон скважин, повышения эффективности процесса освоения продуктивных горизонтов, увеличения срока службы водозаборных скважин, снижения себестоимости работ путем использования гидродинамических кавитационных колебаний жидкости, генерируемых специальным кавитационным устройством [3].

. Метод регенерации с помощью центробежного виброгенератора подразумевает использование механической силы вибрации для улучшения процесса восстановления скважины. Приводом гидродинамического генератора служит погружной насос (рис. 1).

Метод профилактического восстановления дебита водозаборных скважин не получил широкого практического применения, однако, с совершенствованием технологий и разработкой новых материалов, данный способ вновь обретает актуальность. Основным преимуществом профилактических работ по восстановлению дебита является экономия средств недропользователя. При капитальном ремонте скважин для устранения кольматации в скважине необходимо провести полный комплекс спускоподъемных операций и применять специальные технологические средства.

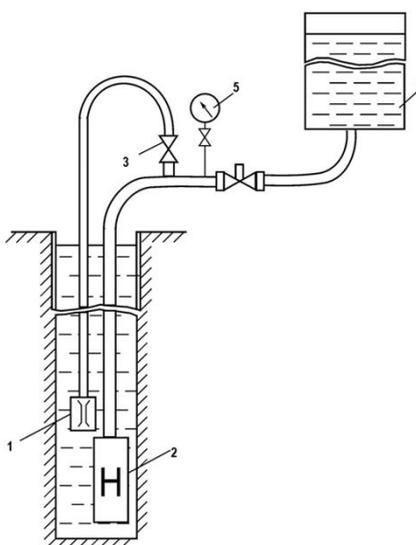


Рисунок 1. Схема размещения оборудования и инструмента на поверхности и в скважине для ее отработки вибратором с приводом от погружного насоса (по Меламеду Ю.А. и Киселеву А.Т.)  
1-кавитационный генератор; 2-погружной насос; 3-кран; 4-бак; 5-манометр [5]

Виброгенераторы используются для создания центробежных сил, которые раскачивают и вибрируют скважину, помогая разрушить и удалить накопленные отложения и пробки внутри скважины.

У данного метода восстановления дебита скважины есть ряд преимуществ:

Во-первых, он может улучшить производительность скважины, позволяя большему количеству продукта пройти через открытый поток воды.

Во-вторых, использование виброгенераторов может сократить затраты на обслуживание скважин, так как внутренние отложения и пробки могут быть удалены без необходимости дополнительных химических или механических методов.

В-третьих, этот метод также может улучшить качество воды, обеспечивая более чистый и проточный поток.

Однако, как и любая технология, этот метод также имеет свои ограничения и осложнения. Например, необходимо тщательно контролировать мощность и частоту вибрации, чтобы избежать повреждения стенок скважины или окружающей гидрогеологии. Также важно учитывать особенности каждой конкретной скважины перед применением виброгенераторов, поскольку различные грунтовые условия и гидрогеологические характеристики могут потребовать индивидуального подхода.

### **Выводы**

Причиной снижения производительности скважин является кольматация и для ее устранения нужно производить регенерацию скважины. С точки зрения экономии финансовых средств недропользователя вместо капитального ремонта скважины выгоднее производить профилактические работы с помощью центробежного виброгенератора с приводом от погружного насоса.

### **Библиография**

1. Исследования по восстановлению дебита водозаборных скважин в природных условиях// *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* Гадаев А.Н. [и др.]. 2021. 10(91). – 28 стр.
2. Методы восстановления дебита водозаборных скважин. – Воропаева В. А.. *Будущее науки-2018: Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции (25-26 апреля 2018 года), в 4-х томах, Том 3, Юго-Зап. гос. ун-т., Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018, -404 с. – 257 стр.*
3. Сердюк Н. И. Совершенствование технологии кавитационного декольматажа фильтровой области гидрогеологических скважин: дис. – Москва – 2005. – 294 с.
4. Условия профилактики кольматации и пролонгирования жизненного цикла водозаборных скважин. – Цымбалов А. А.. *Геологические науки – 2014: Материалы всероссийской научно-практической конференции., – Саратов: Издательство СО ЕАГО, 2014. – 212с.: ил. – 87 стр.*
5. Шибанов Б. В. Совершенствование процесса восстановления гидрогеологических скважин с помощью центробежных виброгенераторов: автореферат дис. – Москва – 2007. – 27 с.

*Экологизация процесса бурения скважин с применением безамбарной технологии  
Докладчик Яндиев М.А. \* (Российский государственный университет им. Серго  
Орджоникидзе, [mussa74095@mail.ru](mailto:mussa74095@mail.ru)),  
соавтор Соловьев Н.В. (Российский государственный университет им. Серго  
Орджоникидзе, [solovyevnv@mgru.ru](mailto:solovyevnv@mgru.ru))*

#### **Аннотация**

Данный доклад представляет собой аналитический обзор технико-технологических решений, направленных на повышение экологичности буровых процессов, экологических проблем, связанных с процессами бурения скважин за счет уменьшения количества используемых шламовых амбаров, а также амбаров для хранения отработанных буровых растворов (ОБР). Нами рассматриваются пути решения данной проблемы, включая безамбарную технологию бурения, реализуемую при использовании химических реагентов, в том числе полимеров и биополимеров для эффективной очистки буровых растворов от выбуриваемого шлама, как основного источника загрязнения окружающей природной среды (ОПС). В докладе рассмотрены основные преимущества и характеристики безамбарной технологии бурения скважин и ее преимущества по сравнению с традиционными технологиями в части повышения экологичности. Также анализируются структурные элементы систем очистки бурового раствора с применением безамбарного метода и результаты его внедрения в практику бурения скважин.

#### **Источники финансирования**

Источники финансирования отсутствуют.

#### **Ключевые слова**

Экологизация промывки скважин, переработка буровых шламов, загрязнение окружающей природной среды, утилизация отходов, шламовые амбары, твердая фаза, системы очистки, буровой шлам, буровой раствор, токсичные реагенты, полимерные реагенты, биополимеры.

#### **Теория**

##### **Проблемы отрасли**

Буровая промышленность сталкивается с серьезными экологическими проблемами, вызванными использованием шламовых амбаров для очистки буровых растворов. Этот метод, несмотря на свою эффективность, приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. Остатки выбуренной породы сливаются в специальный амбар, гидроизоляция дна и стенок которого обычно не производится (рисунок 1). [2]

Сильными токсичными реагентами являются известь, каустическая сода, бихромат калия. Более легкие фракции проникают в нижележащие слои, а содержащийся в смеси битум ухудшает водопроницаемость и смачиваемость почвы. Испарение легких летучих фракций – еще одна проблема амбарного бурения. Загрязнение воздуха различными химическими компонентами, испаряющимися с поверхности амбара, негативно влияет на животный и растительный мир, нарушают баланс в природе. [1]

Исследования, проведенные рядом ученых, показали, что около 20 % общего объема жидких отходов бурения попадает в объекты лито- и гидросферы. С использованием индикаторных методов доказано наличие гидродинамической связи между шламовыми амбарами и пунктами контроля грунтовых вод.



Рисунок 1. Буровая установка со шламовым амбаром

### **Пути решения экологизации**

Решением данной проблемы является использование безамбарной технологии, которая эффективно повышает экологичность буровых процессов. При таком способе утилизация и переработка буровых шламов происходит непосредственно на кусте скважин или поблизости на специализированной обустроенной площадке. Также при таком способе бурения используют четырехступенчатую систему очистки бурового раствора. Применяются полимеры и биополимеры, которые повышают эффективность очистки бурового раствора за счет флокуляции. [4]

Метод безамбарного бурения направлен на повышение экологичности процессов бурения скважин за счет снижения влияния на экологическую обстановку при устранении сброса жидких и твердых отходов. При этом происходит максимально возможное извлечение частиц твердой фазы из состава отработанного раствора при практически полном сохранении объема жидкой фазы. Это позволяет повторно использовать очищенный буровой раствор.

### **Характеристика безамбарной технологии**

Безамбарная технология предполагает отказ от использования шламовых амбаров в пользу более эффективных методов очистки. Понятие безамбарное бурение подразумевает систему с высокой степенью очистки буровых растворов, которая удовлетворяет экологическим требованиям благодаря отсутствию сбросов жидких и твердых отходов в окружающую среду.

В результате применения таких технологий по очистке, как вибросита, пескоотделители, илоотделители, газосепараторы, дегазаторы и центрифуги уровень очистки максимально приближен к 80-90%. Основные достоинства данного метода заключаются в: высокой экологичностью всех процессов по очистке бурового раствора; достижении высокой степени очистки, что позволяет повторно использовать конечные продукты в качестве, например, строительных материалов; возможность применения данного метода как на наземных месторождениях нефти и газа, так и на морских; сокращение времени очистки буровых растворов; экономия средств за счет увеличения скорости бурения и срока службы составляющих буровой колонны; экономия места и земельных ресурсов из-за отказа от амбарных сооружений. [3]

### **Структура системы очистки**

Система очистки бурового раствора включает четыре ступени очистки с блоком химического усиления.

Вибросито является первой ступенью очистки и удаляет шлам размером от 100 мкм и выше. Фактически им удаляется не более 10-20% грубодисперсной выбуренной породы.

Вторая и третья ступени очистки – пескоотделители и илоотделители или. Как показывают исследования, эти гидроциклонные установки справляются со своей задачей по качеству очистки. Минимальный размер удаляемых на 90% частиц (граничное зерно разделения): пескоотделителей – 70-80 мкм, илоотделителей – 40-50 мкм. В целом гидроциклоны могут выделить до 30-40% выбуренной породы.

В четвертую ступень очистки входит центрифуга. Центрифуга предназначена для очистки бурового раствора от выбуренной породы размером 2 – 4.4 мкм и регенерации утяжелителя. В центрифугах также используют центробежные силы для отделения тяжелой твердой фазы от жидкости и более легких компонентов бурового раствора.

Очистка бурового раствора осуществляется по следующей схеме (рисунок 2).

Буровой раствор из скважины (1) по линии R поступает на вибросита (2), после очистки, на которых, попадает в ёмкость (3), откуда насосами (4, 5) по линиям R2, R3 подается на пескоотделители (гидроциклоны) (6). После очистки на пескоотделителе буровой раствор по линии R, поступает в емкость (7), из которой для дальнейшей очистки насосом (8) по линии R, подается на илоотделитель (9), после чего поступает по линии R, в ёмкость (7). Пульпа после песко- и илоотделителей для дополнительного обезвоживания поступает на вибросито (8) ставшийся раствор после вибросита (8) поступает по линии R13 в емкость (3). Для тонкой очистки раствор насосом (10) из емкости (7) подается на центрифугу (11) по линии R7. Очищенный на центрифуге раствор по линии R возвращается в емкость (7), из которой очищенный буровой раствор насосом (12) нагнетается в скважину (1) по линии R9.

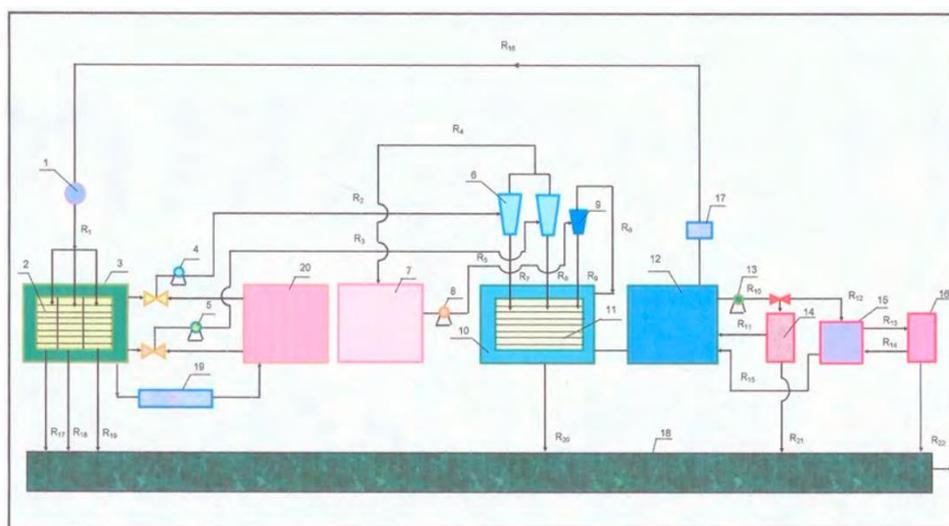


Рисунок 2. Схема очистки бурового раствора

Безамбарное бурение помимо решения экологических задач позволяет существенно увеличить скорость проходки скважин, увеличить наработку на долото, снизить финансовые затраты на приготовление бурового раствора и его утилизацию, а также снизить риски возникновения прихватов за счет уменьшения содержания нежелательной твердой фазы в растворе.

### **Выводы**

Таким образом, нефтедобывающим предприятиям для улучшения экологической ситуации и для снижения экологического ущерба от размещения отходов бурения необходимо

использовать безамбарное бурение, а также утилизацию буровых отходов реагентами флокулянтами и коагулянтами в составе комплексных методов переработки буровых шламов и отработанных буровых растворов, основанными на вовлечение этих отходов в смежные производственные циклы для получения строительных и иных материалов, пригодных для дальнейшего использования в народном хозяйстве.

### **Библиография**

1. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1999. 424 с.
2. Булатов А.И. [и др.]. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов. – Краснодар: ООО «Просвещение-Юг», 2011 – 603 с.
3. Балаба В.И., Колесов А.И., Коновалов Е.А. Проблемы экологической безопасности использования веществ и материалов в бурении. - М.: ИРЦ Газпром, 2001. – 76с.
4. «Переработка буровых шламов: технология пиролиза для безопасной утилизации»  
<http://www.i-pec.ru>

**Методика оценки параметров и совершенствование способа приготовления раствора на углеводной основе для строительства горизонтальных скважин на Фестивальном месторождении**

**Магсумов Б.Р.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [magsumov.br@gmail.com](mailto:magsumov.br@gmail.com)),  
Овчинников П.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [ovchinnikovpv@mgru.ru](mailto:ovchinnikovpv@mgru.ru))**

**Аннотация**

Предлагаемый проект связан с бурением горизонтальной скважины на Фестивальном месторождении и ориентирован на методику оценки параметров и совершенствование способа приготовления раствора на углеводородной основе (РУО). Необходимость в совершенствовании способа приготовления РУО является улучшение качества получаемой эмульсии и уменьшение сроков приготовления бурового раствора, что в свою очередь повышает эффективность буровых работ.

В настоящее время существующие методы получения эмульсий в различных технологических процессах не всегда обеспечивают их качество или отличаются высоким энергопотреблением при относительно низкой производительности [2]. Разработка совершенных технологий приготовления буровых растворов, является основополагающей успешного проведения буровых работ. Выбор оптимально подходящего для данных условий бурового раствора, является основной задачей и целью Заказчика. Совершенствование технологии приготовления растворов является необходимой для рационализации технологического процесса бурения скважин.

Растворы на углеводородной основе позволяют решать недостижимые для других типов промывочных жидкостей задачи, связанные с предотвращением осложнений при проводке скважин и качественным вскрытием продуктивных пластов. Успешному внедрению данного типа растворов препятствуют сравнительно высокие затраты на его приготовление. В этой связи, наиболее существенным является разработка решений по интенсификации диспергирования и повышения качества смешения компонентов при приготовлении РУО.

**Ключевые слова**

Раствор на углеводородной основе, плотная эмульсия, минеральное масло, диспергирование, приготовление бурового раствора.

**Теория**

Для начала бурения интервала достаточно минимальной плотности 1,18г/см<sup>3</sup>. Для регулирования плотности бурового раствора следует использовать разбавление свежеприготовленными премиксами. При этом необходимо использование всего имеющегося оборудования системы очистки для предотвращения повышения концентрации выбуренной породы. Для обеспечения необходимого качества очистки скважины ДНС должно поддерживаться в пределах 8 – 20 фунт/100фут<sup>2</sup>. Для оптимизации реологических характеристик бурового раствора необходимо использовать GELTONE II. НТНР фильтрацию бурового раствора по API необходимо поддерживать не более 3 мл/30 мин при 80 °С. При повышении значения фильтрации выше 3 мл/30 мин следует произвести обработку реагентом – понизителем водоотдачи DURATONE HT [3].

Таблица 1

Рекомендованные параметры РУО скважины на Фестивальном месторождении

СЕКЦИЯ	Эксплуатационная колонна	
Буровой раствор	РУО	
Интервал по стволу, м	1466 – 3128	3128 - 3549

Плотность, г/см <sup>3</sup>	1.21	1.32*
Соотношение углеводородных фаз, %	70/30 - 80/20	
Фильтрация ВТВД на ф/бумаге, см <sup>3</sup> /30мин @80°C	≤ 3	
Корка, мм	≤ 1	
Пластическая вязкость, мПа·с@65°C	≤ 30	≤ 35
ДНС, фунт/100фут <sup>2</sup> @65°C	8 – 20	8 – 25
СНС 10 с/10 мин, фунт/100фут <sup>2</sup> @65°C	6-15 / 7-25	6-18 / 7-30
Содержание СаСО <sub>3</sub> , кг/м <sup>3</sup>	≥80	
Электростабильность, В	≥400	
Избыток извести, кг/м <sup>3</sup>	≥7	
Щелочность, мг	≥1,88	
Содержание хлоридов, мг/л	≥30000	
Толщина фильтрационной корки, мм	≤ 1	

В качестве базовой жидкости в буровых растворах на углеводородной основе (РУО) используется минеральное масло. В качестве РУО будем использовать систему с плотной эмульсией, обеспечивающая высокотемпературную устойчивость и стойкость к воздействию загрязняющих веществ. В этой системе используются высокие концентрации эмульгаторов и понизителей водоотдачи, которые обеспечивают максимальную стабильность эмульсии и минимальные потери фильтрата. Объем фильтрата при высоком давлении и температуре обычно составляет менее 3 мл, и должен полностью состоять из углеводородной основы. В Таблице 2 приводятся указания по приготовлению систем с плотной эмульсией.

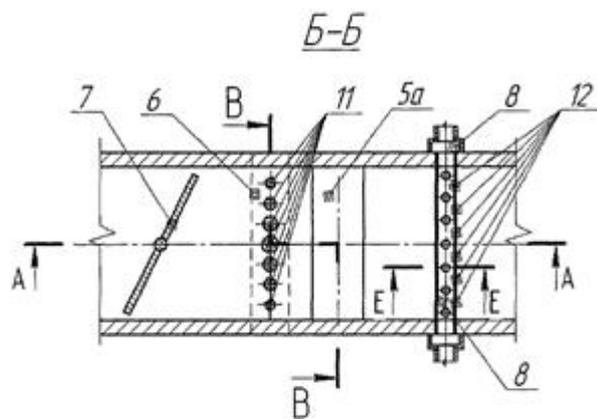
Таблица 2

Указания по приготовлению систем с плотной эмульсией

Добавка	Назначение	Концентрация, кг/м <sup>3</sup>	
		до 300 °F (149 °C)	до 400 °F (205 °C)
Углеводородная основа	Дисперсионная фаза	По необходимости	По необходимости
BASE OIL	Базовое масло	17-23	23-46
Известь	Источник щелочности	9-11	11-23
DURATONE HT	Понизитель водоотдачи (органогфильный леонардит)	17-23	23-57
Вода	Дисперсная фаза	По необходимости	По необходимости
GELTONE II	Загуститель (органогфильная глина)	1,4-9	6-23
EZ MUL NTR	Эмульгатор 1-ого рода	3-6	6-23
СаСО <sub>3</sub>	Утяжелитель	По необходимости	По необходимости
СаСl <sub>2</sub>	Источник солености	По необходимости	По необходимости

Методика приготовления РУО. Наполнить емкости BASE OIL, включить гидростолеты в случае их наличия, и перемешиватели. По возможности включить регистры для подогрева основы, что позволит ускорить процесс приготовления раствора. Включить регистры для обогрева бурового раствора до температуры +30...50°C, для ускорения приготовления бурового раствора и более быстрого достижения требуемых реологических параметров в период

отрицательных температур. Ввести в BASE OIL требуемое количество EZ MUL NTR, GELTONE II, DURATONE HT. Активно перемешать в течение 3-4 часов при помощи гидропистолетов и механических перемешивателей. Подготовить рассол хлористого кальция в объеме необходимом для обеспечения требуемого соотношения масляной и водной фаз (OWR). Ввести LIME (известь). Добавить рассол хлористого кальция в подготовленную основу. Произвести диспергирование водной фазы до образования устойчивой эмульсии при активной работе диспергатора, гидропистолетов и перемешивателей. Диспергирование производить буровыми насосами через диспергатор с насадками не менее 8 мм, поддерживая давление не менее 100 атм. Время диспергирования зависит от температуры основы и эффективности работы оборудования по перемешиванию раствора (не менее 8 часов. Конечное время диспергирования определяется по результатам лабораторного анализа (ЭС готового раствора должна быть не менее 700 В. В зависимости от результатов анализа может потребоваться дообработка эмульгатором и повторное диспергирование); Провести контрольный замер плотности. Согласно расчёту утяжелить раствор CaCO<sub>3</sub> до программной плотности. Произвести активное перемешивание утяжелённого раствора в течение 8-10 ч.



Применение кавитационных технологий в приготовление РУО. Стремление повысить производительность смесительных устройств, а также улучшить качество получаемых эмульсий, привело к созданию различных конструкций диспергаторов. По сравнению со смесительными аппаратами других типов стоит выделить проточные устройства, использующие энергию потока жидкости для смешения и гомогенизации рабочей среды. В результате обтекания жидкостью тел сложной формы возникают кавитационные и волновые явления, которые интенсифицируют процесс диспергирования [1]. Среди статических гидродинамических смесительных устройств выделяют генераторы плоского типа. Плоский проточный генератор 1 (рисунок 1) представляет из себя прямоугольный ровный или профилированный канал с входным патрубком 3, проточной камерой 2, и выходным патрубком 4. Смесь жидкостей, обтекая тело кавитации 5а, разгоняется до больших скоростей, при этом за телом образуются отрывные зоны и зоны пониженного давления, в которых образуются пузырьки, заполненные парагазовой смесью, т.е. гидродинамическая кавитация. Уносимые основным потоком эти пузырьки в дальнейшем попадают в область повышенного давления, где схлопываются со скоростью, близкой к скорости звука, что приводит к резким колебаниям давления, образованию зон волнового воздействия на поток, повышению турбулентности, в результате чего происходит диспергирование компонентов смеси и ее гомогенизация [3]. Тела обтекания устанавливаются таким образом, чтобы зоны активного схлопывания пузырьков располагались по всему сечению проточной части генератора. В устройстве предусмотрены: камера для ввода добавочных компонентов 6, регулятор объемного расхода смеси 7, раздающий коллектор 8, раздающие сопла 11, 12 для ввода дополнительного компонента.

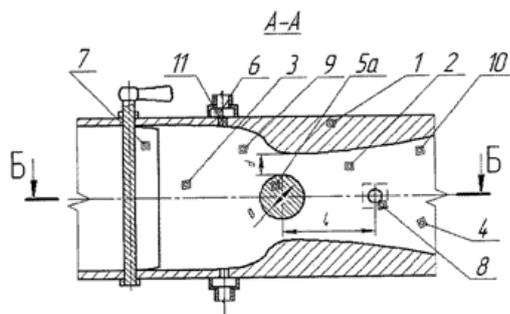


Рисунок 1. Устройство для гомогенизации смеси плоского типа

### **Выводы**

Исходя из описанного процесса приготовления буровых растворов на углеводородной основе, необходимо применение волновых генераторов, с целью уменьшения сроков приготовления и повышения стабильности приготовленного РУО. Используя данную методику, приготовление 50 м<sup>3</sup> промывочной жидкости составляет 12 часов с учетом диспергирования. Применение усовершенствованной технологии заготовки РУО позволяет добиться более стабильной эмульсии. При таком приготовлении электростабильность раствора значительно меньше падает при отсутствии диспергирования, что позволяет сократить время диспергации при повторном использовании РУО. Стоит отметить, что более стабильная эмульсия имеет меньшую реологию, что позволяет эффективнее бороться с повышенной пластической вязкостью в процессе бурения из-за загрязнения раствора твердой фазой.

### **Библиография**

1. Ганиев Р.Ф. Волновые машины и технологии (Введение в волновую технологию) – М.-Ижевск: НИЦ «РХД», 2008. – 192 с.
2. Шерман Ф. Эмульсии Пер. с англ. – Л.: Химия, 1972. – 448 с.
3. Яруничева Д.Е. Исследование эффективности процесса перемешивания смесей с целью снижения его энергоемкости и повышения интенсификации тепло-обмена. ДонНТУ. – 2009.
4. Halliburton Fluid Systems. Пособие по буровым растворам – Буровые растворы на углеводородной основе.

**Сравнительный анализ показателей процесса направленного бурения скважины  
Астраханского газоконденсатного месторождения с применением РУС и ВЗД  
Денисов Д.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, denisovden677@yandex.com),  
Ганин И.П. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, ganinip@mgri.ru)**

**Аннотация**

В работе проводится аналитическое сравнение технологии бурения скважин роторными управляемыми системами в различных горно-геологических условиях и ВЗД. В работе описаны основные типы роторных управляемых систем, проведен анализ роторных управляемых систем по механизму искривления, выявлены достоинства и недостатки каждого из механизмов.

**Ключевые слова**

Газоконденсатное месторождение, наклонно-направленные скважины, роторно-управляемые системы, винтовые забойные двигатели.

**Источники финансирования**

Источники финансирования отсутствуют.

**Теория**

В настоящее время для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов активно применяются rotary steerable system (RSS) – роторные управляемые системы (РУС), в которых разрушение горной породы осуществляется вращением долота с бурильной колонной верхним приводом буровой установки или ротором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей и РУС. Данные системы являются наиболее совершенными, а в сочетании с системами телеметрии и геонавигации превратились в совершенные беспилотные средства дистанционного управления направлением буримых скважин. Возможности этих систем впечатляют: при высочайших точности ( $\pm 0,1^\circ$ ) и оперативности данные системы способны осуществлять бурение скважин любой ориентации в пространстве протяженностью до 13 км непрерывными рейсами, протяженность которых может составлять более 1000 м [1].

Именно такие системы применяются последние года на Астраханском газоконденсатном месторождении. Оно расположено в 60 км от г. Астрахани. Оно открыто в 1976 году и на данный момент насчитывает уже 285 скважин.

Эффективность РУС определяется следующими обстоятельствами:

- улучшается вынос шлама, так как РУС не создает зауженных интервалов ствола скважины;
- повышается скорость проходки, поскольку эффективный вынос шлама препятствует его осаждению, что положительно влияет на процесс разрушения породы;
- повышается скорость бурения и длина горизонтального ствола за счет снижения силы трения между колонной и стенкой скважины вследствие вращения всей колонны;
- сокращается риск механического и дифференциального прихватов, поскольку нет неподвижных элементов РУС, контактирующих с обсадной колонной, отклонителем или стенкой ствола скважины [3].

Различают три типа РУС: реализующие механизм фрезерования стенки (push-the-bit – рис.1.), реализующие механизм асимметричного разрушения забоя вследствие перекаса долота (point-the-bit – рис. 2.), а также РУС совмещающие эти два механизма.

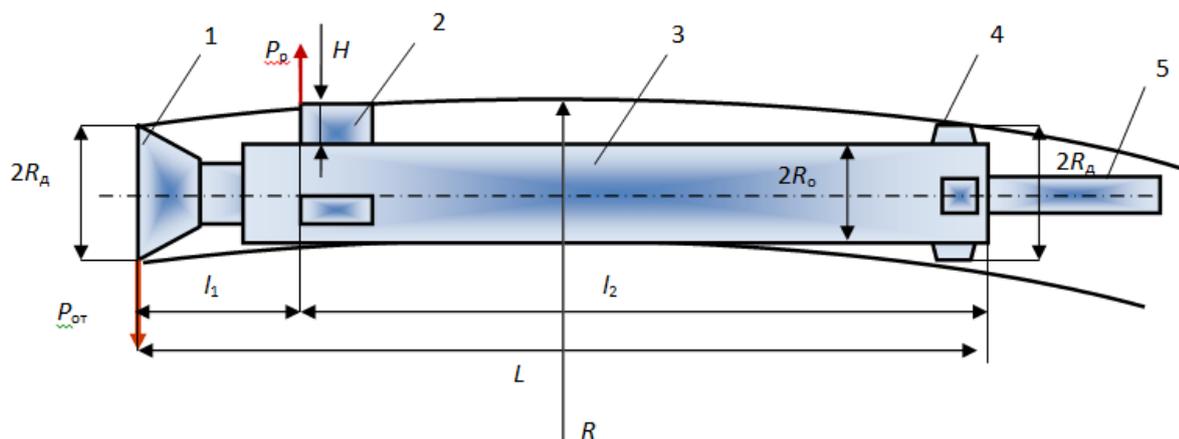


Рисунок 1. Схема для расчета радиуса искривления РУС с радиальным смещением долота (push-the-bit): 1- долото, 2 – выдвижные лопатки, 3 – корпус, 4 – верхний стабилизатор, 5 – труба,  $D_d$  – диаметр долота,  $H$  – выход лопатки из корпуса,  $D_o$  – диаметр корпуса,  $D_{\text{ц}}$  – диаметр стабилизатора

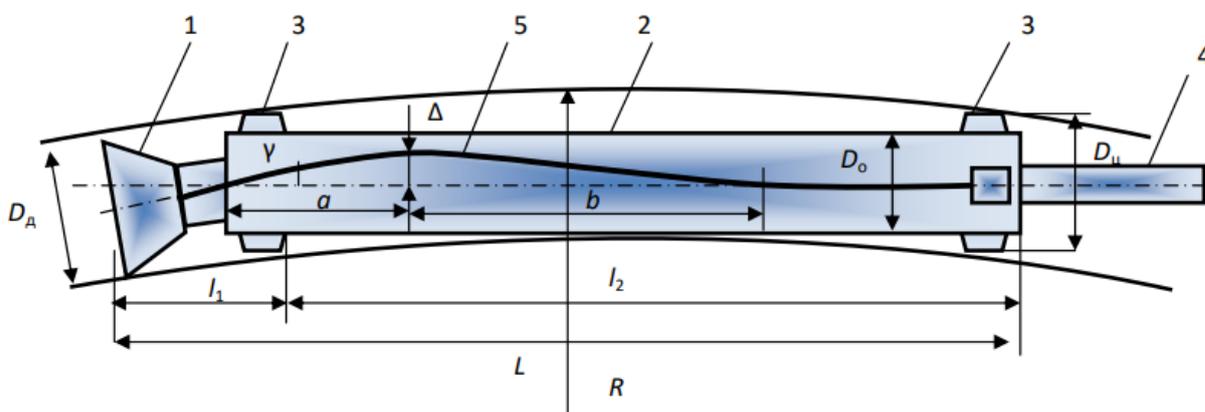


Рисунок 2. Схема для расчета радиуса искривления РУС с изменением направления перекоса долота (point-the-bit): 1- долото, 2 – корпус, 3 – стабилизатор, 4 – труба, 5 – вал отклонителя,  $D_d$  – диаметр долота,  $D_o$  – диаметр корпуса,  $D_{\text{ц}}$  – диаметр стабилизатора

Исходя из практики бурения наклонно-направленных скважин, можно выделить следующие основные критерии выбора систем бурения [2]:

- механическая скорость проходки;
- реализация искривления в соответствии с проектом
- качество ствола скважины;
- эффективная длина горизонтальной секции;
- безаварийность проходки;
- стоимость оборудования.

На большинстве скважин, где применялись роторные управляемые системы, отмечают увеличение механической скорости бурения по сравнению с забойным двигателем [4]. На бурение 100 м с использованием РУС требуется вдвое меньше времени – 0,65 суток вместо 1,39 суток. Так, на упомянутом месторождении Марселлус, скорость набора кривизны составила 8°/30 м, что, по данным компании Ultra Petroleum, позволило оператору увеличить скорость проходки на 80% по сравнению со скважинами, пробуренными ранее при помощи объемных двигателей – рис. 3.

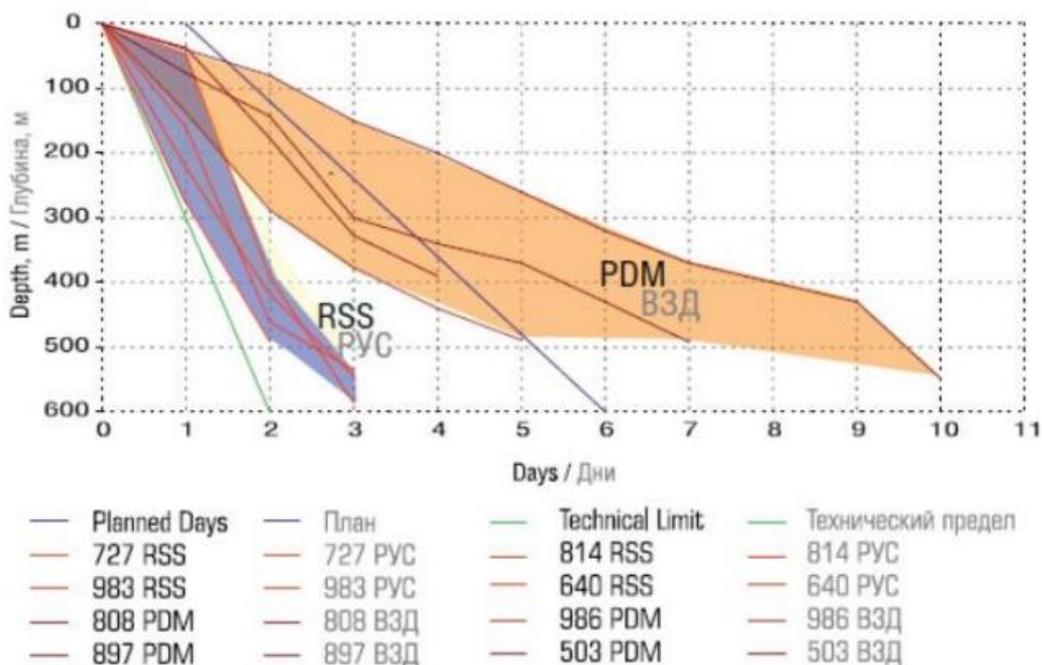


Рисунок 3. График «глубина-день» для секции диаметром 152,4 мм (без времени на спускоподъемные операции), по данным ОАО «Верхнечонскнефтегаз» для Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения

Другим немаловажным показателем является качество ствола скважины. Бурение управляемым двигателем характеризуется низким качеством ствола, волнообразными неровностями и резкими изгибами, при этом они являются практически неустраняемыми недостатками метода. Причиной этого является «скользящий» режим бурения. В этом режиме вращается только долото, а бурильная колонна просто следует за направляющей компоновкой. Основные сложности в этом случае вызваны недостатком вращения колонны труб. В процессе проходки бурильная колонна скользит по лежащей стенке скважины, промывочная жидкость движется вокруг нее неравномерно, что уменьшает выносящую способность раствора и способствует повышению риска прихвата колонны. Кроме того, повышается риск желобообразования и прихвата колонны [5]. На рисунке 4 представлены изображения, полученные с помощью каверномера.



Рисунок 4. Сравнение качества ствола скважины, построенного по данным каверномера: сверху – забойный двигатель с кривым переводником, снизу – роторная управляемая система

### **Выводы**

Технология бурения скважин с роторными управляемыми системами имеет массу преимуществ перед остальными существующими технологиями направленного бурения, что было показано на примере бурения конкретных скважин в сравнении с бурением с применением других современных отклонителей. Так, при бурении с применением роторной управляемой системе механическая скорость бурения возрастает в среднем в 2 раза, по сравнению с бурением винтовым забойным двигателем, что обеспечивает существенную экономию времени бурения. Эффективная длина горизонтальной секции увеличилась на 40%, что в свою очередь позволило увеличить дебит скважин более чем вдвое. Так же было установлено, что в сравнении с забойным двигателем, роторная управляемая система позволяет бурить более гладкий ствол, что снижает риск аварийности.

### **Библиография**

1. Акбулатов Т.О. Роторные управляемые системы: учебное пособие / Т.О. Акбулатов, Р.А. Хасанов, Л.М. Левинсон – Уфа: УГНТУ, 2006.
2. Нескоромных, В. В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин: рукопись / В.В. Нескоромных. – Красноярск
3. Нескоромных, В.В. Направленное бурение и основы кернометрии: учебник / В.В. Нескоромных. – Москва: ИНФРА-М, 2015.
4. Нескоромных, В.В. Методологические и правовые основы инженерного творчества: учебное пособие / В.В. Нескоромных, В.П. Рожков – Москва: ИНФРА-М, 2015.
5. Шевченко И. А. Развитие технологии управляемого роторного бурения при строительстве скважин с субгоризонтальным профилем [Текст] // Технические науки в России и за рубежом: материалы III междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). — М.: Буки-Веди, 2014.

*Геонавигационное сопровождение процесса бурения наклонно-направленной скважины (на примере Габышевского месторождения, Пермский край)*

*Молотков Д.А. (МГРИ, [steampr@gmail.com](mailto:steampr@gmail.com)),  
Вайнерман Б.П. (МГРИ, [vaunermanbp@mgri.ru](mailto:vaunermanbp@mgri.ru)),  
Сырчина А.С. (МГРИ, [syrchinaas@mgri.ru](mailto:syrchinaas@mgri.ru))*

**Аннотация**

Забойная телеметрическая система - коллаборацией геофизического оборудования и компоновки низа бурильной колонны является важной и неотъемлемой частью геолого-геофизического сопровождения строительства наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

В работе рассмотрены вопросы основные цели и задачи геонавигационного сопровождения процесса бурения скважин, а также способы их достижения и решения.

**Ключевые слова**

Геонавигация, траектория скважины, геомоделирование.

**Теория**

Геонавигация или геологическая проводка скважины – изменение положения ствола скважины в пласте, основанное на анализе геологической и геофизической информации, данных инклинометрии получаемых в процессе бурения.

Успешность строительства скважины определяется не только краткосрочными показателями, которые отображаются в ходе бурения, но и долгосрочными – которые становятся очевидны в ходе эксплуатации.

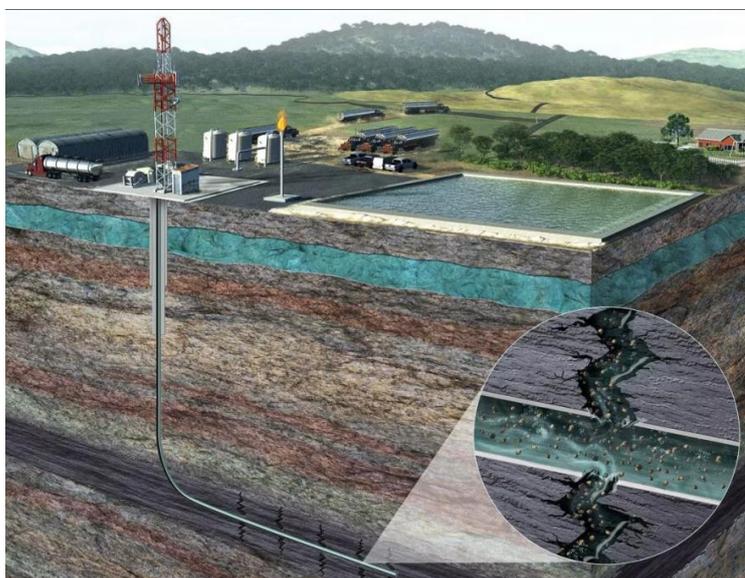


Рисунок 1. Положение горизонтального ствола скважины

Так можно выделить несколько задач геонавигации:

- оптимизация положения скважины в пласте;
- продуктивность скважины;
- проводка скважины с минимизацией рисков;
- своевременная реакция на изменение литологии.

Процесс геонавигации начинается до вскрытия целевого интервала. Вся подготовка к проводке должна быть завершена на этапе бурения транспортного ствола – секции, предшествующей участку, имеющему главной целью обеспечение успешной геонавигации в целевом интервале.

Основная цель геонавигации или геологического сопровождения бурения горизонтальных стволов – достижение максимальной эффективной длины горизонтального ствола скважины  $L_{эф}$  путем его размещения в наиболее продуктивной нефте- газонасыщенной части пласта с учетом геологических особенностей и технических ограничений [2]. В результате обеспечиваются наиболее полная выработка извлекаемых запасов рассматриваемого объекта разработки и максимальная продуктивность скважины. Эффективная длина горизонтального ствола – это суммарная длина участков ствола, вскрывших коллектор по результатам интерпретации данных каротажа. В этом случае эффективность проводки скважины (бокового ствола) оценивается как отношение  $L_{эф}/L_{общ}$  ( $L_{общ}$  – общая длина горизонтального ствола – длина от башмака эксплуатационной колонны (или цементировочной муфты хвостовика) до забоя) [1].

Так выглядит окно для геонавигации. Различные компании используют разное ПО, однако все они имеют схожий вид и выглядят следующим образом.

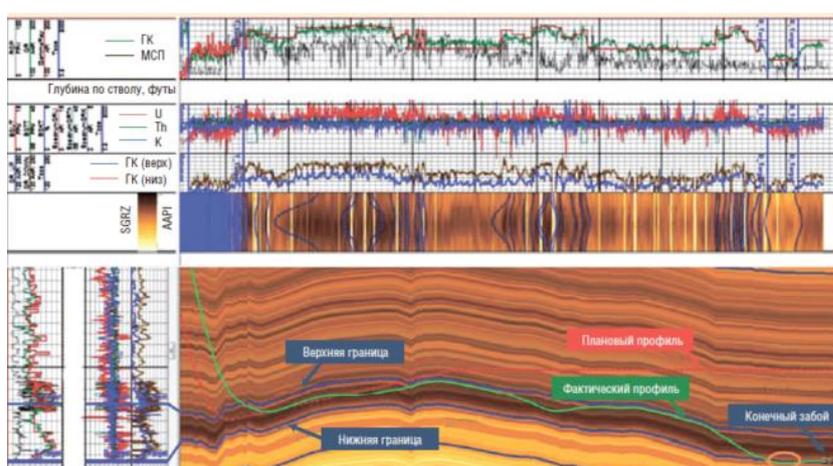


Рисунок 2. Графическое изображение окна геонавигации [4]

На изображении можно увидеть плановую траекторию ствола, которая обозначенная красным цветом и заложена в геологическом проекте. Зеленым обозначена фактическая траектория, она меняется в зависимости от поступающих данных инклинометрии. Так же важно заметить, что вместе с данными о положении ствола поступают и данные от каротажных зондов, на основе которых и строится предполагаемая литология. И по мере поступления новых данных, геонавигатор интерпретирует эти данные с помощью различного программного обеспечения, определяя истинное положение целевого интервала, его верхней и нижней границ, на основе чего вносит корректировки в план введения буровых работ, чтобы добиться наивысшей эффективности проходки в горизонтальном участке, и как следствие большей продуктивности скважины при эксплуатации.



Рисунок 3. Цикл геонавигации [5]

Балгодаря данным, полученным в результате интерпритации геонавигационных данных можно контролировать процесс проводки скважины, а самое главное следить за профилями наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Например, данные об геологии пласта на Габышевском месторождений Пермского края.

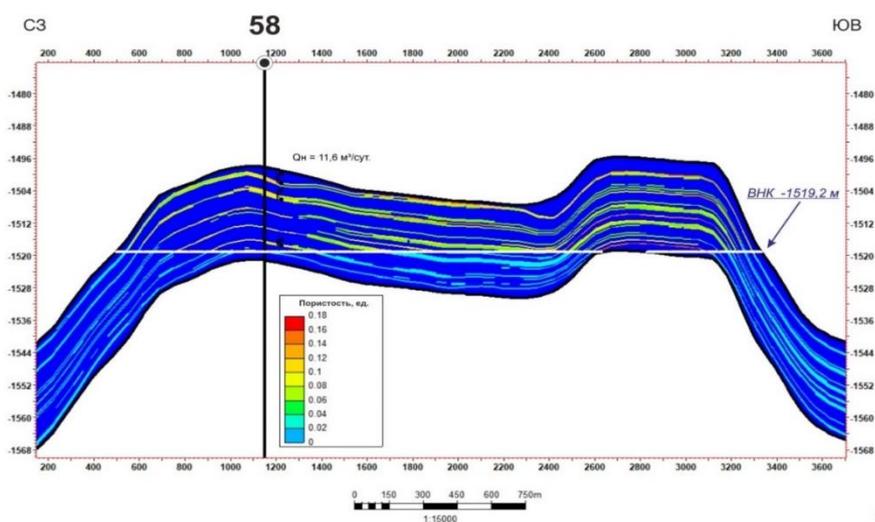


Рисунок 4. Геологический разрез пласта ФМ3-а [3]

Для успешной проводки ствола наклонно-направленной скважины с горизонтальным окончанием необходимо предусмотреть современное геонавигационное оборудование [6].

Средства геонавигации помогают контролю строительства не только «материнских стволов», которые послужат основой для будущих разветвленных наклонно-направленных и горизонтальных скважин, но и для контроля за бурением боковых стволов.

Опыт эксплуатации горизонтальных нефтяных и газовых скважин, а также боковых горизонтальных стволов в отработанных, нерентабельных скважинах у нас в стране и за рубежом показывает, что горизонтальные скважины и боковые горизонтальные стволы позволяет решать следующие задачи:

1. Повышать нефтеизвлечение из недр за счет увеличения площади фильтрации и интенсификации перетоков нефти и газа из залежи, а также за счет повышения эффективности процессов воздействия на пласт.

2. Значительно повышать дебиты нефти и газа в сравнении с вертикальными скважинами за счет увеличения площади фильтрации.

3. Продлевать безводный или малообводненный период нефтяных скважин.

4. Восстанавливать продуктивность месторождений на поздней стадии разработки.

5. В бездействующих и малодебитных скважинах, не только восстанавливать, но и значительно увеличивать, по сравнению с первоначальным (при вводе месторождения в разработку), дебит нефти и газа и другие [1].

### **Выводы**

Таким образом, процесс геонавигации можно заключить в так называемый геонавигационный цикл. В начале этого процесса геологу поступают новые данные от буровой, на основе которых производится оценка литологии с последующим определением позиции ствола скважины в пласте, с определением структуры пласта. Далее принимается решение о необходимости или отсутствии таковой в корректировке траектории и передается соответствующая команда на буровую. Буровая следует переданным рекомендациям, получает новые данные, передает их геологу и цикл повторяется.

### **Библиография**

1. Кульчицкий В.В., Григашкин Г.А., Ларионов А.С., Щebetов А.В. Геонавигация скважин. Учебное пособие М.: МАКС Пресс, 2008. – 312 с.

2. Кульчицкий В.В. Геонавигация пологих и горизонтальных скважин в западной сибире. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 8. С. 4-8.

3. Оперативный пересчет запасов нефти и растворенного газа Габышевской площади Габышевского нефтяного месторождения Пермского края", Пермь, 2017 г.

4. Ронжин К.В., Куваев И.А., Уваров И.Б., Пайразян К.В. Современные технологии геонавигации. мировой опыт. В сборнике: ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. Труды Международной геолого-геофизической конференции. 2018. С. 378-383.

5. Стишенко С.И., Сабирова А.Н. Геонавигация в 5 кликов. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2018. – 161 с.

6. Технологическая схема разработки Габышевского месторождения, ООО «ПермНИПИнефть», Пермь, 2003 г.

*Роль биоремедиации в обращении с отходами бурового раствора.  
Губайдуллин С.Г.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе», s.g1999@yandex.ru),  
Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru)*

#### **Аннотация**

В данной работе рассматривается влияние и роль биоремедиации как экологического решения на окружающую среду при обращении с отходами бурового раствора.

#### **Ключевые слова**

Экологические решения, строительство скважин, технологические процессы, биоремедиация.

#### **Теория**

1. Биоремедиация: эффективное решение по утилизации отходов бурового раствора.

В сфере буровых работ обращение с отходами бурового раствора и их утилизация представляют собой серьезные проблемы. Буровой раствор, смесь воды, глины и различных добавок, используется для смазки и охлаждения бурового долота, отвода шлама и поддержания давления во время бурения. Однако после завершения бурения утилизация этих отходов становится критической проблемой из-за их потенциального воздействия на окружающую среду. К счастью, биоремедиация стала устойчивым и эффективным решением для управления отходами бурового раствора, предлагающим многочисленные преимущества как для промышленности, так и для окружающей среды [1].

2. Понимание биоремедиации при обращении с отходами бурового раствора.

Биоремедиация – это процесс, в котором микроорганизмы используются для расщепления или нейтрализации загрязняющих веществ в окружающей среде. Когда дело доходит до отходов бурового раствора, биоремедиация включает использование определенных микроорганизмов для разложения органических компонентов, присутствующих в буровом растворе. Эти микроорганизмы поглощают органические вещества, превращая их в безвредные побочные продукты, такие как углекислый газ и вода. Этот естественный процесс не только уменьшает объем отходов бурового раствора, но также устраняет или значительно уменьшает количество присутствующих загрязнений, что делает его экологически чистым вариантом.

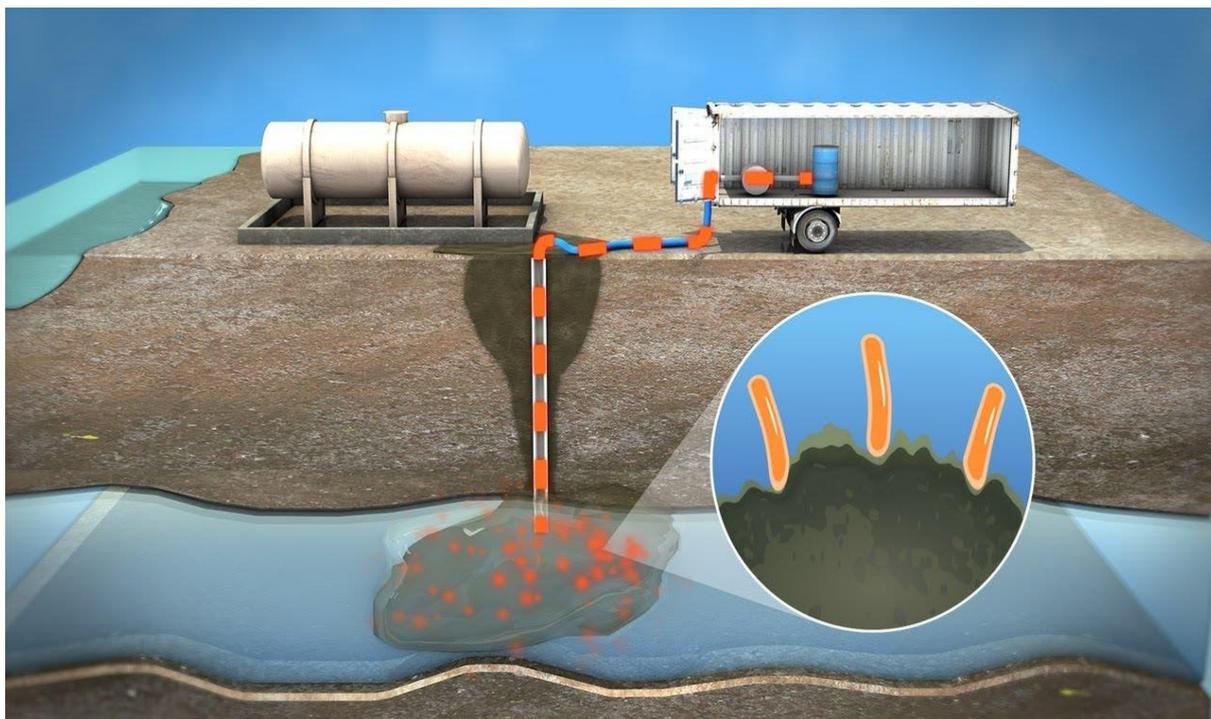


Рисунок 1. Методы и технологии биоремедиации почвы

### 3. Преимущества биоремедиации при обращении с отходами бурового раствора

Одним из ключевых преимуществ биоремедиации является ее способность минимизировать воздействие отходов бурового раствора на окружающую среду. Используя микроорганизмы для расщепления органических соединений, этот процесс снижает выброс вредных веществ в почву и водные системы. Более того, биоремедиацию можно адаптировать для борьбы с конкретными загрязнителями, присутствующими в буровом растворе, обеспечивая более эффективный и целенаправленный подход к управлению отходами [2].

### 4. Тематические исследования: успешное внедрение биоремедиации.

Несколько тематических исследований продемонстрировали успешное применение биоремедиации при обращении с отходами бурового раствора. Например, в исследовании, проведенном учеными из Канады, процесс биоремедиации использовался для очистки отходов бурового раствора, загрязненных углеводородами. Результаты показали, что после очистки концентрация углеводородов значительно снизилась, что соответствует нормативным требованиям по безопасной утилизации [3].



Рисунок 2. Загрязненный грунт до применения технологии биоремедиации



Рисунок 3. Грунт после применения технологии биоремедиации

##### 5. Советы по внедрению биоремедиации в управление отходами бурового раствора.

Для обеспечения успешного внедрения биоремедиации при обращении с отходами бурового раствора необходимо учитывать определенные факторы. Во-первых, крайне важно выбрать подходящие микроорганизмы с учетом конкретных примесей, присутствующих в буровом растворе. Кроме того, оптимизация условий окружающей среды, таких как температура, pH и уровень кислорода, может повысить эффективность процесса биоремедиации. Регулярный мониторинг и тестирование перерабатываемых отходов также необходимы для обеспечения соответствия нормативным стандартам [4].

### **Выводы**

Биоремедиация предлагает устойчивое и эффективное решение по управлению отходами бурового раствора. Используя силу микроорганизмов, этот процесс может значительно снизить воздействие буровых работ на окружающую среду, а также минимизировать объем образующихся отходов.

Поскольку отрасль продолжает уделять приоритетное внимание устойчивым практикам, биоремедиация может сыграть решающую роль в обеспечении ответственной и экологически чистой утилизации бурового раствора.

### **Библиография**

1. Архипченко И. А. Биодобрения из отходов животноводства – перспективный субстрат для рекультивации нефтезагрязненных и нарушенных земель // Материалы докладов VI Съезда Общества почвоведов имени В. В. Докучаева. – Т. 3. – Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, 2012. – С. 520
2. Шарапова И. Э., Лаптева Е. М., Маслова С. П., Табаленкова Г. И., Гарабаджиу А. В. Использование интегрального коэффициента биологической активности и индекса фитотоксичности для оценки фиторемедиации нефтезагрязненных почв / Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – № 2. – С. 67–73.
3. Колесников С. И., Жаркова М. Г., Казеев К. Ш., Кутузова И. В., Самохвалова Л. С., Налета Е. В., Зубков Д. А. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема // Экология. – 2014. – № 3. – С. 163–173.
4. Шарапова И. Э., Гарабаджиу А. В. Оценка эффективности способов биоремедиации почв от нефтяных загрязнений // Инженерная экология. – 2015. – № 2. – С. 32–42.

***Предупреждение прихватов на Красноленинском месторождении в условиях бурения  
интервалов диспергирующих глин***

***Нурумбаев А.А.\* (ФГБОУ ВО МГРИ, artur17-00@yandex.ru),  
Овчинников П.В. (ФГБОУ ВО МГРИ, ovchinnikovpv@mgru.ru)***

**Аннотация**

При сооружении наклонно-направленных скважин с горизонтальным участком ствола приходится сталкиваться практически со всеми видами осложнений, наиболее частым из которых являются прихваты. Доля дифференциальных прихватов составляет примерно 80%, а 20% приходится на прихваты, обусловленные механическим взаимодействием и неисправностью оборудования.

Основная проблема при бурении кондукторов на Красноленинском месторождении — это возникновение прихватов, как следствие вытекают следующие мероприятия увеличивающие срок строительства скважин: перебур ствола скважины, остановка обсадной колонны (прихват) не доходя до проектного забоя, установка полимерных, кислотных или нефтяных ванн для ликвидации прихвата, дополнительные проработки и переподготовки ствола скважины. Особенно остро эти проблемы заметны с применением технологии безамбарного бурения на мобильных буровых установках.

Детальное изучение технологии бурения скважин, геологических осложнений и аварий на Красноленинском нефтяном месторождении позволяет сделать вывод о том, что применяемый для промывки скважины буровой раствор не удовлетворяет в полной мере высоким требованиям, необходимым для проходки вязких глин, особенно при бурении интервала под ОК-245мм Кондуктор. И, как результат, происходит образование на стенках скважины некачественной корки, обладающей невысокими антифильтрационными и ингибирующими свойствами, что и является основной причиной возникновения прихватов как КНБК, так и обсадных колонн.

**Ключевые слова**

Прихват, Кондуктор, диспергация, ингибитор глин, сульфированный битум.

**Теория**

Для оценки требуемого ингибирования используются методы, зависящие от величины гидратации глинистых пород, связанной с осмотическим, капиллярным, диффузионным массопереносом (увлажнением), а также поверхностной гидратацией.

Из широкого класса ингибирующих буровых растворов наибольшее распространение получили калиевые, силикатные, кальциевые, известковые и гипсовые растворы. Но следует отметить, что все ингибирующие системы обладают целым рядом недостатков:

- высокой материалоемкостью и стоимостью растворов;
- трудностью регулирования реологических и фильтрационных свойств;
- необходимостью соблюдения строгой технологии приготовления растворов;
- трудностью утяжеления; повышенным корко- и пенообразованием.

В настоящее время для повышения устойчивости глин на стенках скважины применяют полимерные и полимерглинистые растворы. Эти системы за счет низкого содержания твердой фазы в буровом растворе позволяют увеличить механическую скорость бурения, повысить износостойкость долот, снизить стоимость проходки. К достоинствам полимерных растворов также можно отнести улучшенные противозносные и смазывающие свойства, широкий диапазон регулирования фильтрационных свойств, а также ингибирующую способность по отношению к глинистым породам.

Набухание глинистых пород в одних случаях приводит к распаду дисперсной структуры разбуриваемых отложений, осыпям и обвалам с образованием каверн, в других - к сужению ствола скважины вследствие пластической деформации и прихватам бурового инструмента.

Диспергирование набухшей глинистой породы ведет также к отклонению параметров бурового раствора от заданных значений и снижению эффективности работы породоразрушающего инструмента на забое скважины.

Мной был предложен комплексный по свойствам, ингибирующий раствор для бурения секции под ОК-245мм, обладающий высокими крепящими, антифильтрационными и антиприхватными свойствами с качественными реологическими параметрами. Буровой раствор предназначен для бурения на суше, море и шельфе нефтегазовых наклонно-направленных и горизонтальных скважин, представленных мощными отложениями высоковязких глин, склонных к набуханию и разупрочнению, в том числе с изменением целостности ствола скважины.

Поставленная задача решается за счет того, что в буровой раствор для промывки скважин в интервале бурения под интервал Кондуктора 245мм в разрезе которого залегает высокоактивная диспергирующая глина (Ганькинская, Березовская свиты), добавляется особого рода ингибитор, а именно сульфированный битум.

Изначально на бурение секции под ОК-245мм закладываются следующие хим. реагенты:

Таблица 1

Ожидаемая потребность в материалах

Описание/ назначение	Упаковка		Количество		
			кг/м <sup>3</sup>	уп.	кг.
Глинопорошок	1000	кг/меш	25,21	3	3000
Регулятор pH	25	кг/меш	0,42	2	50
Полиакриламид/Инкапсулятор	25	кг/меш	0,63	3	75
Гидрофобизатор	200	кг/боч	3,36	2	400
Противосальниковая добавка	200	кг/боч	3,36	2	400
Разжижитель	25	кг/меш	2,10	10	250

Бурение интервала на данный момент осуществляется на ПОЛИМЕР-ГЛИНИСТОМ растворе. Начало бурения предусматривается с использованием бурового раствора с предыдущего интервала, обработанного до программных параметров. Рекомендуемая производительность насосов 40-45л/с в интервале песков (ориентировочно до 150-250м), в интервале глин (с 150-250м) рекомендуемая производительность насосов 62-64 л/с.

Как показал опыт работ на данной локации такой компонентный состав БР с высокой долей вероятности не позволяет успешно провести скважину в установленный срок на мобильных буровых установках с применением технологии безамбарного бурения.

Чтобы существенно сократить срок строительства скважины был использован уже другой тип БР – полимер-ингибированный. Ингибитором является сульфированный асфальт – сульфонат натрия нефтяного битума, получаемый в результате сульфонации или сульфирования серной кислотой. Данный реагент представляет собой черный растворимый порошок, состоящий из водорастворимой (70%) и водонерастворимой (30%) фракции.

Ингибирующее действие этого реагента состоит в следующем. Водорастворимая фракция обладает критическим значением величина pH – 8,5-8,7. При значениях pH ниже этой величины реагент в воде не растворяется и наоборот, при более высоких значениях 8,9-10 он хорошо растворим в водной фазе раствора, т.е. фильтрате.



Рисунок 1. Сульфированный асфальт для буровых растворов

В процессе увлажнения глины т.е. проникновения фильтрата в глинистый пласт происходит ионообменный процесс, в основе которого поглощаются гидроксильные группы взамен на кислые анионы  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  и др. В результате обмена pH фильтрата снижается до 7,2-7,4 после прохождения через глинистый пласт в несколько миллиметров. В такой среде макромолекулы реагента высаливаются и превращаются в асфальт и как итог массив становится устойчивым и резко замедляет процесс увлажнения глины. Поставленная задача решается за счет того, что в буровой раствор для промывки скважин в интервале бурения под интервал Кондуктора 245мм в разрезе которого залегает высокоактивная диспергирующая глина (Ганькинская, Березовская свиты), добавляется особого рода ингибитор а именно сульфированный битум.

Параметры БР при добавлении в активный объем заранее гидратированной воды с сульфированным асфальтеном следующие:

Таблица 2

Параметры БР после добавления сульфированного битума

Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,14
Условная вязкость, сек	41
ПВ, сП	12
ДНС, дПа	13
СНС 10с/10м, дПа	3/5
Показатель фильтрации, см <sup>3</sup> /30мин	6
Фильтрационная корка, мм	1,2
Твердая фаза, %	9
Содержание песка, %	0,5
МВТ, кг/м <sup>3</sup>	54
pH	9
Общая жесткость, мг/л	120

Параметры БР полностью соответствуют программным значениям.

### **Выводы**

На приготовление раствора понадобилось всего 500 кг асфальтена в дополнении к остальным хим. реагентам. Во время промывки перед подъемом КНБК под спуск ОК-245мм произошла поломка ВСП, в связи с чем был простой на 3-е суток. Даже с этим условием корка, сформированная сульфированным асфальтом, не дала сузиться стволу скважин и ОК-245мм успешно была спущена без переподготовки ствола. Такой результат не был бы возможен с использованием полимер-глинистом БР в условиях активных диспергирующих глин.

Отмечу, что сбросы бурового раствора для замещения объема не производились, по причине низкой наработки БР коллоидной фазой, что существенно снизило нагрузку на буровую бригаду, снизило время и затраты на вывоз БР из шламовых мульд, и конечно же снизился экологический риск при строительстве скважины. Общую стоимость строительства скважины применение данного хим. реагента не увеличила, т.к. не потребовалась переподготовка ствола и шаблонировка после длительного простоя.

### **Библиография**

1. Интерактивная электронная карта недропользования РФ [Электронный ресурс] - режим доступа: <https://map.mineral.ru>
2. Соловьев Н.В., Соловьева Т.И., Курбанов Х.Н., Кудрявцева Д.К. – М.:МГРИ-РГГРУ, 2017. - 88 с. Физико-химия буровых промывочных жидкостей: методическое руководство для магистрантов, направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело», программа подготовки «Строительство глубоких нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях» [Электронный ресурс] - режим доступа: [https://www.mgri.ru/fondi/libraries/?ELEMENT\\_ID=2356/](https://www.mgri.ru/fondi/libraries/?ELEMENT_ID=2356/)
3. Третьяк А.А., Рыбальченко Ю.М., Лубянова С.И., Турунтаев Ю.Ю., Борисов К.А. Буровой раствор для строительства скважин в сложных условиях. Нефтяное хозяйство № 2, 2016, с. 28 – 31. [Электронный ресурс] - режим доступа: [https://www.elibrary.ru/ip\\_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D25585938](https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D25585938)
4. Третьяк А.Я., Савенок О.В., Рыбальченко Ю.М. Буровые промывочные жидкости: учеб. пособие. печ. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 374 с. [Электронный ресурс] - режим доступа: [https://rusneb.ru/catalog/000200\\_000018\\_RU\\_NLR\\_BIBL\\_A\\_010670458/](https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_BIBL_A_010670458/)

*Анализ условий и технология вскрытия пласта с регулируемым управляемым давлением*

*Лукманов С.М.\* (МГРИ, lukmanov.sergey@mail.ru),  
Овчинников П.В. (МГРИ, ovchinnikovpv@mgi.ru)*

**Аннотация**

Такой способ бурения, называемый "регулируемым бурением", позволяет избежать прорыва нефтяных или газовых пластов и обеспечивает безопасность работы на буровой установке. Управляемое бурение также способствует улучшению производительности скважин и долговечности оборудования.

Однако существует риск перепада давления между буровым раствором и пластом, особенно при высоких скоростях циркуляции жидкости или неправильном подборе параметров бурения. Поэтому важно внимательно контролировать процесс бурения, проводить регулярную мониторинговую работу и соблюдать все безопасные технологии и нормы.

Современная технология бурения также включает в себя использование компьютерных систем управления и мониторинга, специализированного оборудования и материалов, что помогает повысить эффективность и безопасность процесса.

В настоящей статье рассматривается значимость и роль регулируемого бурения при строительстве скважин.

**Ключевые слова**

Бурение с регулируемым давлением, БРД, очистной агент, промывочная жидкость.

**Теория**

Бурение с контролируемым давлением (БРД) - это адаптивный метод, который обеспечивает точное управление давлением по всей длине ствола скважины, как в динамике, так и в статике. Специальное оборудование и программно-аппаратный комплекс позволяют безопасно определять предельные значения пластового и давления разрыва пласта и, на основе полученных данных, контролировать давление в затрубной зоне. В случае проявления газа или нефти, поступающие флюиды или газы отводятся в специализированные приемники или сжигаются на факеле без необходимости остановки бурения. Технология БРД позволяет бурить в зонах с низким или высоким пластовым давлением с минимальными рисками осложнений, устраняя необходимость спуска дополнительных обсадных колонн. На рисунке показано схематическое изображение распределения давления в скважине во время бурения со контролируемым давлением.

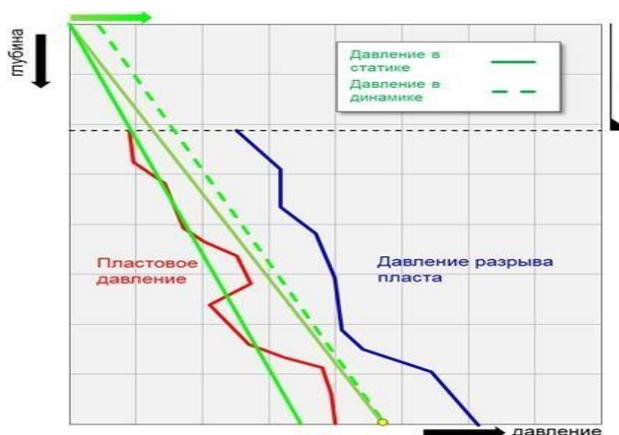


Рисунок 1. Изменение давления с глубиной при БРД

Существует несколько методов бурения с контролируемым давлением, но для Восточной Сибири наиболее приемлемым является применение мультифазных промывочных буровых жидкостей. Их основное отличие от других методов заключается в закачке газа (обычно азота) в буровую установку вместе с промывочным раствором, что снижает давление на всю длину скважины.

Преимущества технологии бурения с контролируемым давлением включают:

1. Возможность снижения градиента давления газовой жидкости в скважине;
2. Возможность динамического контроля давления без остановки бурения;
3. Минимизация эффекта “свабирования” и “порционирования” при спускоподъемных операциях;
4. Минимизация проникновения компонентов бурового раствора в продуктивную породу;
5. Раннее обнаружение проявления газа или флюидов;
6. Минимизация объема поглощенного промывочного раствора;
7. Минимизация риска “дифференциальных прихватов” и
8. Увеличение коммерческой скорости бурения.

БРД требует закрытой циркуляционной системы, которая включает:

- Герметизатор устья для направления потока жидкости на линии высокого или низкого давления.
- Дроссельный манифольд с гидравлическим дросселем.
- Автоматическая система управления забойным давлением.
- Система раннего обнаружения газонефтеводопроявлений.
- Система создания противодействия без насосов.
- Система разделения попутного и технологического газа.
- Специализированная трубная арматура для соединения основных компонентов

### **Выводы**

Управление давлением в процессе бурения — усовершенствованная форма первичного управления скважиной, созданная для предотвращения простоев и затрат непродуктивного времени, присущих традиционным способам бурения. Наиболее распространенные варианты контроля давления в процессе бурения обеспечивают возможность использования закрытой системы возврата раствора и системы, которая выдерживает высокое давление. Последнее позволяет, в свою очередь, более точно управлять профилем давления по всему стволу скважины.

Результатом данной работы стало обобщение и систематизация данных в области строительства скважин с управляемым давлением.

Научная новизна заключается в разработке указаний при возникновении осложнений при использовании технологии MPD.

### **Библиография**

1. Димитриади Ю.К. Вскрытие газоносного пласта бурением с управляемым притоком газа. – 2003. – 67 с.
2. Димитриади Ю.К., Бекетов С.Б. Вскрытие продуктивных отложений с управляемым притоком газа (с использованием метода регулирования давления в скважине). // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2004. – 82 с.
3. Тагиров К.М., Гноевых А.Н., Лобкин А.Н. Вскрытие продуктивных нефтегазовых пластов с аномальными давлениями. М. – 1996.
4. Чернухин В.И. Разработка технологии бурения скважин с регулируемым давлением на забой. - 2005. – 83 с.

*Регулирование свойств БРМП для бурения в проницаемых горных породах  
Медведева Д.К.\* (МГРИ, kudryavtsevadk@mgri.ru),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)*

**Аннотация**

В настоящее время многие месторождения нефти и газа имеют падающие добычи с одновременным возникновением аномально низких пластовых давлений (далее – АНПД). Распространенный метод бурения скважин в описанных условиях – бурение на депрессии, где большую роль играет плотность промывочной жидкости, определяющая давление на забое. Таким образом, определяется необходимость использования облегченных буровых растворов, каким является буровой раствор с микропузырьками воздуха (далее – БРМП). Данная система также предназначена для закупоривания пор и трещин в условиях проникновения в проницаемую породу.

**Ключевые слова**

Буровой раствор, микропузырьки воздуха, оболочка, бурение скважин, кольматирующее действие.

**Теория**

В лаборатории буровых растворов кафедры современных технологий бурения скважин был создан буровой раствор с микропузырьками воздуха (далее – БРМП), который является перспективным решением практических задач бурения в зонах поглощений. Важно, что механизм формирования и свойства микропузырьков все еще недостаточно хорошо изучены, поэтому в существующих научно-технических статьях и патентах имеются только упоминания о перспективах применения аналогов созданной системы.

БРМП – это раствор на водной основе, где микропузырек имеет трехслойную оболочку, которая ярко выражена на рисунке 1, она оказывает защитное влияние за счет двойного слоя молекул поверхностно-активных веществ (далее – ПАВ), примыкающих к сердцевине пузырька, где один слой является гидрофобным, а второй – гидрофильным [4].



Рисунок 1. Фотография БРМП под микроскопом

Посредством окрашивания жидкостной среды микроскопические исследования впервые показали, что сердцевина пузырька состоит не из водной составляющей раствора, а из воздуха, так как внутренность пузырька имеет белый (бесцветный) цвет, что неидентично с цветом жидкой фазы (грязный изумрудный). Полученный результат представлен на рисунке 2.

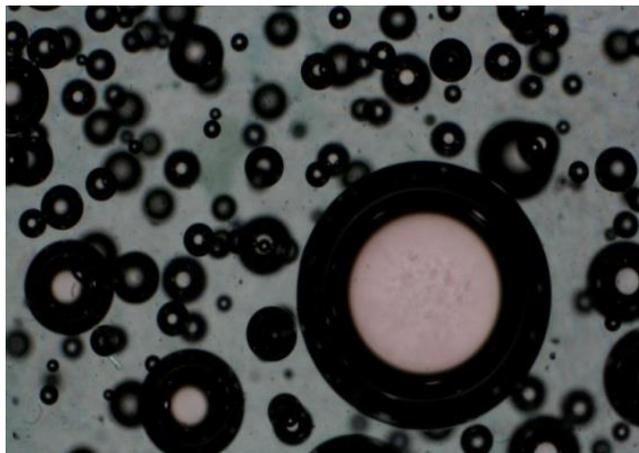


Рисунок 2. Фотография БРМП под микроскопом с подкрашенной водной средой

В целях определения наиболее жизнеспособного БРМП в части необходимых нам низких показателей плотности был проведен ряд лабораторных работ с изменением концентраций химических реагентов в составе раствора, иллюстрация полученных фотографий под десятикратным увеличением представлена на рисунке 3, где слева на право происходит увеличение процентного соотношения структурообразователя: 0,3 %, 0,4 % и 0,6 % соответственно.



Рисунок 3. Фотография БРМП под микроскопом при различной концентрации структурообразователя

В процессе исследования значений плотности полученных образцов БРМП в зависимости от концентрации полимера в растворе определен наиболее эффективный состав компонентов, который позволяет достичь плотности равной  $0,675 \text{ г/см}^3$ . Также исследования образцов под микроскопом показали, что размеры полученных пузырьков различны, что может обеспечить кольматацию неоднородных по размеру трещин.

Важный фактор для практического применения БРМП – величина времени стабилизации системы, которая определяется соотношением силы Архимеда, силы тяжести и силы вязкого трения. Процесс всплывания пузырьков хорошо описывается законом Стокса. В результате анализа выявлено, что пузырьки в БРМП по своим размерам относятся к микропузырькам, которые за один час могут всплыть лишь на 20 см [1], что аргументирует повышенную стабильность системы. Путем лабораторных исследований выявлено, что стабильность раствора без заметного его уменьшения в объеме продолжалась 180 минут (3 часа).

Произведен расчет на исследование длины молекулы (т.е. толщины адсорбционного слоя), применяя систему уравнений Ленгмюра и Гиббса определен коэффициент поверхностного натяжения БРМП, который равняется  $0,061 \text{ Н/м}$ , что доказывает устойчивость оболочки микропузырька в растворе к воздействию внешних факторов [4].

Следующим этапом исследований было определение параметров течения БРМП. Лабораторное исследование состояло в определении реологические параметры, которые играют важную роль, таких как: пластическая вязкость, предел текучести и статическое напряжение сдвига при различных температурах, так как они определяют величину критической скорости транспортирования шлама и определяют эффективность удержания этих частиц при остановке циркуляции или при низких значениях скорости течения раствора [2].

Полученные данные сведены в таблицу 1, по которым построена графическая зависимость параметров течения бурового раствора в зависимости от изменения воздействующих факторов, представленная на рисунке 4.

Таблица 1

Сводные данные лабораторных исследований БРМП

Параметр	Температура исследования образца, °С		
	20 - 27	45 - 50	71 - 80
PV – пластическая вязкость, сП (600 об/мин за 15 с)	22,5	22,5	11,5
YP – предел текучести, Па (600 об/мин за 10 с)	25,2	23,8	23,1
10 sec Gel (СНС за 10 с)	5,8	7,0	6,6
10 min Gel (СНС за 10 мин)	7,7	3,2	5,1

В процессе проведения экспериментов было отмечено, что при нагревании опытных образцов до 80 °С значительно увеличивался объем образовавшейся пены в результате расширения воздуха в микропузырьках, при этом не зафиксированы их всхлопывания.

По полученным данным наглядно видно, что до 50 °С значение пластической вязкости совсем не изменилось, но при увеличении до 80 °С происходит резкое снижение параметра в 2 раза, при этом предел текучести не снижается постепенно.

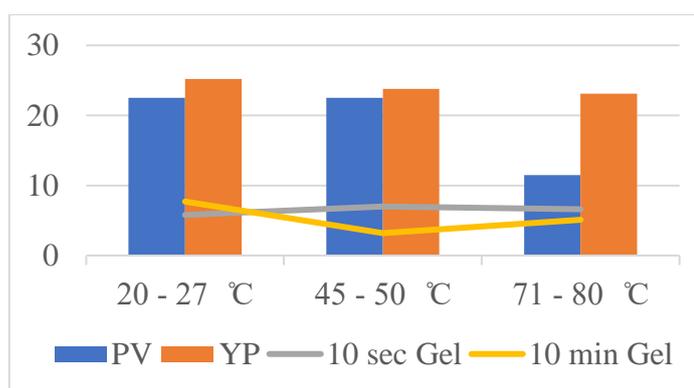


Рисунок 4. График зависимости реологических параметров БРМП от значений температуры

### Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что БРМП является перспективным для дальнейших исследований его параметров. Следующий ряд

лабораторных анализов будет направлен на определение поверхностного натяжения раствора на границе раздела жидкость – воздух лабораторным путем по методу Дю Нуи (метод отрыва кольца) и построение изотермы для ПАВ [3].

### **Благодарности**

Выражаем слова признательности и благодарности кафедре петрографии МГРИ за содействие и помощь в исследовании БРМП под микроскопом.

### **Библиография**

1. Евдокимов И.Н./«Наножидкости» и «умные жидкости» в технологиях разработки нефтегазовых месторождений: Учебное пособие для вузов. – М.: ООО «Издательский дом Недр», 2016. – 247 с.: ил.
2. Кудрявцева Д.К., Соловьев Н.В., Курбанов Х.Н./Параметры полимерных буровых растворов как основа приготовления газожидкостных смесей для условий АНПД // Новые идеи в науках о Земле Материалы XIII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 54-55.
3. Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С./Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи: учебно-методическое пособие/ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016.- 24с.
4. Соловьев Н.В., Кудрявцева Д.К./Исследование влияния параметров полимерной оболочки микропузырьков на свойства облегченных буровых растворов //Новые идеи в науках о Земле Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах. 2019. С. 263-266.

*Использование ферроуранового сплава в изготовлении  
утяжеленных буровых труб (УБТ)*

*Маслак С.В.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [maslak.s99@gmail.com](mailto:maslak.s99@gmail.com)),  
Белов А.П. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, [econg3@yandex.ru](mailto:econg3@yandex.ru))*

**Аннотация**

При бурение нефтегазовых и геологических скважин почти всегда требуется применение утяжеленных буровых труб (далее УБТ). При современной технологии изготовления они делаются из стали, как и простые буровые трубы. Разница в удельном весе достигается за счет разницы в геометрических размерах. Это влечет за собой нежелательные последствия, такие как увеличенное гидравлическое сопротивление и усложнение наращивания колонны. Так же, в некоторых геологических условиях требуемая длина УБТ больше глубины скважины, пройденной на этом участке. Использование сплава стали и обедненного урана (далее ферроуран) является возможным решением данной проблемы.

**Ключевые слова**

УБТ, бурение, ферроуран, буровые трубы.

**Теория**

В 20х годах прошлого века в Соединённых Штатах Америки проводились эксперименты по использованию сплава стали и урана. Этот сплав, именуемый ферроуран, использовался для создания инструментов, и имел схожие свойства с инструментальными сталями того времени. Однако, он вскоре вышел из использования.

Метод его изготовления хорошо изучен, не требует дорогих исходных материалов, используют простое оборудования и почти не производит отходов.

Для наглядного сравнения (рис.1) можно посмотреть на чертеж УБТ и обыкновенных буровых труб, размеры которых равны ферроурановым УБТ при втором методе.

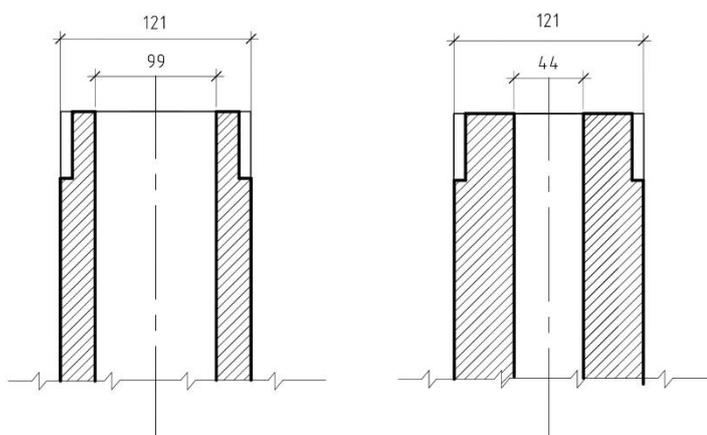


Рисунок 1. Сравнительный чертеж

Изготовление ферроурана не требует дорогого сырья или оборудования. Для изготовления него используется кокс, сталь, уран (в чистом виде, уранат натрия или оксид) и флюорит. Сталь, источник урана, флюорит и кокс нагревается в электродной печи. Полученный шлак можно использовать повторно как источник урана, из-за чего можно использовать до 95% урана. Соотношение материалов зависит от требуемого количества урана в сплаве. Например, для

сплава с 30% содержанием массовые пропорции составляют стали к оксиду урана к коксу к флюориту составляют 20 к 15 к 12 к 16.

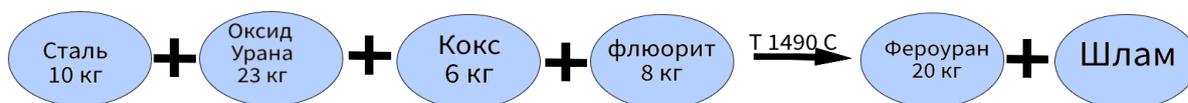


Рисунок 2. Диаграмма изготовления

Так как ферроуран не нашел широкого применения, данные о его механических свойствах не известны. Несмотря на это, учитывая что его применением было изготовление инструментов можно с уверенностью сказать что его характеристики сопоставимы с инструментальными сталями. Его плотность около 15 г на см<sup>3</sup>, то есть около двух раз плотнее стали, а радиоактивность незначительна. Именно первое свойство является самым важным.

Для сравнения ферроурановых и стальных УБТ (рис.3,4) берутся буровые трубы диаметром в 121мм. Обыкновенные бурильные трубы будут иметь массу 32 кг на метр трубы и внутренний диаметр в 99мм. Утяжеленные трубы будут иметь массу в 78 кг, но внутренний диаметр всего лишь 44мм. Ферроурановые УБТ, будут иметь массу погонного метра в 64 кг, на 18% меньше, но внутренний диаметр как и у простых труб в 99 мм. Если же размер ферроуранового УБТ совпадает с размером стальной, то его масса будет целых 156 кг.



Рисунки 3,4. Буровые трубы и УБТ

В данном случае есть три метода использования ферроурана для изготовления бурильных труб.

Первый метод подразумевает изготовление труб таких же геометрических размеров, как и стальные УБТ. Из-за гораздо большего удельного веса требуемая длина УБТ падает два раза. Это особенно полезно в тех геологических условиях, требующих длинную компоновку.

Второй метод предполагает изготовление труб, геометрически идентичными простым бурильным трубам. Это упрощает наращивание и хранение, а также уменьшает гидравлические сопротивления. Из-за этого ферроурановые УБТ в разы лучше типичных стальных.

Третий вариант промежуточный. Стенка труб толще чем у простых труб, но меньше, чем у стальных УБТ. В этом случае получается компромиссное решение для оптимальной геометрии труб.

### Выводы

Ферроуран не нашел широкого применения в роли инструментального сплава. Однако, благодаря своему высокому удельному весу ферроуран может занять свою нишу в нефтегазовом

и геологическом деле. Этот сплав, скорее всего, не сможет вытеснить популярные стали, привычные инженерам горного дела. Однако является интересной альтернативой Ферроурановые УБТ могут решать, как и специфичные задачи, так и более тривиальные. К тому же, его комбинация свойств может быть полезна не только для нужд изготовления УБТ, но и в других ситуациях, где может потребоваться такой удивительно тяжелый и прочный материал.

### **Библиография**

1. Патентный офис США, 11 сентября 1917 год, PROCESS OF MANUFACTURING FERRO-URANIUM;
2. ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ / Петина В.А., Соловьев Н.В., Щербакова К.О., Овезов Б.А. В сборнике: СБОРНИК ТЕЗИСОВ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ. Ижевск, 2022. С. 342-346.
3. Патент номер 252238 Утяжеленная Бурильная Труба от 22 сентября 1969 года;
4. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ / Петина В.А., Овезов Б.А., Щербакова К.О. В сборнике: Наука и творчество: вклад молодежи. Сборник материалов всероссийской молодежной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Махачкала, 2022. С. 133-135.
5. ГОСТ 32696— 2014 трубы стальные бурильные для нефтяной и газовой промышленности;
6. Каталог Продукции Бурильных труб от ГазНефтеМаш.

**Бурение эксплуатационной наклонно-направленной скважины в условиях  
газонефтеводопроявлений на Малобалыкском нефтяном месторождении (Тюменская  
область)**

**Юмагулова Э.И.\* (МГРИ, [elvik.yumagulova@mail.ru](mailto:elvik.yumagulova@mail.ru)),  
Вайнерман Б.П. (МГРИ, [bwinerman@yandex.ru](mailto:bwinerman@yandex.ru))**

**Аннотация**

В процессе разработки нефтяных месторождений необходимо бурение как вертикальных, так и наклонно-направленных скважин. В ряде случаев целесообразно бурить наклонно-направленные скважины с горизонтальным окончанием.

В процессе бурения вскрываются пласты коллекторы с разными пластовыми давлениями. В некоторых случаях возникают газонефтеводопроявления, которые могут приводить к аварийным ситуациям и осложнять проводку скважины.

В работе рассмотрены некоторые аспекты выявления и предотвращения газонефтеводопроявлений на примере бурения наклонно-направленной скважины на Малобалыкском нефтяном месторождении.

**Ключевые слова**

Месторождение, скважина, наклонно-направленное бурение, газонефтеводопроявления.

**Теория**

Малобалыкское месторождение в административном отношении расположено на территории Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области Нефтеюганского района. Районный центр – город Нефтеюганск расположен в 64 км к северу от Малобалыкского месторождения (рис. 1).



Рисунок 1. Обзорная карта района работ

С 1984 года Малобалыкское месторождение находится в разработке. Оператором месторождения является российская нефтяная компания Роснефть.

На месторождении создана развитая инфраструктура, включающая пункт перекачки нефти, 4 дожимных и 9 кустовых насосных станций.

Добывающий фонд состоит из более 1,5 тыс. скважин, площадь месторождения составляет порядка 5 тыс. км<sup>2</sup>. Проводится интенсивное бурение и ввод новых скважин.

На рис. 2 представлена структурная карта по кровле коллекторов пласта Ач3 с нанесением пробуренных скважин и категорий запасов нефти.

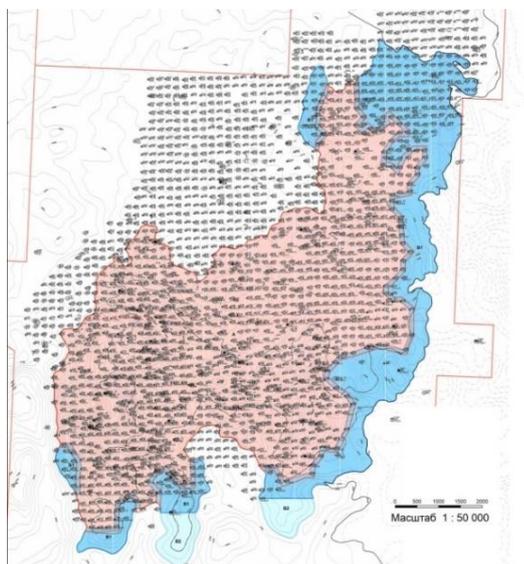


Рисунок 2. Структурная карта по кровле коллекторов пласта Ач3

Малобалыкское месторождение является многопластовым. На рис. 3 показан геологический разрез месторождения, на котором отражены нижнемеловые отложения с пластами Ач1, Ач2 и Ач3 [1].

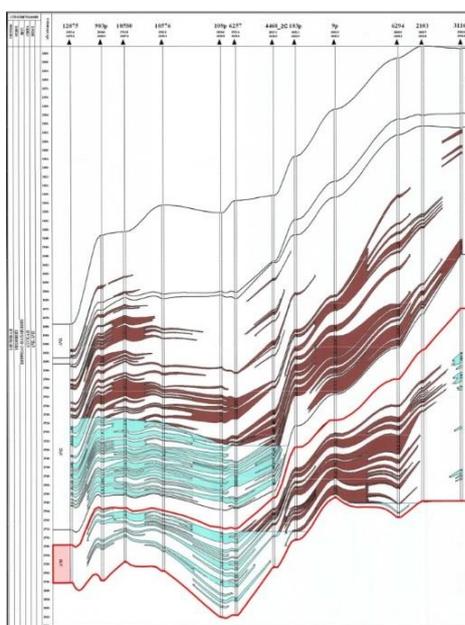


Рисунок 3. Геологический разрез Малобалыкского месторождения

При проведении ремонтных и профилактических работ на нефтяных скважинах во избежание поступления флюида в ствол скважины они останавливаются – глушатся, создается

противодавление на пласт [2]. В настоящее время в мировой практике существуют два основных метода ликвидации проявлений при бурении скважин.

1 метод: «Уравновешенного пластового давления», где  $P_{заб} > P_{пл}$  или  $P_{заб} = const$ .

Метод предусматривает обеспечение постоянного забойного давления, по значению несколько превышающего пластовое на протяжении всего процесса глушения. При использовании этого метода поступление флюида из пласта немедленно приостанавливают и предотвращают возможность его нового поступления на протяжении всего процесса глушения. Имеется 4 способа осуществления данного метода.

Способ №1 «Способ непрерывного глушения скважины» (в один цикл). Скважину начинают глушить немедленно после ее закрытия, при постоянном утяжелении раствора, используемого для циркуляции, т.е. совмещая процесс вымывания пластового флюида с повышением плотности до необходимых значений. Данный способ наиболее безопасный, но и наиболее сложный из-за необходимости построения графика давления в трубах.

Способ №2 «Ожидания и утяжеления». После закрытия скважины предварительно утяжеляют необходимый объем раствора до требуемой плотности в запасных емкостях, а затем проводят глушение. Способ весьма опасен, так как всплывающий по затрубному пространству газ создает на устье скважины избыточное давление, что может привести к разрыву колонны или гидроразрыву пласта.

Способ №3 «Двухстадийное глушения скважины». В начале промывают скважину с противодавлением в целях ее очистки от пластовых флюидов – стадия вымыва пластового флюида, затем останавливают циркуляцию, увеличивают плотность раствора в запасных емкостях и глушат скважину – стадия глушения. Способ безопасен и нуждается в минимуме расчетов.

На рис. 4 показана последовательность операций при глушении газонефтеводопроявлений в течение одного цикла.

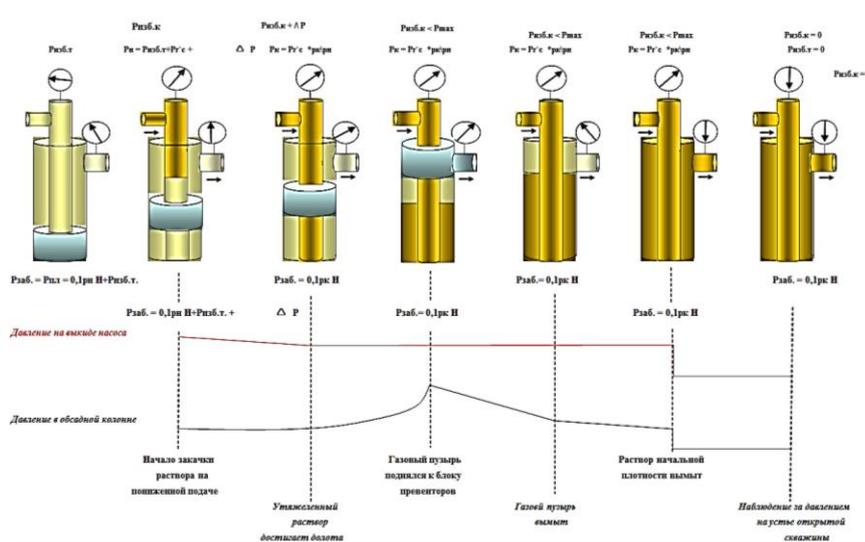


Рисунок 4. Последовательность операций при глушении ГНВП в течение одного цикла

Способ №4 «Двухстадийный растянутый». В начале промывают скважину с противодавлением в целях ее очистки от пластовых флюидов, а затем постепенно увеличивают плотность раствора без прекращения циркуляции. Способ используется весьма редко [3].

2 метод: «Ступенчатого глушение скважин».

Используется, когда в процессе глушения скважины давление в колонне перед дросселем станет превышать максимально допустимое в самой колонне. Тогда дроссель приоткрывают,

давление в колонне снижается, но одновременно забойное давление становится ниже пластового. Флюид вновь поступает в скважину. Дроссель прикрывают и промывают скважину до следующего пика давления и так далее до тех пор, пока не заполнят скважину утяжеленным раствором [4].

На рис. 5 показана последовательность операций при глушении газонефтеводопроявлений в течение двух циклов.

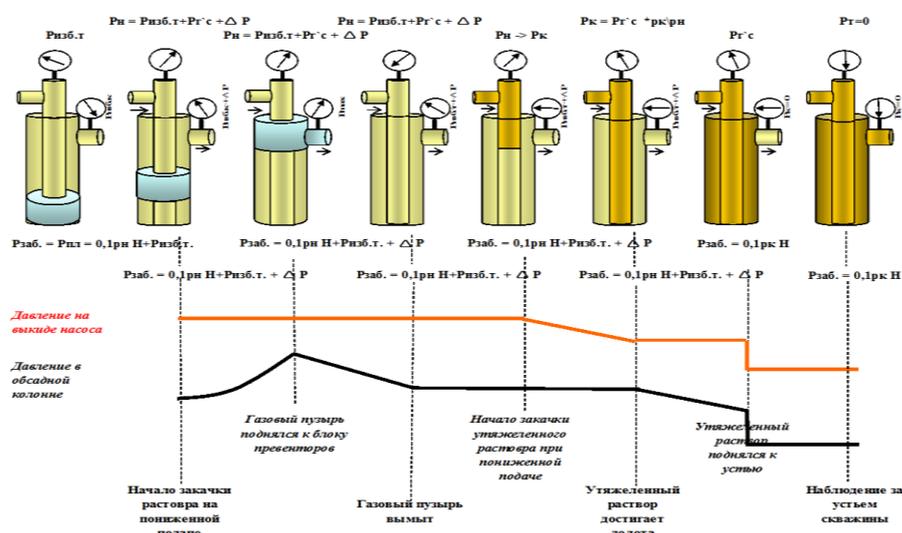


Рисунок 5. Последовательность операций при глушении ГНВП в течение двух циклов

### Выводы

Глушение скважины может производиться несколькими методами: чаще всего для этого используют специальные жидкости или пену. Благодаря этим веществам можно создать нужный уровень давления в забое, который превысит показатель пластового. Растворы могут быть на водной основе с содержанием солей или элементов для придания определенной густоты, а в качестве пены применяются двух- и трехфазные составы.

### Библиография

1. Оперативный подсчет запасов по Малобалыкскому месторождению. ПАО «Роснефть», г. Нефтеюганск. 2017.
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/praktika-glusheniya-skvazhin/viewer>
3. [https://studopedia.ru/1\\_76784\\_metod-uravnoveshennogo-plastovogo-davleniya.html](https://studopedia.ru/1_76784_metod-uravnoveshennogo-plastovogo-davleniya.html)
4. <https://www.geolib.net/tkrs/gnvp.html>

*Разработка технологических мероприятий по профилактике прихватов на  
месторождении*

*Мухаметдинов Ю.И.\* (МГРИ, muhametdinovulaman@gmail.com),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)*

**Аннотация**

В данной работе рассматриваются причины, приводящие к прихвату бурильной колонны и профилактике этих прихватов. Одним из наиболее серьезных и распространенных осложнений, встречающихся при бурении скважин, является прихват бурильной колонны. Прихватом называется потеря подвижности бурильной колонны или скважинных приборов, которая не восстанавливается даже при приложении максимально допустимых нагрузок. Главным образом прихватом образованию способствуют: горно-геологические условия вскрываемого разреза; неудовлетворительная очистка ствола скважины от шлама; сужения и потери устойчивости ствола скважины вследствие осыпей, обвалов и ползучести горных пород; сальнико- и желобообразования; седиментационная неустойчивость бурового раствора; продолжительное оставление инструмента в скважине без движения; прижатие колонны труб вследствие перепада давления в скважине и пласте.

**Ключевые слова**

Прихват, бурильная колонна, профилактика, осложнения, устойчивость глинодержащих пород, буровой раствор, желобообразование, компоновка низа бурильных колонн.

**Теория**

Прихват бурильной колонны характеризуется невозможностью вертикальных перемещений и вращений инструмента в пределах допустимых нагрузок, а в некоторых случаях - потерей циркуляции. На возникновение прихватов существенно влияют физические свойства фильтрационных корок (липкость, прочность структуры, связанность частиц, пористость, проницаемость), контактирующих с бурильным инструментом. Действие других факторов (температура, противодействие, качество смазочной добавки к буровому раствору, искривление ствола скважины, тип бурового раствора, проницаемость породы и фильтрационной корки, характер циркуляции) или не исследовали, или исследовали недостаточно, хотя в возникновении прихватов они (в ряде случаев) играют решающую роль. [7]

Прихваты бурильных колонн возникают при возникновении перепада давления, под действием которого происходит прилипание колонны бурильных труб и потеря их подвижности. Происходит это не только при наличии градиента давления, но и в местах сужения ствола скважины, заклинивания в самих желобах, по причине обвалов и осыпей стенок разбуриваемой скважины и сальникообразования в затрубном пространстве [5]. Стоит отметить, что прихваты бурильных колонн можно отнести к наиболее тяжкому и, к сожалению, распространенному виду осложнений, которые чаще всего приходится ликвидировать забуриванием нового ствола практически, что особенно актуально в скважинах с большой глубиной [8]. Возникновение прихватов и затяжек бурового инструмента и обсадных колонн обуславливается различными факторами, для предупреждения и ликвидации которых требуется применять определенные технологии. С целью рационального выбора технологии применяется следующая классификация:

**1. Дифференциальные прихваты**

Наиболее распространенным видом прихвата является дифференциальный прихват, встречающийся практически в 80% случаев подобных осложнений, особенно в процессе строительства наклонно-направленных скважин с продольным горизонтальным участком ствола. Дифференциальный прихват характеризуется вдавливанием бурильной колонны на открытой

поверхности ствола скважины в глинистую фильтрационную корку под действием дифференциального давления в проницаемой части пласта. В следствие чего становится крайне сложно сдвинуть колонну с места из-за сильного возрастания силы трения и сил поверхностного натяжения между бурильной колонной и породой пласта.

2. Прихваты и затяжки, обусловленные механическим воздействием

1) Сальникообразование.

2) Прихват, вызванный оседанием твердой дисперсной фазы промывочной жидкости.

3) Потеря устойчивости стенок ствола скважины, а именно осыпи и обвалы.

4) Заклинивание колонны труб, характеризующееся жестким сопротивлением вращению бурильной колонны и ее продольному перемещению [1].

Меры по предотвращению прихватов определяются прежде всего на стадии разработки проекта строительства скважины или группового технического проекта ряда скважин с однотипными проектными решениями. Устранение или минимальная возможность возникновения прихватоопасной ситуации в конкретных горно-геологических условиях решается по определенным направлениям [3]. Выбор конструкции скважины производится на основе выделения зон с несовместимыми условиями бурения и разобщения их спуском и цементированием обсадных колонн. Определяются прихватоопасные интервалы и устанавливаются разновидности прихватов, которые могут возникнуть при бурении их. Выбирается вид промывочной жидкости, соответствующий горным породам геологического разреза. Предъявляются современные требования к промывочной жидкости, способной предотвратить прихваты труб, включают необходимость быть инертной по отношению к породам в целях нерастворения их и неснижения прочности стенок скважины, обладать хорошей смазочной способностью и малым содержанием твердой фазы. При расчете плотности бурового раствора для вскрытия нефтегазоводонасыщенных пластов, включенных в один интервал совместимых условий, выбирается пласт с максимальным градиентом пластового давления. Выбор минимального превышения гидростатического давления столба бурового раствора над пластовым (репрессия) производится в соответствии с имеющимися рекомендациями [6].

Устойчивость горных пород, представленных глинами, аргиллитами, глинистыми сланцами и солями, склонными к обвалам и текучести, определяется выбором соответствующих параметров бурового раствора, в частности, плотности и фильтрации. При определении плотности раствора из условия обеспечения устойчивости пород принимается допущение о том, что депрессия на стенке скважины должна быть на уровне 10 -15 % эффективных (скелетных) напряжений, равных разнице между горным и пластовым (поровым) давлением [4]. Разработка режима промывки должна учитывать энергетические показатели работы гидравлического забойного двигателя, эффективность удаления шлама с забоя и установления такого режима течения бурового раствора в кольцевом пространстве, который хорошо выполняет функции гидротранспорта шлам к устью скважины.

При современной тенденции увеличения глубины скважины проблема прихватов бурильной колонны возрастает. Однако в результате значительного влияния геологических условий, которые очень трудно контролировать и которыми невозможно управлять, даже при соответствующей технологии имеется вероятность возникновения осложнений и аварий, иногда неизбежных. Поэтому необходимо не только прогнозировать возможные осложнения и управлять технологией их предупреждения, но и снижать риски возникновения аварий, обеспечивать возможность своевременного принятия мер по предупреждению и ликвидации аварии [3].

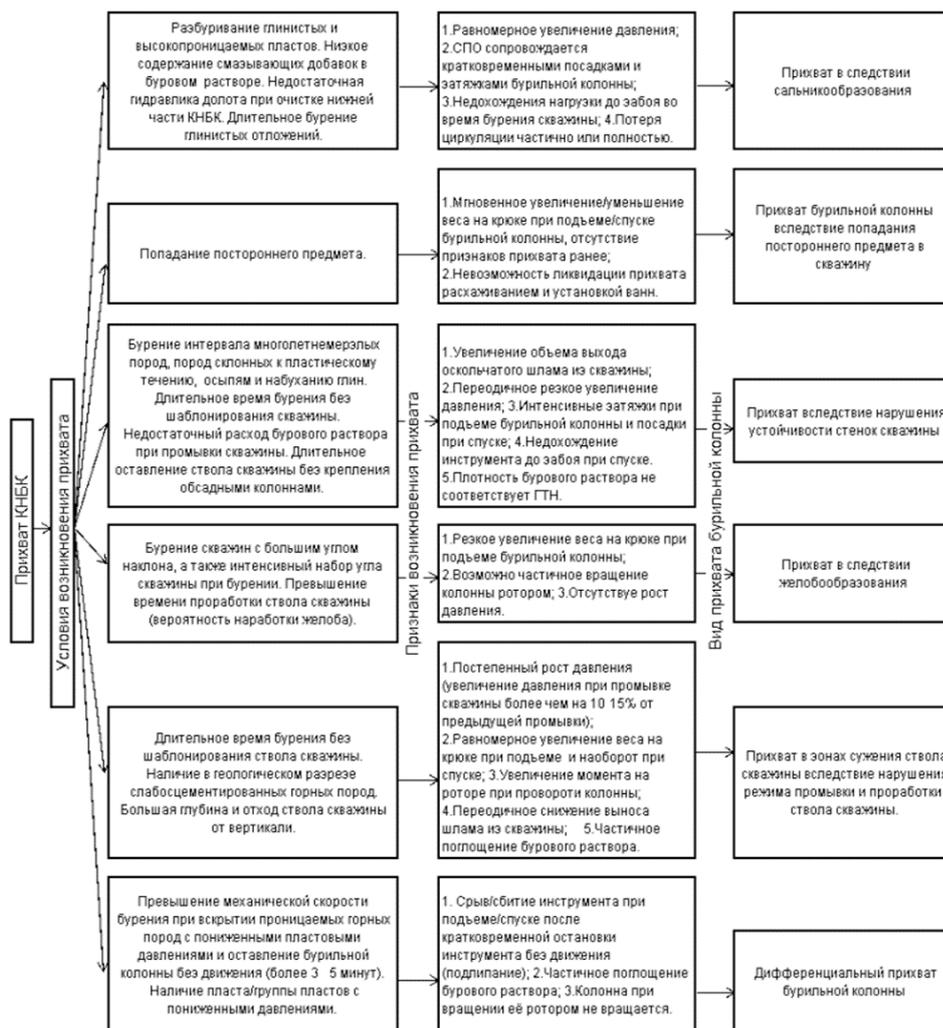


Рисунок 1. Схема определения вида прихвата буровой колонны [4]

Профилактические меры по устранению прихватов сводятся к устранению или уменьшению, удерживающих сил буровую колонну до уровня, при котором их можно преодолеть. Эффективность профилактики по устранению прихвата, как всегда, предопределяется правильностью выбора способа или набора способов, которые бы отвечали и соответствовали типу прихвата. Выбору технологического решения предшествует определение места прихвата и диагностика типа прихвата. Время, прошедшее с начала прихвата, является, как правило, фактором, усугубляющим осложнение. Поэтому все необходимые измерения следует делать оперативно, а до начала операции проводить работы (промывку, расхаживание и т.п.) с целью воспрепятствования возникновения осложнений [2].

### Выводы

Для предупреждения осложнений необходимы следующие мероприятия: использование рациональной конструкции скважины; применение бурового раствора, свойства которых способствуют предупреждению прихвата колонны и обеспечению устойчивого состояния пород, слагающих стенку скважин; нормирование превышения гидростатического давления над пластовым; недопущение непланируемого искривления ствола скважины; предупреждение образования желобов и ликвидацию желобных выработок в стенках скважин; применение

противоприватных компоновок низа бурильных колонн; использование специальных приспособлений и устройств, предупреждающих заклинивание колонн труб в скважине в процессе бурения и при выполнении спускоподъемных операций, применение опорно-центрирующих элементов компоновки низа бурильной колонны.

### **Библиография**

1. Классификация прихватов и затяжек бурильных колонн/В.С.Смирнов, А.К.Григорьев, В.П.Паскудин-Москва.: Металлургия, 1975.-С.272
2. Липатов Е. Ю. Исследование и разработка технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 128 с.
3. Овчинников В.П. Справочник бурового мастера: научно-практическое издание / В.П. Овчинников, С.И. Грачев, А.А. Фролов. – Тюмень, 2006. – 691с.
4. Предупреждение и ликвидация осложнений, аварий и брака при строительстве скважин : учебное пособие / И. Г. Яковлев, В. П. Овчинников, А. Ф. Семенов, Т. М. Семенов. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2014 — 156 с.
5. Пустовойтенко И.П. Предупреждение и ликвидация аварий в бурении. -М.: Недра, 1988. -279 с
6. Самотой А.К., Предупреждение и ликвидация прихватов труб при бурении скважин. -М.: Недра, 1979. -188 с.
7. Соловьев, Е.М. Заканчивание скважин [Текст]/ Е.М. Соловьев. – М.: Недра, 1979 – 303 с.
8. Хузина Л.Б. Техничко-технологическое решение для снижения коэффициента трения бурильной колонны о стенки скважины при бурении скважин с горизонтальным участком / Л.Б. Хузина.

***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-технологические мероприятия (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].

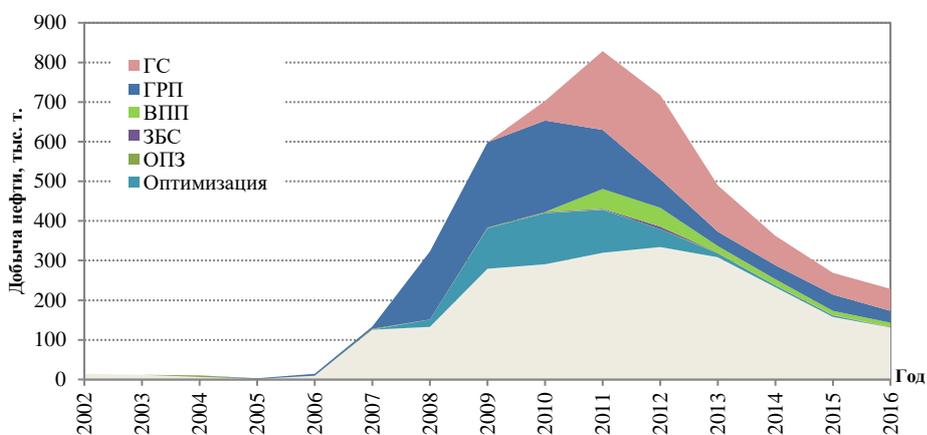


Рисунок 1 – Динамика изменения объемов, дополнительной добычи нефти от ГТМ

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]

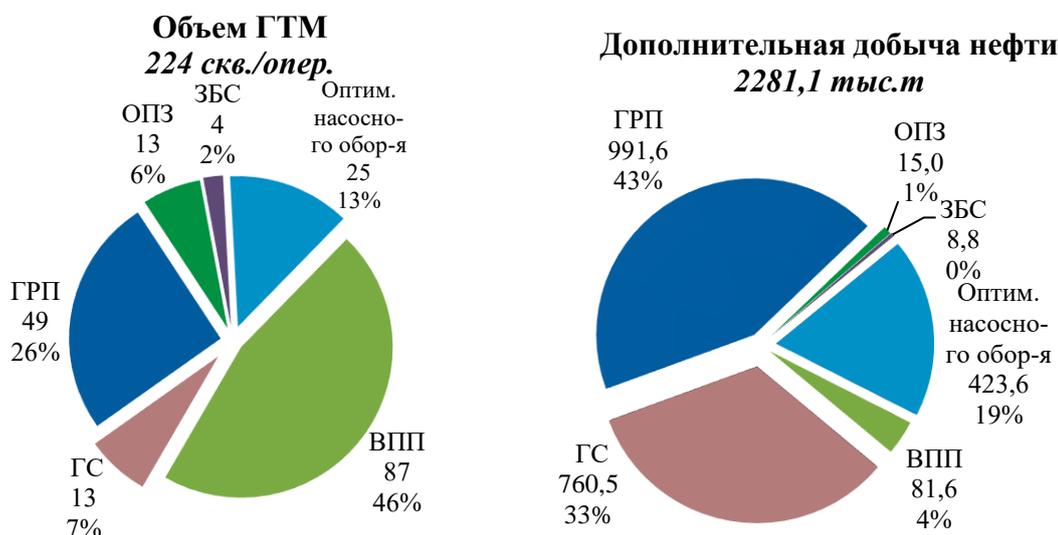


Рисунок 2 – Распределение объема проведенных ГТМ и дополнительной добычи нефти

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 геологические 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.

***Использование полимерных промывочных жидкостей в процессе бурения наклонно-направленных скважин на Ай-Пимском нефтяном месторождении (Тюменская область)***

***Ярмиева К.И.\* (МГРИ, kariyarm@mail.ru),  
Вайнерман Б.П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)***

**Аннотация**

Технология строительства скважин состоит из ряда последовательных операций: бурение и первичное вскрытие продуктивных пластов; крепление, вторичное вскрытие и освоение скважин. Успешное проведение этих операций во многом определяется правильным выбором типа и параметров технологических жидкостей

Основной задачей массового эксплуатационного бурения является обеспечение повышения скорости проходки при минимальных затратах. Буровые растворы с низким содержанием твердой фазы наилучшим образом подходят для реализации этой задачи. Техно-экономические показатели бурения, устойчивость разбуриваемых горных пород, сохранение коллекторских свойств продуктивного пласта связано с физико-химическим взаимодействием технологических жидкостей с породами, слагающими стенки скважин, и пластовыми флюидами. Поэтому решение вопроса выбора технологических жидкостей, обеспечивающих качественную и безаварийную проводку скважин и при этом оказывающих минимально возможное негативное воздействие на природную среду, является весьма актуальным.

В данной работе отражены технико-экономические показатели при использовании полимерных промывочных жидкостей в процессе бурения наклонно-направленных скважин на Ай-Пимском нефтяном месторождении.

**Ключевые слова**

Месторождение, скважина, наклонно-направленное бурение, полимерные промывочные жидкости.

**Теория**

Ай-Пимское нефтяное месторождение находится на территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области в 200 км на северо-запад от г.Сургут. (рис. 1).

Запасы углеводородов Ай-Пимского месторождения подсчитаны «СургутНИПИнефть» и утверждены ГКЗ Роснедра в 2009 году (протокол от 24.04.2009 №1910-деп). Последний оперативный подсчет запасов по Ай-Пимскому месторождению по пласту АС12 был выполнен в 2015 году (протокол Роснедра №03 18/136-пр от 07.04.2015), по пластам ЮС2/1 и АС11 - в 2016 году. [3]

Действующим проектным документом является «Дополнение к технологической схеме разработки Ай-Пимского нефтяного месторождения» (протокол ЦКР Роснедр по УВС №5621 от 23.05.2013). На месторождении выделено четыре эксплуатационных объекта -АС11+АС12, АЧ2-4, ЮСА, ЮС2/1.

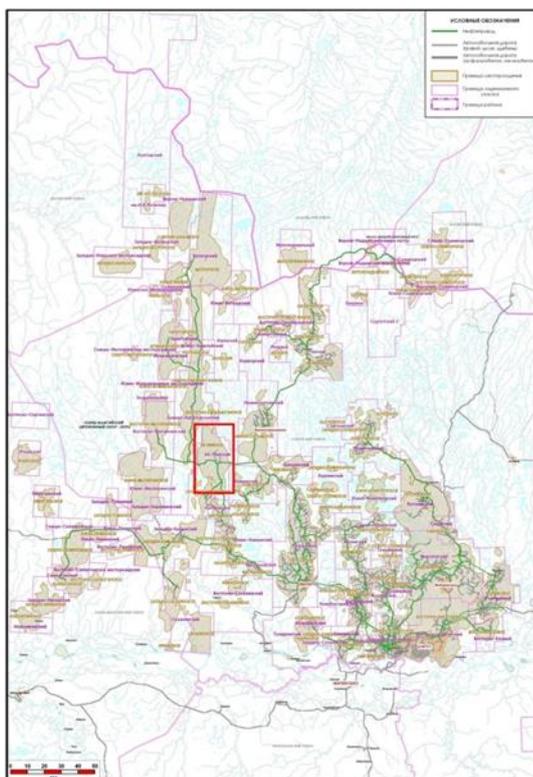


Рисунок 1. Обзорная карта района работ

Ай-Пинское месторождение является многопластовым. На примере пласта АЧ4 показаны фрагменты геологического строения одного из объектов разработки. На рис. 2 представлена структурная карта по кровле коллекторов пласта АЧ4. На рис. 3 показан геологический разрез пласта АЧ4.

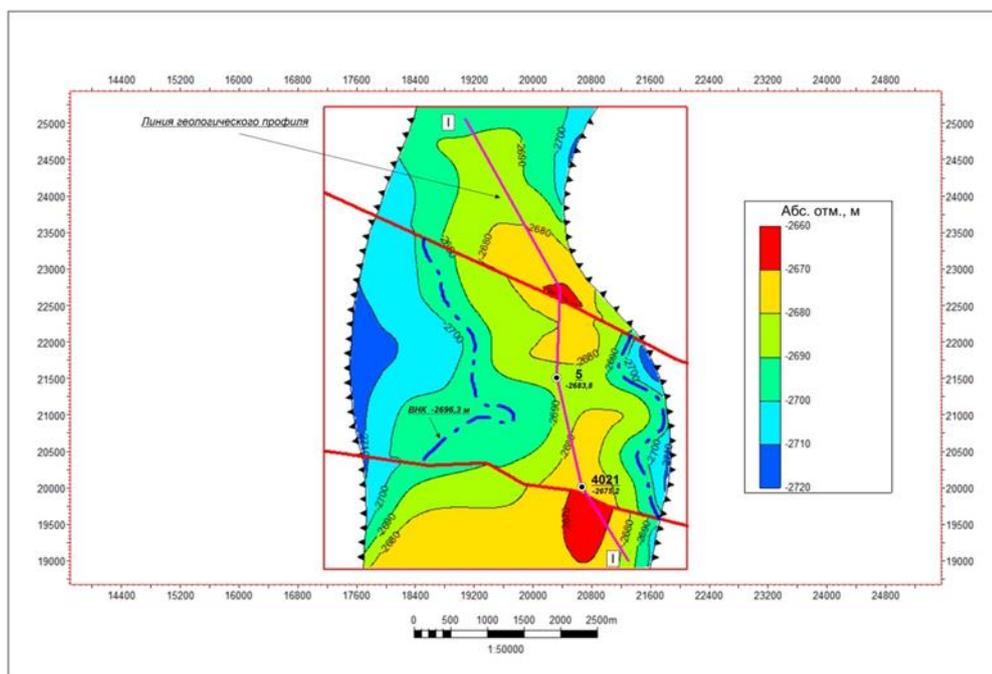


Рисунок 2. Структурная карта по кровле коллекторов пласта АЧ4

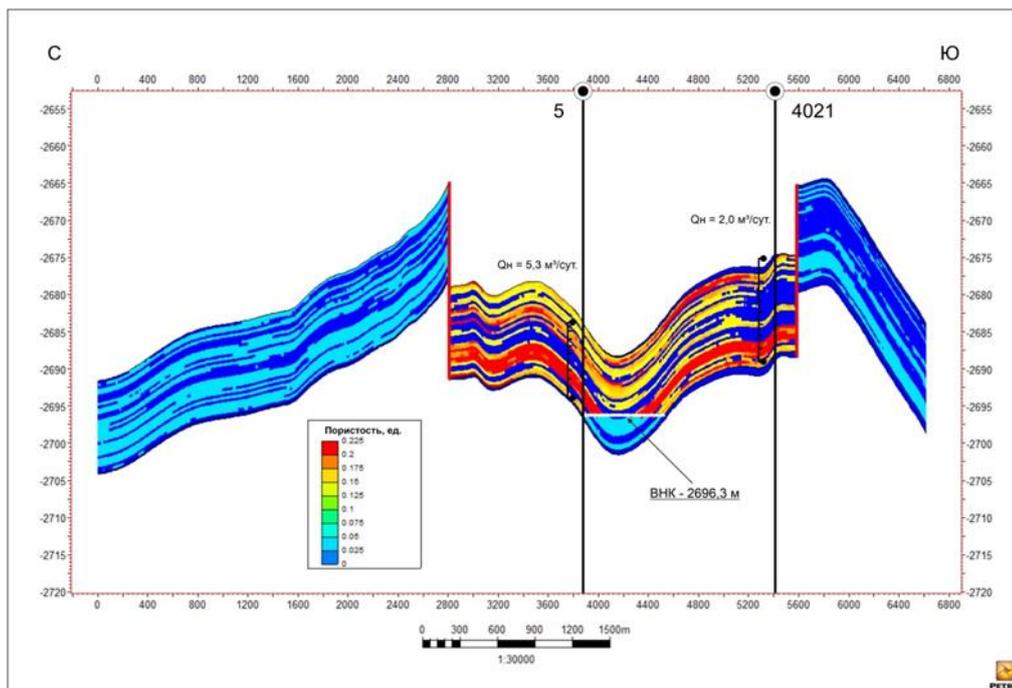


Рисунок 3. Геологический разрез пласта АЧ4

Вопрос о причинах нарушения целостности ствола скважины в интервалах залегания легко диспергируемых глин в достаточной степени изучен. Основными методами борьбы с осложнением являются утяжеление раствора, снижение фильтрационных свойств и ингибирование. [2]

Зарубежный и отечественный опыт свидетельствуют, что снижение угнетающего давления на забой скважины позволяет повысить механическую скорость проходки, сократить расходы на бурение, уменьшить вероятность прихватов и поглощений, снизить вредное воздействие бурового раствора на коллекторские свойства пласта и, как следствие, повысить продуктивность скважин. [1] Поэтому утяжеление раствора, хотя и считается одним из методов повышения устойчивости ствола, не может применяться повсеместно из-за целого ряда негативных последствий.

Прогрессивным направлением поиска эффективных решений проблемы бурения в неустойчивых отложениях является разработка и внедрение ингибированных систем, позволяющих существенно повысить период устойчивости легко набухающих глин и водочувствительных сланцевых пород (аргиллитов). Исходя из эффективности, обусловленной строением и относительной молекулярной массой полимеров, а также доступностью их для практического использования, наиболее предпочтительными являются полимеры акрилового ряда. Отличительными признаками таких полимерных растворов являются удовлетворительные реологические свойства, способность ингибировать глинистые сланцы, низкие коэффициенты трения скольжения пары "сталь-глинистая корка" и липкости корки. [3]

Среди различных технологий химической обработки буровых растворов, прошедших промышленную апробацию на месторождениях Западной Сибири, наиболее широкое применение получила технология, основанная на использовании двух акриловых полимеров с разной функциональной направленностью: один - понизитель водоотдачи, другой - с флокулирующими и ингибирующими свойствами. Отличительной особенностью этих растворов является возможность поддержания в них при бурении заданного количества твердой фазы. Чаще всего в них в качестве понизителя водоотдачи используют гидролизированный полиакрилонитрил (ПАН),

в отечественной практике известен под названием гипан. Обычно гидролиз ПАН проводят при нагревании в водно - щелочной среде с последующей сушкой реакционной массы.

По похожей схеме получают и частично гидролизованный полиакриламид (ПАА), который в двойной полимерной системе выполняет функции флокулянта выбуренной породы и, одновременно, ингибитора набухания глин за счет, так называемого, эффекта инкапсулирования.

### **Выводы**

Лабораторные исследования позволили создать буровой раствор с достаточной степенью ингибирования на основе акриловых полимеров. Промысловые испытания разработанной рецептуры, проведенные на пяти скважинах, подтвердили основные выводы лабораторных исследований. Благодаря наличию в составе бурового раствора полимеров двойного действия, уменьшались кавернозность ствола, объем образующихся отходов, расход химреагентов. Раствор обладал удовлетворительными смазочными свойствами, смазочные добавки использовались только в случае, если скважина имела большой отход от вертикали.

Разработанная система в процессе всего бурения имела пониженную плотность и лучшие реологические показатели. Это достигалось при удельном расходе реагентов в 2,6 раза меньшем, чем по базовым скважинам. Использование полимерного раствора позволило снизить кавернозность по стволу скважины в среднем на 4,5%. За счет снижения коэффициента кавернозности, улучшения очистки и повторного использования раствора, уменьшения удельного расхода реагентов снижается объем и токсичность отходов бурения.

Экономическая эффективность от применения разработанных растворов складывается из уменьшения расхода материалов и реагентов на обработку бурового раствора, снижения времени на борьбу с осложнениями, связанными с растворами и, в значительной степени, с сокращением расходов на складирование и утилизацию отходов бурения

### **Библиография**

1. Аветисов А.Г., Бондарев В.И. и др. Оптимизация процессов промывки и крепления скважин. - М.: Недра, 1980. - 221 с.
2. Киселев П.В., Махоро В.А. Разработка и применение специальных буровых растворов для бурения горизонтальных скважин. // Нефт. хоз-во. - 1998.- № 3 . - 22-25с.
3. Лупшеева О.А. Совершенствование технологии строительства скважин с применением экологически безопасных технологических жидкостей. 1999. - 122 с.
4. Отчет "Материалы, обосновывающие подсчет запасов нефти и растворенного газа Ай-Пимского нефтяного месторождения пласты АС12, АЧ1, АЧ2, АЧ3, АЧ4". СургутНИПИнефть, Сургут, 2016.

*Анализ возникновения вибраций в процессе бурения*

*Докладчик Албаков М.М. (Российский государственный университет им. Серго  
Орджоникидзе, [MagA.albakov06@mail.ru](mailto:MagA.albakov06@mail.ru)),*

*Соловьев Н.В. (Российский государственный университет им. Серго Орджоникидзе,  
[solovyevnv@mgrid.ru](mailto:solovyevnv@mgrid.ru))*

**Аннотация**

В процессе строительства скважины финансовые потери из-за отказа оборудования по причине действия высоких вибраций могут достигать 5–10 % от общего числа затрат на бурение, что является важным резервом повышения эффективности процесса бурения в целом. Как известно, основной причиной отказа оборудования остается влияние высоких уровней вибрации оборудования, источником которых процесс бурения скважины. Это часто сопровождается отказом оборудования, что влечет за собой снижение скорости строительства скважины, увеличение непроизводительного времени в балансе основных технологических процессов, удорожание проекта, и др. Повышенные вибрации сокращают срок службы оборудования и ведут к его преждевременному отказу. В данной работе проанализированы основные причины возникновения вибраций бурильной колонны, как основного элемента передачи крутящего момента к породоразрушающему инструменту, уделив значительное внимание видам вращения, и в частности прерывистого вращения ее в сочетании с компоновкой низа бурильной колонны. Расшифровка записанных в процессе бурения параметров вибрации позволяет выполнить цифровизацию таких параметров создать необходимую базу для управления процессом бурения.

**Источники финансирования**

Источники финансирования отсутствуют.

**Ключевые слова**

Вибрации; Компоновка низа бурильной колонны (КНБК); Прерывистое вращение; Stick-slip.

**Теория**

Компоновка низа бурильной колонны (КНБК) представляет исключительный интерес, поскольку она содержит дорогие и чувствительные инструменты для управления траекторией (MWD – измерения во время бурения) и оценки пласта (LWD – каротаж во время бурения) [1]. Эти инструменты оснащены высокочувствительными датчиками и новейшей электроникой, поэтому, даже если они хорошо защищены, они не так устойчивы к вибрациям. Даже массивная сталь, из которой сделаны все элементы, не всегда будет выдерживать самые жесткие динамические условия, которым может подвергаться КНБК в скважине.

Все степени свободы бурильной колонны приводят к появлению и развитию специфических динамических проблем при бурении, когда бурильная колонна приводится в движение и вращается.

Прерывистое вращение – это явление, возникновение которого возможно из-за низкой жесткости бурильных колонн на кручение. На поверхности бурильная колонна приводится в движение с постоянной скоростью вращения. Однако скорость вращения на противоположном конце бурильной колонны у долота не постоянна, а колеблется около значения, которое прилагается к колонне на поверхности [2]. Колебания частоты вращения могут достигать серьезных уровней, когда долото полностью останавливается на короткий момент времени (подлипает). Из-за продолжающегося вращения привода на поверхности бурильная колонна продолжает **закручивать пружину** и после короткого времени подлипания долото вынуждено догонять созданную разницу оборотов в скважине и на поверхности. Следствием этого является фаза ускорения вращения КНБК до пиковых скоростей, в два или три раза превышающих

скорость вращения на поверхности. Поскольку бурильная колонна соскальзывает с подлипания, эта фаза называется проскальзыванием. Последовательности фаз прилипания и скольжения известны как прерывистое вращение (рис. 1).

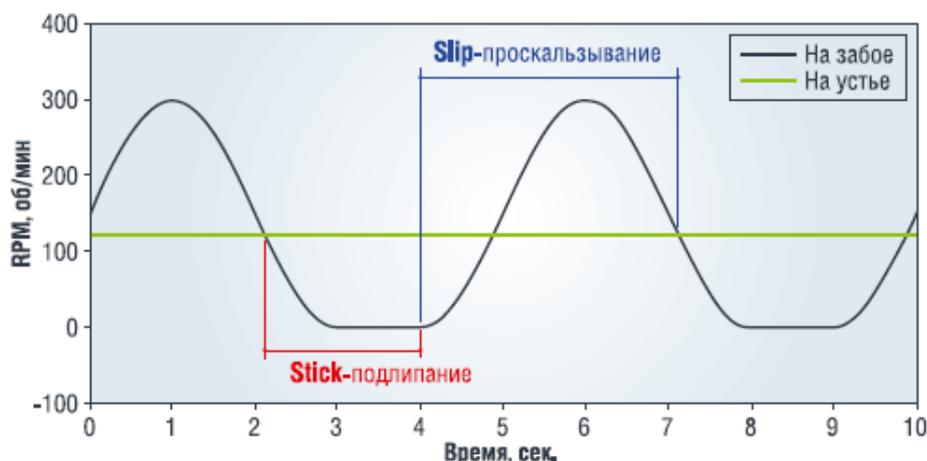


Рисунок 1. Прерывистое вращение (Stick-slip)

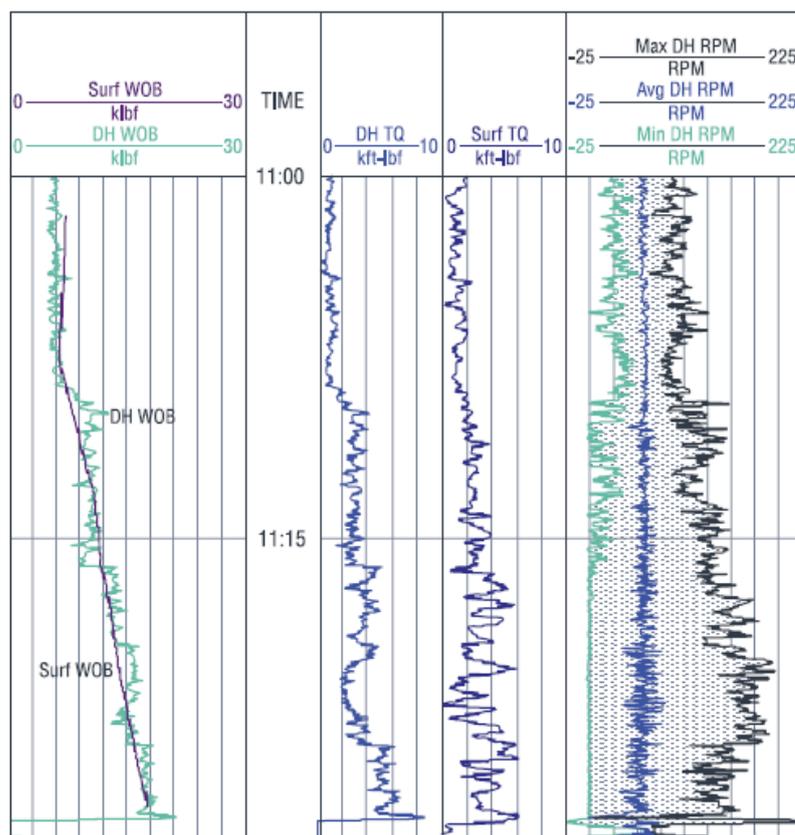


Рисунок 2. Диаграмма, показывающая прерывистое вращение (stick/slip)

Диаграммы, указывающие на возникновение вибраций stick/slip, представлены на рис. 2. На возникновение, развитие и интенсивность колебаний частоты вращения бурильной колонны и в конечном итоге прерывистого вращение влияют следующие параметры:

- длина и диаметр бурильной колонны; взаимодействие порода/долото; трение между бурильной колонной и стенкой скважины; свойства системы наземного привода [2]; высокая нагрузка на долото и низкие обороты.

Вред, причиненный прерывистым вращением:

- повреждение резцов долота PDC из-за обратного вращения долота,
- повышенная усталость материала,
- перетягивание трубных соединений,
- повреждение системы наземного привода,
- низкая скорость проходки [2].

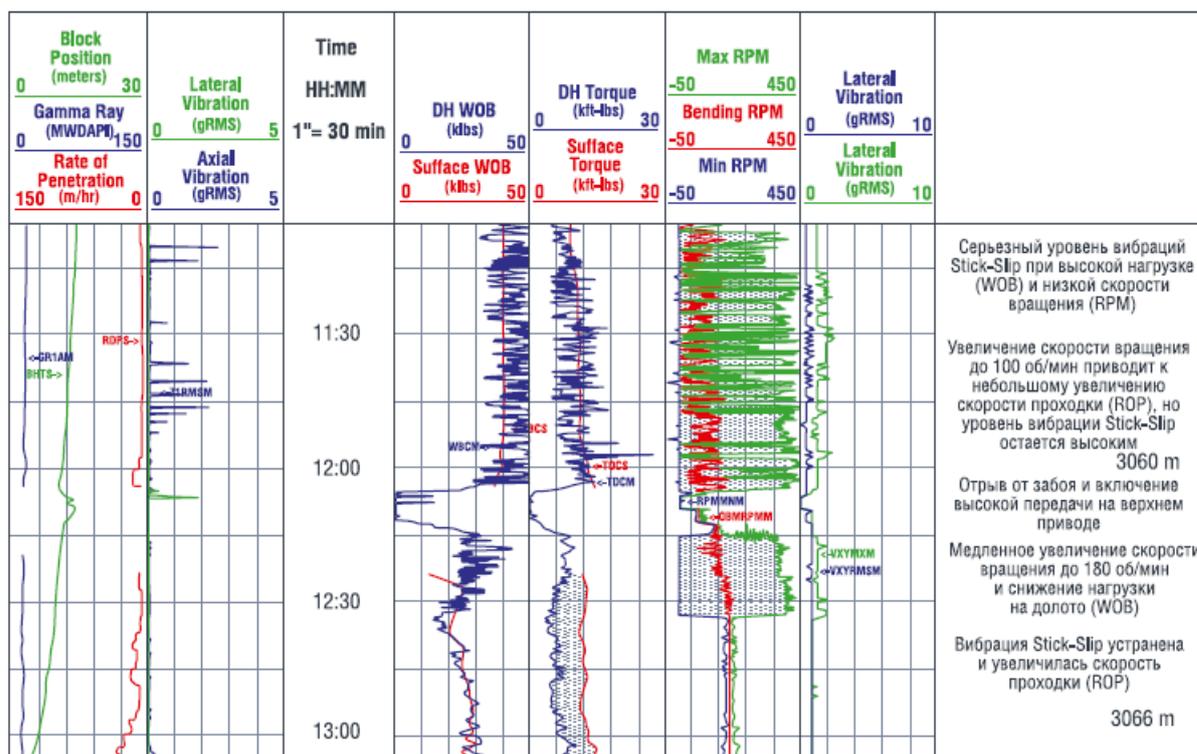


Рисунок 3 Успешное снижение вибраций прерывистого вращения Stick-Slip

Для предотвращения повреждений оборудования при возникновении прерывистого вращения стараются устранить причину – трение. Изменяется нагрузка на долото (снижается), чтобы снизить момент на долоте (рис. 3), но при этом повышают скорость вращения бурильной колонны, чтобы гарантировать аналогичную скорость проходки, либо уменьшается трение бурильной колонны за счет изменения свойств бурового раствора (например, добавление смазочных материалов или переход на буровой раствор на углеводородной основе (РУО)). К сожалению, высокие скорости вращения могут вызвать развитие других аномальных динамических проблем бурения, таких как завихрение.

### Выводы

Изложенный материал подчеркивает важность компоновки низа бурильной колонны (КНБК), особенно с учетом наличия дорогостоящего и чувствительного оборудования, такого как инструменты для управления траекторией и оценки пласта. Указывается, что несмотря на хорошую защиту, эти инструменты могут быть подвержены вибрациям, что может привести к различным динамическим проблемам, таким как прерывистое вращение.

Прерывистое вращение может привести к повреждению оборудования и увеличению усталости материала, что в конечном итоге может замедлить процесс бурения. Для предотвращения повреждений оборудования рассматриваются различные методы, такие как изменение нагрузки на долото или скорости вращения буровой колонны, а также изменение свойств бурового раствора.

В целом, материал подчеркивает необходимость разработки эффективных стратегий управления динамическими проблемами во время бурения, чтобы обеспечить безопасность оборудования и эффективность процесса бурения.

### **Библиография**

1. Бендат Дж., Пирсол А. «Измерение и анализ случайных процессов» Пер. с англ. М., Мир, 1974
2. Гихман И.И. и др. «Введение в теорию случайных процессов». М., «Наука», 1976.
3. Родионов В.Н., Ганджумян Р.А. Аналитическое решение уравнения продольных колебаний буровой колонны при наличии вязкого трения. «Инженер-нефтяник», №3, 2010, с.12-15.
4. «Переработка буровых шламов: технология пиролиза для безопасной утилизации»  
<https://magazine.neftegaz.ru/articles/burenie/756505-analiz-vozniknoveniya-vibratsiy-v-protsesse-bureniya/>

*Современные материалы и технологии крепления скважин в условиях высоких и  
циклически изменяющихся температур*

*Аль-Халифе Н.А.\* (ФГБОУ ВО РГГРУ (МГРИ), [alhalifena@mgri.ru](mailto:alhalifena@mgri.ru)),  
Овчинников П.В. (ФГБОУ ВО РГГРУ (МГРИ), [ovchinnikovpv@mgri.ru](mailto:ovchinnikovpv@mgri.ru))*

**Аннотация**

Проведены обобщение и анализ применяемых технологий и тампонажных материалов, рассмотрены актуальные направления и задачи совершенствования технологий крепления скважин, эксплуатация которых предусматривается в условиях высоких и циклически изменяющихся температур (паронагнетательные скважины, скважины термогазового воздействия).

**Ключевые слова**

Крепление скважины, паронагнетательная скважина, термогазовое воздействие, термостойкий тампонажный материал, термостойкий сплав, предел текучести металла.

**Теория**

Перспективным методом разработки месторождений высоковязкой нефти и трудноизвлекаемых запасов (ТриЗ) углеводородов является тепловое воздействие на пласт. Для этой цели распространено строительство паронагнетательных скважин. На Средне-Назымском месторождении с целью разработки пород баженовской свиты является реализуется метод термогазового воздействия (ТГВ). В продуктивный пласт нагнетательной скважины под давлением закачивается прогретый до 90°C воздух и воду, возможно закачивание обогащенной кислородов водо-воздушной смеси. В результате движения фронта горения в пласте, вследствие роста пластового давления и температуры, выполняется вытеснение нефти к добывающим скважинам. При воздействии высокой температуры в призабойной зоне скважины возможен рост внутренних напряжений в цементном камне и его разрушение (термическая деструкция), дополнительное напряжение создается и на обсадные колонны за счет температурного расширения, кроме этого в условиях высокой температур снижается предел текучести материала труб.

Тампонажные материалы, применяемые в зоне теплового воздействия, должны соответствовать по своим допустимым температурам применения как статическим температурам в интервале крепления скважины, так и ожидаемым температурам при эксплуатации скважины в условиях теплового воздействия, должны обеспечивать термостойкость в условиях циклически изменяющихся температур в соответствии с условиями эксплуатации скважины. При температурных условиях свыше 150°C требуется применение специальных термостойких цементных составов. Основное теоретическое и практическое решение этой задачи - разработка рецептуры термостойкого тампонажного материала, формирующего цементный камень, преимущественно представленный низкоосновными гидратными образованиями, как правило, гидросиликатами и гидроалюминатами. В качестве добавок, обеспечивающих термическую стойкость, применяются: кварцевый песок, тонкодисперсный кремнезем, стеклянные микросферы, доменный шлак (продукт, состоящий в основном из силикатов и алюминатов кальция), глинозем и другие. Ряд распространенных термостойких тампонажных составов рекомендованы к общеотраслевому применению: различного состава цементно-песчаные смеси, цементы на основе доменных шлаков, шлако-песчаные смеси (ШПЦС), кремнеземистые смеси и белито-кремнеземистые цементы (БКЦ), известково-кремнеземистые цементы (ИКЦ) и другие.

Традиционно выпускаемые промышленностью тампонажные материалы решают задачу обеспечения термической стойкости цементного камня в диапазоне температур 120°C-150°C и предназначены для цементирования горячих скважин с пластовой температурой в интервалах от

120°C и выше. Ограничение их применения при цементировании эксплуатационных скважин-объектов теплового воздействия с более низкими фактическими пластовыми температурами при их строительстве является низкая прочность формирующегося камня. Плотность большинства материалов, повышающих термостойкость тампонажного камня меньше плотности цемента, поэтому для получения утяжеленного (а в отдельных случаях и тампонажного раствора нормальной плотности) необходимы утяжеляющие добавки [1].

Распространены составы цементов тампонажных для циклически меняющихся температур (ЦТПН), разработанные ОАО НПО «Бурение». Цемент ЦТПН предназначен для цементирования скважин со статическими температурами 15-50°C на месторождениях разработке которых предусматривается термическими методами: нагнетание пара с температурой рабочего агента до 350°C. ЦТПН - гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного тонкого помола, высушенного гранулированного доменного шлака (не более 30%), кварцевого песка не более 30%) и портландцементного клинкера (не более 60%) или смешением совместно измельченных кварцевого песка и шлака с портландцементом в определенных соотношениях.

В настоящее время для условий цементирования паронагнетательных скважин разработаны и применяются в производстве:

- специальные облегченные цементы для паронагнетательных скважин серии Термолайт, марок 1-4 (температура применения до 350°) производятся ООО «Гранула» (ООО «Спеццементсервис»), г.Асбест;

- смеси тампонажные расширяющиеся, термостойкие «Карбон-БИО-AS» (температура применения до 350°) и смеси тампонажные расширяющиеся специального назначения Стрим 9-150-СС и Стрим 1.9-150 СС (температура применения до 150°) производятся ООО ПКФ «Цемогнеупор», г. Подольск);

- цемент тампонажный высокотемпературный армированный для паронагнетательных скважин марки ЦТ ACTIVE II-160 КМ, (температура применения до 250°), производится ООО «Цементные Технологии», г. Стерлитамак.

Цементы серии Термолайт ООО «Гранула» и цементы ООО ПКФ «Цемогнеупор») прошли опытно-промышленные испытания и применяются в производстве в ряде регионов, на объектах строительства скважин ПАО «Газпром» и ПАО «ЛУКОЙЛ». Материал типа ЦТ ACTIVE II-160 КМ производства ООО «Цементные Технологии» применяется на объектах ПАО «Татнефть».

На базе облегченного тампонажного состава TermoLight-4 разработаны составы серии TermoLight облегченный TermoLight-4 (160) и нормальной плотности TermoLight-9 (300), модифицированные за счет дополнительного ввода доменного шлака, микрокремнезема, алюмосиликатных микросфер или тонкодисперсной золы теплоэлектростанций (ТЭТ) [2-3]. Состав модифицированных цементов: состав Termolight-9 (300) нормальной плотности: Termolight-4 – 100 %, ТЭТ – 5,0 % (сверх 100 %), микрокремнезем – 3,0 % (сверх 100 %) и облегченный состав Termolight-4 (160): Termolight-4 – 100 %, ТЭТ – 1,0 %, микрокремнезем - 1,0 %.

Тампонажные материалы TermoLight-9 (300) и TermoLight-4 (160) разработаны для условий эксплуатации скважин ТГВ на Средне-Назымском месторождении, и учитывают следующие температурные нагрузки на цементное кольцо: в нижней части нагнетательных скважин (250 м от башмака эксплуатационной колонны и весь интервал хвостовика скважины) - до 300°C; в нижней части добывающих скважин (250 м от башмака эксплуатационной колонны) - до 200°C; на устье добывающих скважин до 160°C. Учтено твердение цементного раствора при температуре, не превышающей 90°C и температуру закачиваемого агента 90°C.

Термостойкие тампонажные материалы серии TermoLight обеспечивают удовлетворительные параметры по реологии и прокачиваемости, набирают высокую прочность

при увеличенном сроке твердения в условиях пластовых температур, обладают предельно низкой теплопроводностью, их свойства значительно превосходят базовые термостойкие материалы, после воздействия циклической термической нагрузки трещины отсутствуют, прочность цементного камня увеличивается со временем. Материалы серии TermoLight могут быть рекомендованы для изоляции затрубного пространства в условиях применения теплового воздействия на пласт при добыче высоковязкой нефти и в других регионах.

Для нагнетательных скважин Средне-Назымского месторождения планируемое давление на устье в режимах эксплуатации составляет 35 МПа и 70 МПа, ожидаемая температура в призабойной зоне - до 350°C. В результате математического моделирования температурных полей в нагнетательной [4] установлена возможность достижения температур до 650° в призабойной зоне пласта (рис. 1). В настоящее время при производстве работ температура выше 400°C пока не подтверждена.

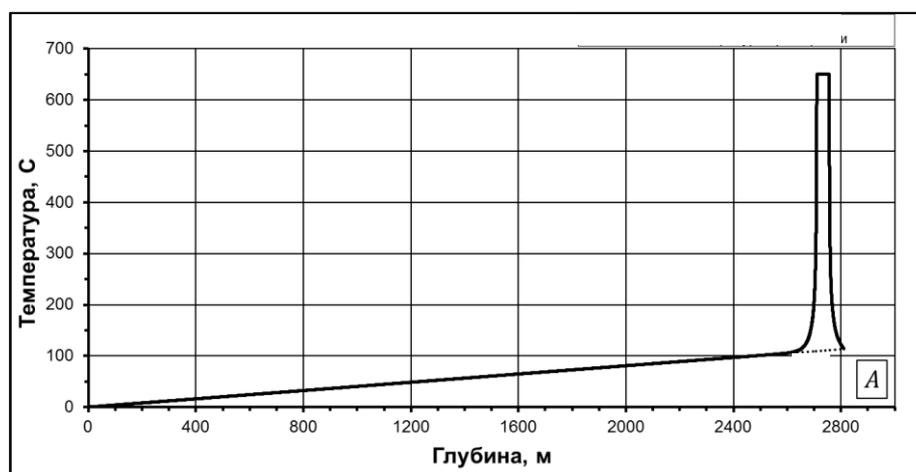


Рисунок 1. Распределение температуры в околоскважинной зоне

В случае подтверждения экстремально высоких температур, необходимо существенно переработать концепцию крепления и режимов эксплуатации скважины, с целью обеспечения надежности ее конструкции:

- при температурах до 400-450°C возможно применение традиционных высокопрочных обсадных труб из легированных углеродистых сталей Q-125 и Q-135. С повышением температуры для углеродистых сталей характерно интенсивное снижение предела текучести (при 500°C предел текучести снижается уже на 30%). При температурах 500°C целесообразно применять хромникелевые и хромникельмолибденовые сплавы, более стойкие к влиянию высоких температур (TMC 110-C, SM 2550, SM 2050, SMC 276, Sanicro). При температурах 550°C и выше необходимо применять обсадные трубы из специальных высокопрочных жаропрочных сплавов (например, сплав Inconel 718 который кроме хрома, никеля, молибдена содержит в своем составе 5,5 % уникального тугоплавкого металла -ниобия);

- необходима разработка эффективных тампонажных систем для температур 400°C и выше с учетом моделирования циклически изменяющихся температурных нагрузок при эксплуатации скважины.

- ограничить устьевые давления при нагнетания рабочего агента.

### **Выводы**

Разработку решений по креплению необходимо проводить с учетом региональных геолого-технических условий строительства скважин и разработки месторождения, с учетом возможных нагрузок в условиях циклически изменяющегося температурного воздействия, ожидаемых на всех этапах и учитывая все режимы эксплуатации скважины. Необходимо оперативно реагировать на разработку новых технологий, материалов и оборудования.

Актуальной задачей, с целью повышения надежности крепления скважины является разработка эффективных тампонажных систем с учетом обеспечения термостойкости (сохранения прочности) цементного камня в условиях температур 400°C и выше.

Секции обсадных колонн и колонн насосно-компрессорных труб, расположенные в зоне экстремально высоких температур, необходимо комплектовать соответствующими условиям эксплуатации высокопрочными трубами. Прочностные расчеты выполнять с учетом снижения предела текучести металла при воздействии высоких температур. При температурах 550°C и выше рекомендуется применять обсадные трубы из специальных высокопрочных жаропрочных сплавов.

### **Библиография**

1. Овчинников В.П., Овчинников П.В., Мелихов А.В. Утяжеленный тампонажный раствор, способствующий формированию термостабильного цементного камня // Инженер-нефтяник, 2018. № 4. С. 22-26.
2. Овчинников В.П., Овчинников П.В., Мелихов А.В., Рожкова О.В. Проблемы и их решения при цементировании эксплуатационных колонн высокотемпературных скважин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2019. № 1 . С.39-46.
3. Якунин С.А. Тампонажные материалы для крепления нагнетательных скважин под термогазовое воздействие на Средне-Назымском месторождении // Инженер-нефтяник, 2018. № 4. С. 27-33.
4. Методика оценки термомеханических напряжений в теле обсадной колонны. Отчет по результатам НИР / под рук-вом С.А. Рыжова. – Москва: ООО «Тесис», 2017. – 81 с.

**Снижение техногенного воздействия на окружающую среду при бурении нефтяных и  
газовых скважин**

**Ратиев А.А.\* (ФГБОУ ВО МГРИ, [al-ratik@mail.ru](mailto:al-ratik@mail.ru)),  
Сырчина А.С. (ФГБОУ ВО МГРИ, [syrchinaas@mgri.ru](mailto:syrchinaas@mgri.ru))**

**Аннотация**

Статья исследует воздействие буровых работ на окружающую среду на нефтегазовом месторождении. Одним из факторов воздействия является некачественное крепление скважин обсадной колонной. Качество крепления скважин обсадной колонной во многом зависит от физико-химических свойств тампонажных растворов. Одним из способов регулирования физико-химических свойств тампонажных растворов является использование аминометиленфосфоновых комплексонов.

**Ключевые слова**

Заколонное пространство, тампонажный раствор, комплексоны, обсадная колонна, замедлитель срока схватывания.

**Теория**

Основные причины влияния загрязняющих элементов на объекты внешней среды: поглощение бурового раствора проницаемыми пластами в процессе промывки скважины; нарушение цельности застывшего цементного раствора, обсадных и эксплуатационных колонн в заколонном пространстве; загрязнение поверхностных вод; плохой цементаж и недостаток тампонажного раствора за колоннами труб. [1]

Одним из основных требований по охране недр при строительстве скважин является защита верхних водоносных горизонтов от инфильтрации бурового раствора, особенно при бурении под направление и кондуктор.

Процессы загрязнения с поверхности обусловлены фильтрацией бурового раствора в породы и подземные воды геологического разреза. Как правило, эти процессы при бурении не распространяются на значительные расстояния. В самую верхнюю часть до глубины 20-30 м проникновение фильтрата бурового раствора исключено спуском шахтного направления и его цементированием. В водоносные горизонты до глубин 100-150 м фильтрат бурового раствора проникает на расстояние 1,5-2,0 м от стенок скважины вследствие кратковременности бурения данного интервала и его изоляции кондуктором с затрубной цементацией.

Основные причины влияния загрязняющих элементов на объекты внешней среды:

- поглощение бурового раствора (БР) и его водной фазы проницаемыми пластами в процессе промывки скважины;
- нарушение цельности застывшего цементного раствора, обсадных и эксплуатационных колонн в заколонном пространстве;
- плохой цементаж и недостаток тампонажного раствора за колоннами труб.

Отсутствие контроля либо не проведение в полном объеме обязательного комплекса анализов и системных измерений по состоянию бурения может послужить причиной падения качества полезных ископаемых и промышленной ценности месторождений или осложнить их разработку и привести к загрязнению недр.

Некоторые растворы, используемые в процессе бурения и эксплуатации скважин, могут содержать агрессивные химические компоненты, которые могут привести к разрушению и эрозии грунта. Например, кислотные растворы, используемые для удаления отложений на стенках скважины, могут повредить грунт, если они не утилизированы правильно. Также при использовании растворов для тампонирования скважин может происходить эрозия грунта, особенно если используются тяжелые растворы с большим количеством твердых частиц. Это может привести к обвалам земли, оползням и другим опасным последствиям.

При тампонировании необходимо создать непроницаемый для бурового раствора прочный экран, который должен противостоять репрессии при последующем бурении скважины, включая крепления ствола очередной обсадной колонной. Тампонажная смесь при продавке из скважины в пласт должна полностью (или почти полностью) вытеснить жидкость из поглощающих каналов, заполнять их, а затем загустевать или затвердеть и тем самым образовать надежные перекрывающие пробки [3].

Переход жидкого цементного раствора в твердое состояние в присутствии микродобавок НТФ, ЭДФ, ОЭДФ можно рассматривать как кристаллизацию водорастворимых компонентов цементного клинкера в гетерогенной системе в присутствии ингибирующих добавок за счет их избирательной адсорбции на поверхности микроразрешений и, как следствие, торможение процесса схватывания цементного раствора.

С целью выявления эффективности химических реагентов этой группы для регулирования свойств тампонажных растворов проведены исследования со следующими комплексами: водорастворимым полиэлектролитом с аминотетрафосфоновой группировкой (ПАФ-1), моносодовой солью производного 1,3 – диаминопропанол – 2 (ДПФ-1), 2,3-диокси-1,4-диаминобутан – N,N,N1,N1– тетраметилфосфоновой кислотой (ДОБТФ), комплексом добавок полиэтиленполиамин-N-метилфосфоновой кислоты, формальдегидом, фосфористой и соляной кислот (ПАФ-13), полиэлектролитным комплексом (ПЭК) и нитрилотриметилфосфоновой кислотой (НТФ) [5].

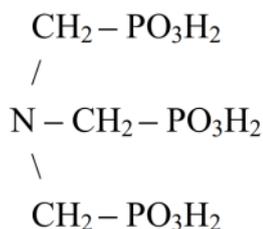
Таблица 1

Схема цементирования обсадных колонн на Восточно-Сургутском месторождении [4]

Название колонны	Тип цемента	Плотность цемента, кг/м <sup>3</sup>	Водо-цементное отношение	Добавки (% от общего объема)	Интервал подъема цемента за колонной, м
Направление	ПЦТII-50	1850	0.45	CaCl <sub>2</sub> (1%)	до устья
Кондуктор	ПЦТIII-об 5-50	1500	0.95	-	0-513
	ПЦТII-50	1850-1900	0.45	-	513-749
Эксплуатационная	ПЦТII-об 5-100	1500	0.95	-	2650-700
	ПЦТI-100 (ПЦТI-G-CC-1)	1850-1900	0.43	НТФ (0.02%)	3219-2650

Успешный исход цементирования эксплуатационных колонн во многом зависит от параметров тампонажного раствора – камня, в частности, от предела прочности цементного камня на изгиб. С этой целью проведены исследования с тампонажным цементом по выявлению влияния добавок комплексонов на сроки схватывания тампонажного раствора и прочность цементного камня. При этом было установлено, что лучшие результаты были получены с добавками НТФ.

НТФ – это нитрилотриметилфосфоновая кислота общего вида:



НТФ используется в качестве добавки к тампонажным растворам на основе тампонажных цементов, затворенных как на пресной воде, так и на растворе хлорида натрия, при цементировании нефтяных и газовых скважин, имеющих высокие пластовые температуры и давления, а также скважин, в разрезе которых встречаются мощные толщи отложений солей. Величина добавки определяется конкретными геолого-техническими условиями.

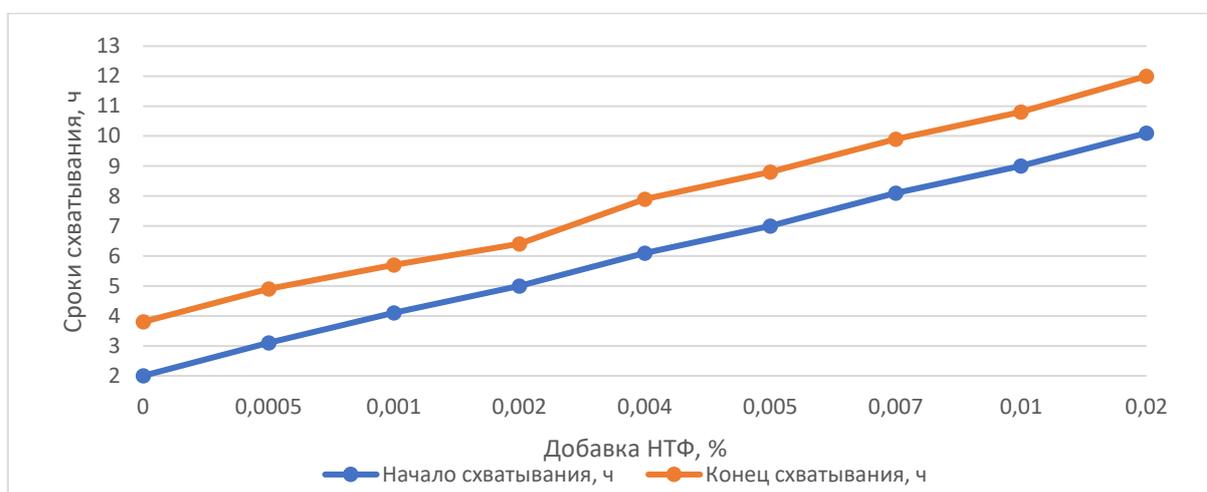


Рисунок 1. Влияние добавки НТФ на сроки схватывания тампонажного раствора

Простота ввода НТФ (непосредственно в жидкость затворения), быстрое растворение при кратковременном перемешивании (10-15 минут), отсутствие пенообразования, малые добавки по отношению к массе цемента при значительном замедлении схватывания тампонажных растворов (независимо от степени минерализации) (рис.1), получение прочного непроницаемого тампонажного камня и ряд других положительных свойств способствовали широкому внедрению тампонажных растворов с добавкой НТФ на площадях Западной-Сибири и Оренбуржья. Опытно-промысловые испытания НТФ проведены на скважинах нефтяных месторождений Западной-Сибири и Оренбуржья и получены положительные результаты. Анализ результатов промыслового внедрения тампонажных растворов с добавкой НТФ показал значительное повышение качества крепления скважин (табл. 2).

Характер сцепления цементного камня с колонной

Номер скважины	Площадь	Длина зацементированного участка ствола, м	Время проведения АКЦ, ч	Сцепление камня с колонной (по АКЦ), %	
				Хорошее	Плохое
3002	Восточно-Сургутская	569	48	98,6	1,4
3007	Восточно-Сургутская	348	33	88,1	11,9
330	Никольская	356	48	88,2	11,8
167	Пронькинская	410	24	100,0	-
3117*	Восточно-Сургутская	570	48	47,4	52,6
406*	Никольская	590	48	33,5	66,5

Примечание: \* - без добавок НТФ

Цементирование было проведено успешно. Данные АКЦ свидетельствовали о хорошем сцеплении цементного камня по всему стволу.

В настоящее время реагент НТФ широко внедряется, как незаменимый замедлитель сроков схватывания тампонажного раствора, при цементировании обсадных колонн в глубоких поисково-разведочных и эксплуатационных скважинах на нефтяных и газовых месторождениях Оренбургской, Самарской, Саратовской, Астраханской областей, месторождениях Башкирии, Татарстана, Западной Сибири и в Республиках Узбекистан (плато Устюрт), Казахстан (п-ов Мангышлак). [5]

### Выводы

В данной статье было рассмотрено техногенное влияние буровых работ на окружающую среду. Основным источником воздействия рассматривается нарушение структуры цементного раствора. Проведенные исследования позволили выявить высокоэффективный реагент комплексного действия – НТФ. НТФ с большим успехом применяется при цементировании обсадных колонн на нефтяных и газовых месторождениях Оренбургской области, Западной Сибири.

### Библиография

1. Альмухаметова Э.М., Файзуллин А.А. «К вопросу об экологических проблемах при буровых работах и эксплуатации скважин» 2018 г.
2. А.Цыбин. О повышении надежности крепления и эксплуатации скважин как строительных сооружений на месторождениях Западной Сибири. М: НТЖ Бурение. №2,2001,стр. 20-22.
3. Басарыгин М.Ю «Бурение нефтяных и газовых скважин: Учебное пособие для вузов»
4. ОАО «Сургутнефтегаз», ООО «НПО «СибТехНефть» «Проект разработки ВосточноСургутского месторождения Том I. Книга 2» 2008 г.
5. Регулирование свойств тампонажного раствора-камня с помощью добавок аминотилефосфоновых комплексонов. ООО «ВолгоУралНИПИГаз», г. Оренбург

*Технология бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые на  
примере ГОК «Наталкинского»*

*Каминский Я.П.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), jankaminski1802@gmail.com),  
Румянцев А.Д.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), alexeirumyantsew@gmail.com),  
Тунгусов С.А. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), tungusovsa@mgri.ru)*

**Аннотация**

Рассматривается технология бурения геологоразведочных скважин на примере Наталкинский ГОК (АО «Полюс Магадан») расположенного в Тенькинском районе Магаданской области. В 2018 году после «горячего пуска» актив был выведен на проектную мощность. Впоследствии за счет реализации ряда инициатив по повышению эффективности «Полюс» существенно повысил производительность золотоизвлекательной фабрики Наталки, увеличив ее до более чем 12 млн тонн руды в год против 10 млн тонн в 2019 году. На сегодняшний день в карьере производится доразведка.

**Ключевые слова**

Винтовой забойный двигатель, буровые работы, категория по буримости, керн, буровые растворы, ССК.

**Теория**

Краткая геологическая информация:

Вмещающие породы представлены толщей осадочных и вулканогенно-осадочных терригенных литологических разностей средне- и верхнепермского возраста – пионерской (P2 pn), атканской (P2 at) и омчакской (P2 om) свитами, в основном представленными алевро-глинистыми сланцами и диамиктитами (туфогенными сланцами) и менее часто встречающимися песчаниками, гравелитами и конгломератами [1].

Выполнение буровых работ:

Работы по разведочному бурению скважин на карьере производит компания-подрядчик АО «Полюс» - ООО «Русская буровая компания».

ООО «Русская Буровая Компания» – крупнейшая буровая компания в РФ, один из ключевых игроков на национальном рынке комплексных геологоразведочных работ и инженерных изысканий. Качественное исполнение и хорошая организация, а также высокий профессионализм сотрудников «Русская Буровая Компания» позволяют максимально эффективно решать любые задачи.

Основной вид деятельности Русской Буровой Компании — комплексное выполнение геологоразведочных работ на твердые, редкоземельные и радиоактивные ископаемые. Компания предлагает свои услуги по комплексному проведению геологоразведочных работ на месторождении. Развитая логистическая система через систему региональных баз снабжения, позволяет мобилизовать и организовать полевой лагерь на участке «с нуля» в кратчайшие сроки [2].

Преимуществами данной компаний по сравнению с другими являются современное буровое оборудование, компетентный персонал с опытом работы в различных климатических и природных условиях, зарекомендовавшие себя технологии проведения работ и многое другое.

Буровые работы:

Буровые работы производятся самоходными буровыми установками вращательного бурения LF-90 фирмы VoartLongyear.

При реализации проекта применяется колонковый вид бурения с отбором керна по всей глубине скважины. Все скважины на участке бурились с начально заданным зенитным углом от 50 до 60 градусов. Профили скважин представлены на рисунке 1. Основной диаметр бурения – 96 мм (НҚ), диаметр получаемого керна – 63,5 мм. Как резервный и аварийный

предусматривается использовать снаряд диаметром 76 мм (NQ), диаметр керна при этом 47.6 мм. Также программой бурения изначально предусматривается бурения участка ствола скважины под направление глубиной 2-3 м, диаметром бурения 122,7 мм (PQ), с целью перекрытия интервала неустойчивых породам. Применяемые бурильные, и обсадные трубы используются производства компании MUD MASTER. Колонковая труба используется двойная длиной 3 м.

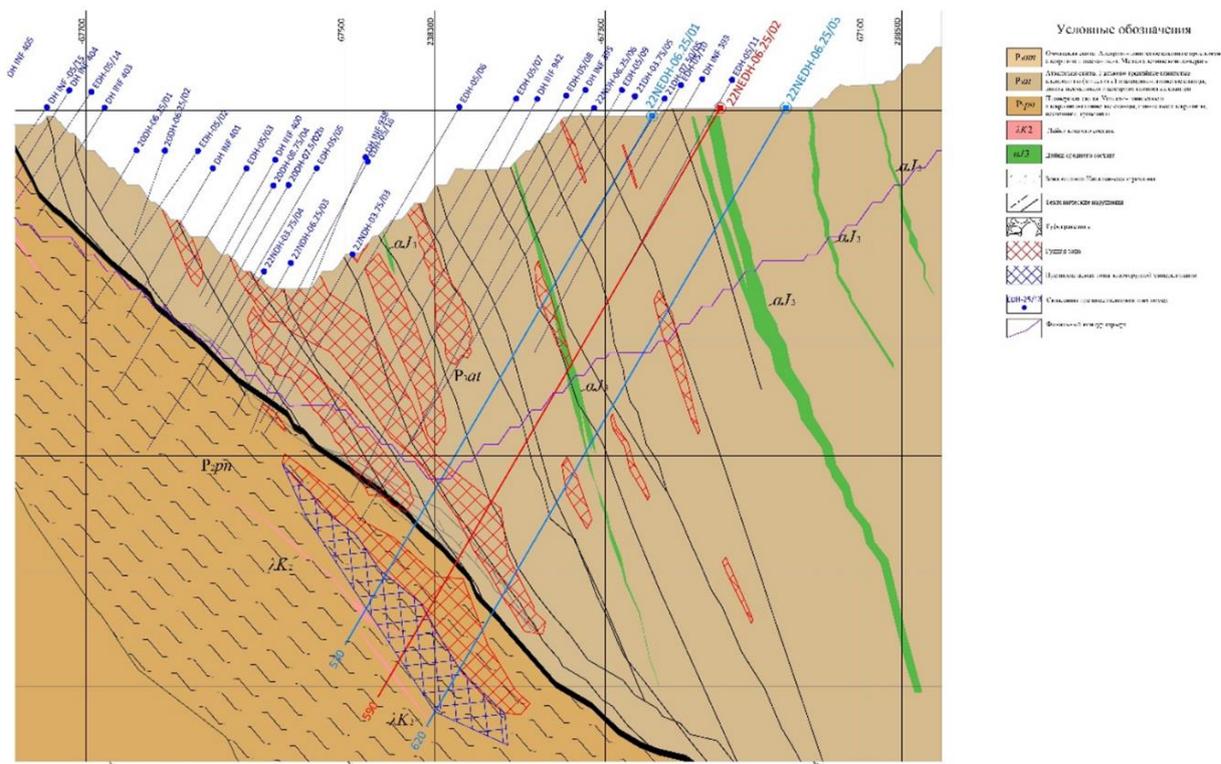


Рисунок 1. Профили скважин

В качестве породоразрушаемого инструмента использовались коронки следующих типов:

- MUD MASTER;
- BIZON (I-VI категорий по буримости);
- GRIZZLY (8a) (VII-IX категорий по буримости).
- ТЕРЕК АЛМАЗ:
- 32И (IX-XII категорий по буримости);
- 29И (IX-XII категорий по буримости).

Башмаки обсадных колонн использовались производства MUD MASTER соответствующих типоразмеров.

Алмазные расширители применялись производства MUD MASTER и ТЕРЕК АЛМАЗ.

В случае необходимости изменения направления трассы скважины, использовался гидравлический винтовой забойный двигатель с регулятором угла перекоса [3]. Винтовой забойный двигатель типа ДР-88 применялся совместно с трехшарошечными долотами производства МОЗБТ. Были использованы долота диаметром 98,4 мм типа А-С24-Р1048 или П98,4СТ-ЦА.

В процессе проведения буровых работ в большинстве случаев, для проводки скважины был использован буровой раствор на основе поликриламидных концентратов WDS120; 550к, с добавлением компонента SuperDrill. В качестве дисперсионной среды применялась вода.

Вязкость бурового раствора составляла от 45 до 50 с. Расход от 40 до 80 л/мин. Для обработки бурового раствора применялся ряд реагентов производства MUD MASTER:

- RED BIZON инновационная бентонитовая смесь для приготовления бурового раствора с высокими вязкостными характеристиками и низкой водоотдачей
- ULTRA CLAY разрушает глинистые структуры, способствуя их выносу из скважины, позволяет легко очищать илистые примеси.
- FLOTEK повышает вязкость, помогает стабилизировать участки склонные к обвалам и осыпям, повышает выносную способность.
- PAC REGULAR понизитель фильтрации для буровых растворов на основе бентонита. Обеспечивает снижение фильтрационных свойств бурового раствора. Позволяет в значительных пределах регулировать вязкость.
- MAGMA FIBER Экструдированное минеральное волокно прекрасно растворяется в буровом растворе и позволяет "армировать" глинистую корку. Стабилизирует стенки скважины в рыхлых и водонасыщенных грунтах, таких как гравий, галька и водонасыщенный песок (пльвун).

Бурение осуществляется на следующих режимах:

- Частоты вращения от 300 до 1200 об/мин,
- Осевая нагрузка 800 – 4000 кгс.
- Расход очистного агента от 40 до 80 л/мин [4].

Проектный, минимальный выход керна по рудной зоне должен составлять 95%, по вмещающим породам - 90%. Основные технологические параметры бурения представлены на рисунке 2 в геолого-техническом наряде.

Также буровые работы должны отвечать требованиям, изложенным в Стандарте Компании «Геологоразведочные работы. Отбор, документация, сокращение и ликвидация керна скважин колонкового бурения месторождений твердых полезных ископаемых (кроме угля и горючих сланцев). Геологический контроль качества буровых работ».

Качество бурения, в том числе длины рейсов, порядок извлечения керна из колонковой трубы и укладка его постоянно контролировался представителями геологической службы АО «Полюс Магадан». Контроль линейного выхода керна осуществлялся весовым способом, путем сравнения расчетных весов керновых проб с фактически полученным весом керна.



*Подсекция 4.3. Горное дело и общинженерные методы решения горно-  
геологических задач*

*Влияние угла поворота основного резца долота PDC на эффективность разрушения горной  
породы*

*Гаврилов Р.И.\* (МГРИ, supermouse27228@gmail.com),*

*Арсентьев Ю.А. (МГРИ, arsentev1956@yandex.ru)*

**Аннотация**

Одной из главных характеристик в бурении является энергоёмкость разрушения горной породы, величина, которой определяется режимом её разрушения [1, 2].

Для повышения эффективности процесса разрушения породы следует переходить к менее энергоёмкому режиму разрушения, например, к режиму скалывания (сдвига), поскольку сдвиговые прочностные характеристики пород, особенно скальных и хрупких, ориентировочно в 10 и более раз ниже таких же характеристик при сжатии [3].

Очевидно, что скалывание целика породы наиболее эффективно осуществляется, если на него действует сила, направленная в сторону свободной поверхности.

Этот принцип может быть реализован в лопастном долоте PDC. Для создания свободной поверхности (канавки) на забое в торцевой части лопасти устанавливается подрезной резец, который при забурке постоянно вырабатывает эту зону (канавку), лишь после того, в работу вступают основные резцы. Общий вид лопасти, оснащённой подрезным и основными резцами показан на рис. 1.

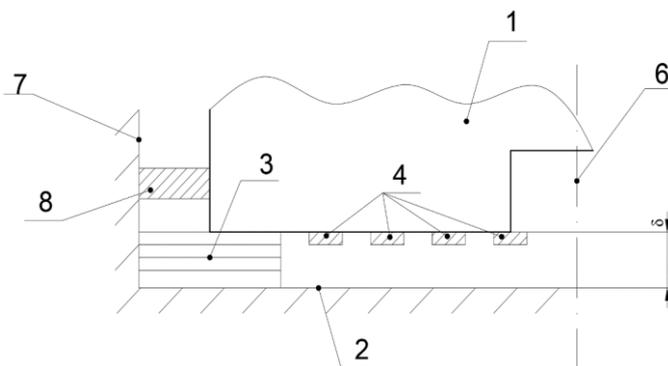


Рисунок 1. Общий вид лопасти долота. 1 – лопасть долота; 2 – забой скважины; 3 – подрезной резец; 4 – резцы; 5 – рассечка; 6 – ось долота; 7 – стенка скважины;  $\delta$  – величина опережения; 8 – дополнительный подрезной резец

Основные резцы 4, устанавливаемые под углом  $\alpha$  к рабочей грани лопасти, должны при вращении долота перекрывать всю площадь забоя.

Величина опережения  $\delta$  подрезного резца зависит от характера разбуриваемых пород, параметров резцов и др. В первом приближении  $\delta=10\div 12$  мм. Забурка долота осуществляется на шадящих режимах бурения до тех пор, пока подрезной резец не выработает канавку и в работу не вступят основные резцы. Шлам, образующийся в результате работы подрезного и основных резцов, эвакуируется.

**Ключевые слова**

Бурение, энергоёмкость, повышение эффективности, разрушение породы.

### Теория

Главным параметром, определяющим эффективность разрушения породы, является величина угла поворота  $\gamma$ , под которым устанавливается основной резец [4].

Для оценки влияния этого угла изобразим основной резец АВ, который может быть установлен как под положительным, так и под отрицательным углом  $\gamma$  к горизонтальной оси Ох, и укажем силы, действующие на резец, показанные на рис. 2.

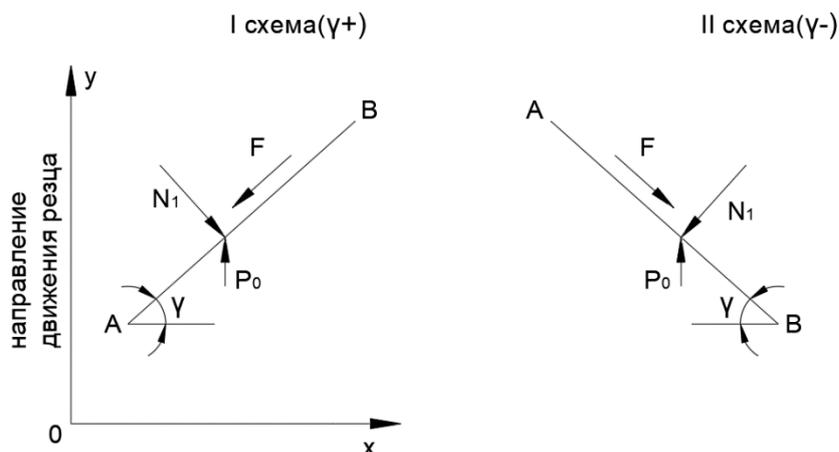


Рисунок 2. Схема действующих на основной резец сил

Среди которых имеют место быть: окружная сила  $P_0$ , нормальная реакция  $N_1$  со стороны породы на резец и сила трения  $F$ , возникающая на контакте резца с породой. Для выяснения направления последней обратимся к рис.3, из которого следует, что резец АВ в точках А и В имеет соответствующие окружные скорости  $V_A$  и  $V_B$ . Причем векторы указанных скоростей не параллельны и не равны по модулю ( $V_A > V_B$ ). Годограф скоростей (треугольник  $ABO_1$ ) показывает, что проекции окружных скоростей на участке АВ направлены к центру  $O_1$ . Следовательно, сила трения  $F$  будет направлена в сторону точки А для I схемы или в сторону точки В - для схемы II установки основных резцов.

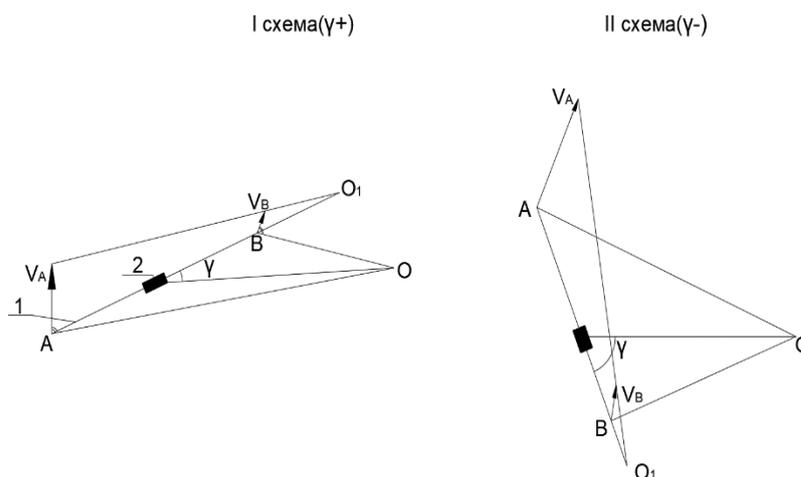


Рисунок 3. Годографы скоростей точек А и В для двух схем установки основного резца. где: 1 – основной резец; 2- державка резца; О – центр долота;  $O_1$  – центр годографа скоростей  $V_A$  и  $V_B$  в точках А и В

Далее определим окружную силу  $P_0$ . Для этой цели спроектируем силы, действующие на резец, на оси  $Ox$  и  $Oy$ . Получим систему из двух уравнений равновесия.

$$\Sigma F_{ky} = P_0 - N_1 \cos \gamma - N_1 f \sin \gamma = 0; \quad (1)$$

$$\Sigma F_{kx} = N_1 \sin \gamma - N_1 f \cos \gamma = 0. \quad (2)$$

Из уравнения (1) следует, что окружная сила  $P_0$ , действующая на резец равна

$$P_0 = N_1 (\cos \gamma + f \sin \gamma). \quad (3)$$

Выражение (3) указывает, что окружная сила  $P_0$  зависит от величины нормальной реакции породы на резец  $N_1$ , т.е. от прочности породы на сдвиг, геометрических размеров резца и его глубины погружения  $h$  в породу, а также от коэффициента трения породы о резец  $f$  и угла поворота резца к горизонтальной оси  $Ox$ .

Для уменьшения величины окружной силы  $P_0$ , необходимо, чтобы функция вида  $(\cos \gamma + f \sin \gamma) = D$  стремилась к минимуму. Исследуем функцию  $D$  на экстремум. Для этого приравняем первую производную функции  $D$  нулю.

$$\frac{d}{d\gamma} (\cos \gamma + f \sin \gamma) = -\sin \gamma + f \cos \gamma = 0$$

$$\text{Откуда } \gamma = \arctg(f) \quad (4)$$

Так как вторая производная функции  $D$ , равная  $[-(\cos \gamma + f \sin \gamma)]$ , меньше нуля, то при  $\gamma = \arctg(f)$  она достигает максимума. Причём с ростом коэффициента трения  $f$  породы о резец угол поворота резца  $\gamma$  увеличивается. Так, например, для  $f=0,2 \ \gamma=11,3^\circ$ ;  $f=0,3 \ \gamma=16,7^\circ$ ;  $f=0,6 \ \gamma=31^\circ$ ;  $f=0,8 \ \gamma=38,65^\circ$ . Чтобы проследить, как изменится функция  $D$  в зависимости от угла поворота резца  $\gamma$ , произведем расчет для  $\gamma=0^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $60^\circ$ ;  $90^\circ$  и  $f=0,2$ , а результаты расчета приведем в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчёта функции  $D$ .

$\gamma,^\circ$	0	30	45	60	90
D	1	0.96	0.84	0.66	0.2

### Выводы

Таким образом, окружная сила  $P_0$  при традиционном фронтальном положении резца ( $\gamma=0^\circ$ ) имеет максимальную величину. Если использовать установку резца под углом  $\gamma$ , то значение окружной силы  $P_0$  можно уменьшить в несколько раз, а соответственно, и крутящий момент на долоте. Однако увеличение угла поворота резца  $\gamma$ , например до  $60^\circ$ - $70^\circ$  потребует существенно большего числа резцов в лопасти долота, а это приведёт к росту его стоимости. Очевидно, что

при  $\gamma = 90^\circ$  резец перестаёт выполнять свою функцию. И, кроме того, обращаясь к функции D, отметим, что с увеличением угла  $\gamma$  сила трения  $F = N_1 f \sin \gamma$ , влияющая на изнашивание рабочей поверхности резца, возрастает по закону синуса, а сила сопротивления породы разрушению  $N_1 \cos \gamma$  по закону косинуса. С учётом данного обстоятельства угол поворота  $\gamma$  для установки основного резца можно принять равным  $\gamma = 45^\circ$  т.к. увеличение данного угла приводит к необходимости использования лопастей большей толщины, а его уменьшение ослабляет эффект скалывания и увеличивает момент на резце.

### **Библиография**

1. Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П., Лимитовский А.М. Влияние угла установки резца PDC лопастного долота на механическую скорость бурения скважин в перемежающихся по твердости горных породах. Горный журнал №11, 2018, с.с. 47 – 50.
2. Борисов К.И. Научная база нового метода оценки эффективности процессов разрушения горных пород современным инструментом режущо-скалывающего действия. Вестник ЦКР Роснедра №4, 2011, с.с. 51 – 58.
3. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин. М. Изд. НИЦ ИНФРА-М., 2023, с.336.
4. Соловьев Н.В., Арсентьев Ю.А., Нгуен Т.Х., Курбанов Х.Н. Теоретический метод обоснования конструктивных параметров долот режущо-скалывающего действия. НТЖ «Инженер-нефтяник» №3,2015, с. 16 – 24.

**Обоснование выбора типа буровой жидкости из условия устойчивости пород в стенках скважины**

**Орехов Д.Д.\* (МГРИ, danilaohv@yandex.ru),  
Арсентьев Ю.А. (МГРИ, arsentev1956@yandex.ru)**

**Аннотация**

В процессе бурения скважины происходит нарушение гравитационного поля начальных напряжений в ее окрестностях. Подобное нарушение равновесного состояния пород осложняет процесс углубки скважины и сопровождается перемещениями, например, точек В, расположенных на краях горизонтального диаметра контура кругового сечения скважины, показанных на рис. 1 [3].

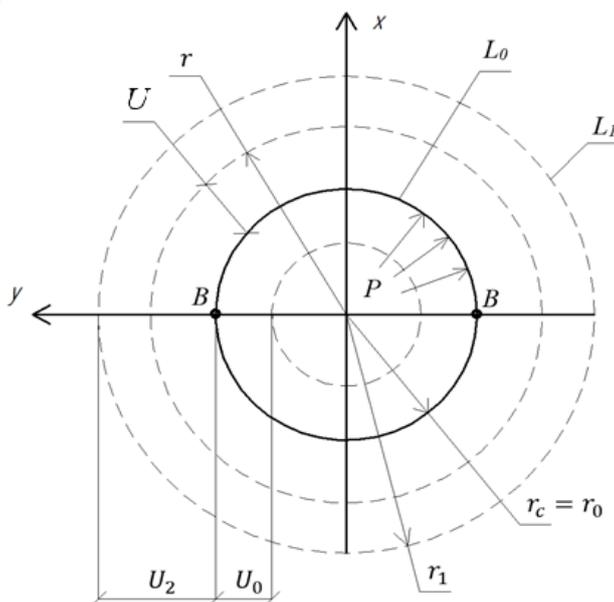


Рисунок 1. Деформационная схема контура кругового сечения скважины

При этом перемещения могут происходить как в сторону оси скважины  $U_0$ , так же в сторону массива  $U_2$  горных пород, характеризующихся средней плотностью  $\rho_n$  и коэффициентом Пуассона. В первом случае происходит обрушение стенок ствола скважины, требующего привлечения средств предупреждения осложнения, например, путем увеличения плотности  $\rho_{бр}$  бурового раствора, компенсирующего избыток сил бокового давления. А во втором случае – устойчивое состояние стенок ствола скважины сохраняется, что позволяет планировать ход бурения, снижать затраты труда и средств, поскольку на борьбу с осложнениями в глубоком бурении затрачивается в среднем 20 % ÷ 25 % календарного времени [4]. В связи с этим проблема создания условий для предупреждения осложнений в процессе бурения является весьма актуальной.

**Ключевые слова**

Массив горных пород, круговой контур, осложнение в скважине, боковое давление.

**Теория**

Для установления условия, при котором перемещение указанных точек В контура кругового сечения скважины будут перемещаться в сторону массива горных пород, выделим в

массиве круговое кольцо, которое деформируется под действием напряжений. При этом точки В внешнего  $L_1$  и внутреннего  $L_0$  контуров кольца испытывают перемещения, описываемые формулами вида:

$$\begin{cases} U_{(i)} = U_{0(i)} + U_{2(i)} = U_{2(i)} \cos 2\theta \\ v_{(i)} = v_{2(i)} \sin 2\theta \end{cases} \quad (1)$$

где:  $U_{(i)}$  – радиальные перемещения;  $v_{(i)}$  – тангенциальные (окружные) перемещения;  
 $i$  – индекс, принимаемый значения 0 и 1, для обозначения соответственно внутреннего  $L_0$  и внешнего  $L_1$  контуров.

Из выражений (1) при  $\theta=90^\circ$  получаем

$$U_B = U_0 - U_2 \quad (2)$$

Значения величин, входящих в формулу (2), следует из ниже приведенных выражений

$$\begin{cases} U_{0in} = r_c \frac{\sigma_1^{(0)}}{2G} \cdot \frac{1 + \lambda}{2} \\ U_{2in} = r_c X \frac{\sigma_1^{(0)}}{2G} \cdot \frac{1 - \lambda}{2} \\ U_{2in} = -U_{2in} \end{cases} \quad (3)$$

Тогда с учетом (3) и  $\sigma_1^{(0)} = \sigma_z^{(0)} = \rho_p g H$ , имеем

$$\begin{cases} U_0 = r_c \frac{\rho_p g H}{2G} \cdot \frac{1 + \lambda}{2} \\ U_2 = r_c X \frac{\rho_p g H}{2G} \cdot \frac{1 - \lambda}{2} \end{cases} \quad (4)$$

При этом из выражения (2) следует, что смещение точек В контура кругового сечения скважины в сторону массива возможны при условии, если

$$U_2 > U_0 \quad (5)$$

Подставляя в неравенство (5) значения из выражений (4), получаем

$$r_c X \frac{\rho_p g H}{2G} \cdot \frac{1 - \lambda}{2} > r_c \frac{\rho_p g H}{2G} \cdot \frac{1 + \lambda}{2}$$

или

$$\lambda < \frac{X - 1}{X + 1} \quad (6)$$

где:  $X$  – коэффициент вида напряженного состояния.  
Так при плоской деформации

$$X = 3 - 4\mu_{\Pi} \quad (7)$$

Тогда с учетом (7) неравенство (6) принимает вид

$$\lambda < \frac{1 - 2\mu_{\Pi}}{2(1 - \mu_{\Pi})} \quad (8)$$

Полученное неравенство (8) определяет область значений коэффициента Пуассона  $\mu_{\Pi}$  горных пород и коэффициента  $\lambda$  бокового давления в массиве, при которых смещения точек В контура кругового сечения скважины будут направлены в сторону массива.

Условие (8) указывает на то, что в слабых породах, таких как, например, супесь, суглинки, глины и др., у которых  $\mu_{\Pi} > 0,3$  перемещение точек В контура кругового сечения скважины в сторону массива горных пород не происходит, поскольку коэффициент  $\lambda$  бокового давления в таких породах составит  $\lambda > 0,3$ .

Но известно, что коэффициент бокового давления может быть найден по формуле А. Н. Динника, имеющей вид [1]

$$\lambda = \frac{\mu_{\Pi}}{1 - \mu_{\Pi}} \quad (9)$$

Тогда подставляя (9) в выражение (8), имеем

$$\frac{\mu_{\Pi}}{1 - \mu_{\Pi}} < \frac{1 - 2\mu_{\Pi}}{2(1 - \mu_{\Pi})},$$

Откуда

$$\mu_{\Pi} < 0,25 \quad (10)$$

Полученное значение коэффициента Пуассона  $\mu_{\Pi} = 0,25$  можно принять в качестве граничного, при котором возможно перемещение точек В, расположенных на горизонтальном диаметре контура кругового сечения скважины, в сторону массива горных пород.

С учетом полученных результатов предположим, что согласно геологическому разрезу проектируемой скважины на территории конкретного месторождения, например, имеет место быть интервал, представленный как слабосвязанными песчано-галечными, так и глинистыми отложениями, средняя плотность которых составляет  $\rho_{\Pi} = 1800$  кг/м<sup>3</sup>, а коэффициент Пуассона равен  $\mu_{\Pi} = 0,382$ . Тогда сопоставление  $\mu_{\Pi} = 0,382$  с граничным значением  $\mu_{\Pi} = 0,25$  показывает, что указанный интервал сложен породами, склонными к обрушению. Данное обстоятельство потребует определения значения плотности бурового раствора, при котором будет обеспечено условие устойчивости стенок ствола скважины[2].

Для этого воспользуемся формулой вида

$$U_B = r_c \frac{\sigma^{(0)}}{2G} \left(1 - \frac{p}{\sigma^{(0)}}\right), \quad (11)$$

где:  $r_c$  – размер скважины, м;  $\sigma^{(0)}$  – компонента начального поля напряжений, МПа;  $G$  – модуль сдвига пород, МПа;  $p$  – гидростатическое давление столба бурового раствора, МПа.

При этом величина параметров, входящих в (11) равна

$$\sigma^{(0)} = \sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = \lambda \rho_{\text{п}} g H; \quad (12)$$

$$p = \rho_{\text{бр}} g H \quad (13)$$

Тогда после подстановки результатов (12) и (13) в выражение (11) получаем

$$U_B = r_c \frac{\lambda \rho_{\text{п}} g H}{2G} \left(1 - \frac{\rho_{\text{бр}} g H}{\lambda \rho_{\text{п}} g H}\right) \quad (14)$$

Из выражения (14) следует, что перемещение точек контура кругового сечения скважины будут равно нулю в том случае, если множитель

$$1 - \frac{\rho_{\text{бр}} g H}{\lambda \rho_{\text{п}} g H} = 0, \quad (15)$$

откуда минимальное значение плотности бурового раствора, при котором выполняется условие устойчивости пород стенок ствола скважины будет иметь вид

$$\rho_{\text{бр}} \geq \lambda \rho_{\text{п}} \quad (16)$$

Из неравенства (16) следует, что плотность рекомендуемого для циркуляции в скважине бурового раствора зависит от численного значения коэффициента  $\lambda$  бокового давления, которое может быть найдено по формуле А. Н. Динника, а условие (16) принимает вид

$$\rho_{\text{бр}} \geq \frac{\mu_{\text{п}}}{1 - \mu_{\text{п}}} \rho_{\text{п}} \quad (17)$$

Тогда с учетом указанных выше начальных условий, плотность рекомендуемого бурового раствора будет равна

$$\rho_{\text{бр}} \geq \frac{0,382}{1 - 0,382} \cdot 1800 = 1112 \text{ кг/м}^3$$

При этом полученные значения следует увеличить на 1% ÷ 3%, поскольку при выполнении расчета не учитывалось влияние гидродинамических импульсов, возникающих в процессе спуска

и подъема инструмента, при наращивании бурильной колонны, при пуске насосов в процессе бурения и в случае выполнения специальных работ в скважине.

Итак, к практическому применению в указанном интервале геологического разреза скважины рекомендуется буровой раствор  $\rho_{бр} = 1134 \div 1145 \text{ кг/м}^3$ .

### **Выводы**

1. Горные породы, коэффициент Пуассона которых более 0,25, будут склонны к обрушению, что потребует привлечения средств для предупреждения осложнения.

2. Полученное неравенство (8) определяет область значений коэффициента Пуассона  $\mu_{п}$  горных пород и коэффициента  $\lambda$  бокового давления в массиве, при которых смещения точек В контура кругового сечения скважины будут направлены в сторону массива.

3. Плотность бурового раствора, при которой соблюдается условие устойчивости пород в стенках скважины, имеет вид (17).

### **Библиография**

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. М., Недра, 1989, с.270.

2. Войтенко В.С., Леонов Е.Г., Филатов Б.С. Выбор типа промывочной жидкости, обеспечивающей наибольшую устойчивость пород в стенках скважин. В кн.: Бурение газовых и газоконденсатных скважин. М. ВНИИЭ Газпром, 1974, вып.2., с.с.12 – 21.

3. Волкова О.А., Арсентьев Ю.А., Иляхин С.В., Назаров А.П. Повышение устойчивости подземной горной выработки методом опережающего закрепления грунтобетонном. Известия ВУЗ Геология и разведка №2, 2019, с.с. 54 – 59.

4. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Бурение скважин в осложненных условиях. М., Недра, 1987.

### **Bibliography**

1. Bulychev N.S. Mechanics of underground structures in examples and problems. M., Nedra, 1989, p.270.

2. Voitenko V.S., Leonov E.G., Filatov B.S. Selecting the type of flushing fluid that provides the greatest stability of rocks in the walls of wells. In the book: Drilling gas and gas condensate wells. M. VNIIE Gazprom, 1974, issue 2., pp. 12 – 21.

3. Volkova O.A., Arsentiev Yu.A., Ilyakhin S.V., Nazarov A.P. Increasing the stability of underground mine workings using the method of advanced reinforcement with soil concrete. Izvestia VUZ., Geology and exploration No. 2, 2019, p.s. 54 – 59.

4. Kudryashov B.B., Yakovlev A.M. Drilling wells in difficult conditions. M., Nedra, 1987.

***Влияние характера структурных связей глинистых частиц на процесс разупрочнения  
горных пород при выветривании и разрушении гидромониторными струями***

***Клочков Н.Н.\* (МГРИ, klochkovnn@mgru.ru),***

***Пятова Н.Е. (МГРИ, pyatovane@mgru.ru),***

***Богачев М.Ю. (МГРИ, bogachevmy@mgru.ru)***

**Аннотация**

В статье рассматривается влияние характера структурных связей глинистых частиц в горных породах на снижение их прочностных характеристик при выветривании.

Установлены зависимости производительности гидравлического разрушения глинистых горных пород гидромониторными струями от характера структурных связей.

**Ключевые слова**

Разупрочнение, выветривание, дезинтеграция, физико-механические свойства пород.

**Теория**

При разработке россыпных месторождений, сложенных глинистыми, труднопромывистыми породами, зачастую не удается достичь полной дезинтеграции, что приводит к потерям полезного компонента при обогащении с продуктами неполной дезинтеграции.

Исследования проводились на месторождении золотосодержащих конгломератов Балецкого грабена, продуктивный пласт которого представлен гранодиоритами, кристаллическими сланцами и кварцитами, сцементированными глинистым материалом, состоящим из каолинита и монтмориллонита. Золото приурочено к двум разновидностям конгломератов, выделенным по цветовой окраске – синим и красным [1]. Физико-механические свойства конгломератов при залегании в целике значительно отличаются друг от друга. Прочность красных конгломератов ниже, чем у синих (сцепление в 2 раза, а угол внутреннего трения в 1,3 раза). У красных конгломератов ниже плотность и выше пористость. При этом красные конгломераты содержат 15-20 % глинистых минералов, синие конгломераты 20-25 %.

Нужно учитывать, что физико-механические свойства глинистых пород определяются не прочностью их элементарных структурных элементов, а силами связи между ними. Формирование структурных связей при литогенезе глинистых образований под влиянием совокупности физических, физико-химических и химических процессов, приводящих к возникновению на контактах частиц сложных взаимодействий различной природы и энергии. На различных стадиях литогенеза существенное влияние на структурные связи оказывают магнитные, дипольные, капиллярные, молекулярные, ионно-электрические и химические силы [4]. Таким образом условия формирования красных и синих в процессе литогенеза определили в основном различия в характере их структурных связей, которые являются важнейшим фактором, обуславливающим свойства глинистых пород и тесно связанным с их генезисом, постгенетическими преобразованиями и современным состоянием.

Образование структурных связей в дисперсных системах идет не по всей межфазной поверхности частиц, а только в местах их наибольшего сближения – контактах. Выделяют три основных типа контактов, обычно встречающихся в дисперсных структурах: коагуляционный, переходный и фазовый. Исходя из физико-механических свойств конгломератов косвенным путем по величине двух показателей – сцепления и угла внутреннего трения, можно установить по известной методике [54], что красные конгломераты характеризуются контактами переходного типа (сцепление в горных породах с контактами переходного типа 0,1 – 0,4 МПа, угол внутреннего трения 18 – 32 градуса), а синие конгломераты – фазового типа (сцепление в горных породах фазового типа 0,12 – 0,8 МПа, угол внутреннего трения 22 – 38 градусов).

Структурная связность пород с контактами переходного типа обеспечивается силами ионно-электростатической природы, действующими на относительно небольших контактных площадках. Важная особенность этих контактов – обратимость при гидратации с переходом в коагуляционные контакты. Ионно-электростатические силы возникают за счет электростатического притяжения отрицательно заряженных частиц находящимися между ними ионами.

Структурная прочность горных пород с контактами фазового типа, обуславливается наличием прочных контактов химической природы, образующихся при срастании глинистых частиц в условиях повышенного давления и температуры, или выпадения из порового раствора и отложения на контактах новой фазы, цементирующей глинистые частицы. По своей природе химические силы аналогичны силам, действующим внутри кристалла. Горные породы этой группы термодинамически наименее устойчивы. Попадая в зону выветривания, фазовые контакты разрушаются, что приводит к сильному разуплотнению и снижению прочности этих пород. Характер изменения влажности у красных и синих конгломератов в процессе выветривания практически одинаков (см. рис.1).

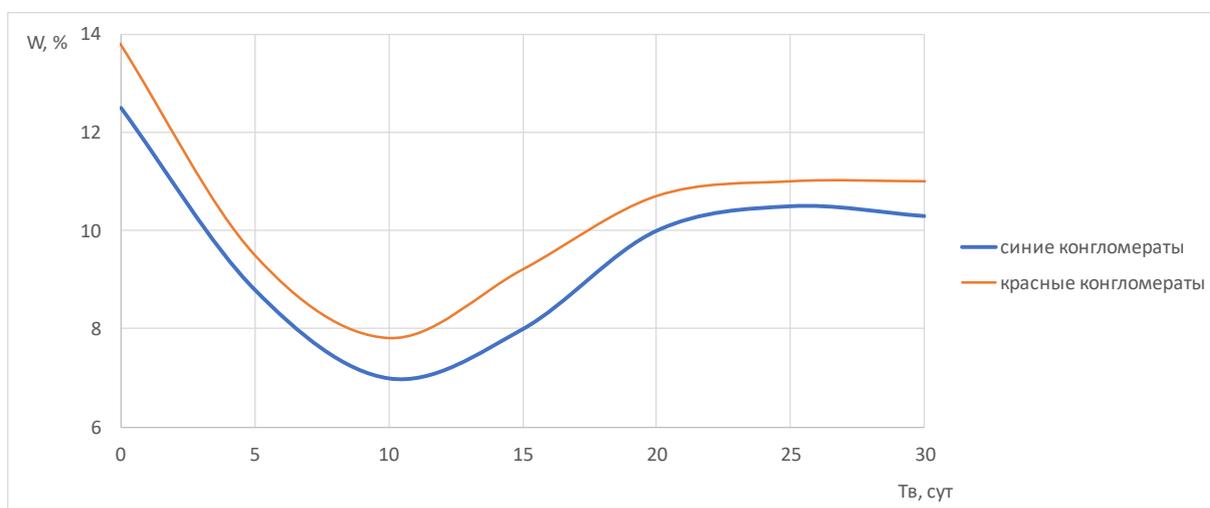


Рисунок 1. Зависимость весовой влажности  $W$  конгломератов от продолжительности выветривания  $T_v$  при высоте отвала 1 м

В первый период после рыхления обоих видов конгломератов происходит уменьшение влажности, а затем ее рост с последующей относительной стабилизацией абсолютного значения.

То же самое можно сказать и о плотности конгломератов, которая при вылеживании их в отвале несколько увеличивается (см. рис.2).

Установлено, что сцепление у синих конгломератов в процессе выветривания снижается за счет образования микротрещин на 20-30 %, а угол внутреннего трения уменьшается на 6-15 %. При этом изменение сцепления и угла внутреннего трения в процессе выветривания красных конгломератов незначительно.

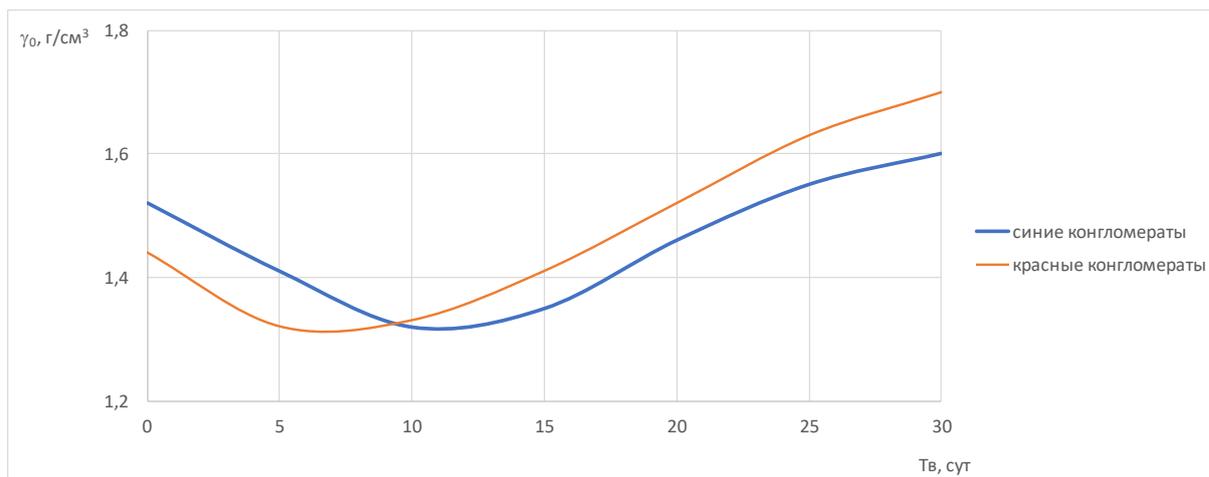


Рисунок 2. Зависимость плотности  $\gamma_0$  конгломератов от продолжительности выветривания  $T_v$  при высоте отвала 1м

Сравнение результатов опытов по размоканию образцов, отобранных из свежедобытых красных и синих конгломератов, и после их выветривания показывает, что оба вида конгломератов размокают более интенсивно после выветривания, причем расслоение образцов в первую очередь происходит по микротрещинам, которые при погружении образца в воду увеличиваются в размере (см.рис.3).

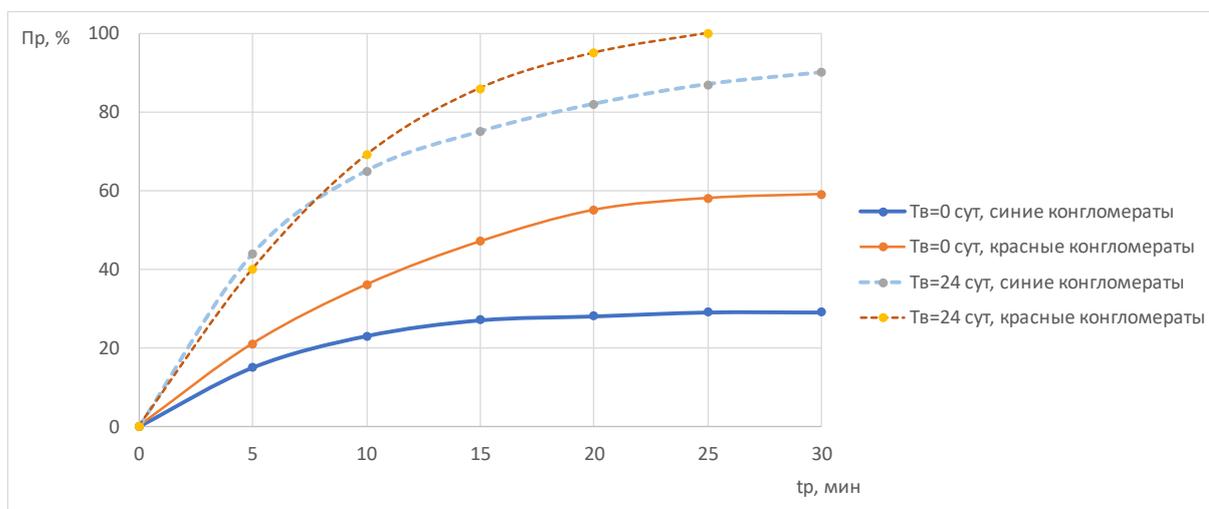


Рисунок 3. Зависимость показателя размокания  $P_r$  конгломератов от продолжительности размокания  $t_p$  при продолжительности выветривания 0 и 24 суток

Из анализа физико-механических свойств конгломератов видно, что несмотря на различие в абсолютных значениях показателей свойств синих и красных конгломератов, характер их изменения при выветривании одинаков [3]. При этом разная интенсивность процесса выветривания конгломератов связана в первую очередь с различием в характере их структурных связей.

Это прослеживается также при гидравлическом разрушении свежедобытых и выветрелых конгломератов гидромониторными струями [2] (см.рис.4).

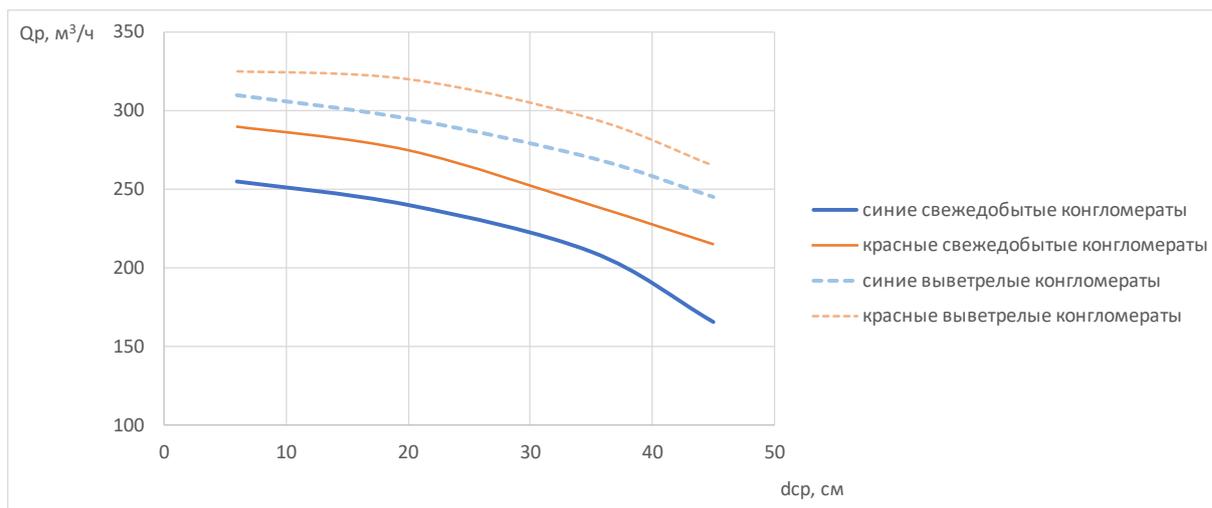


Рисунок 4. Зависимость производительности гидравлического разрушения конгломератов  $Q_p$  от среднего размера куска в отвале  $d_{cp}$

Производительность гидравлического разрушения красных конгломератов выше, чем синих, при одинаковых условиях выветривания и среднего размера куска в отвале. Это объясняется как более низкими значениями прочностных характеристик красных конгломератов, так и большей интенсивностью размокания их в воде, что определяется различием в типе структурных связей.

### Выводы

Из анализа физико-механических свойств красных и синих конгломератов видно, что несмотря на различие в абсолютных значениях свойств, характер их изменения при выветривании одинаков. Разная интенсивность процесса выветривания конгломератов связана в первую очередь с различием в характере их структурных связей.

### Библиография

1. Дробаденко В.П., Клочков Н.Н., Бунин Ж.В., Вильмис А.Л. Основные научные разработки кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства. Горный журнал, 2018, № 11.
2. Клочков Н.Н. Оценка разрушающей способности гидромониторных струй. В сборнике: Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах, 2018.
3. Клочков Н.Н., Пятова Н.Е., Носова К.С. Оптимизация процесса гидравлического разрушения труднопромывистых пород гидромониторными струями. В книге: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах, 2019.
4. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: изд. МГУ, 1979.

*Вопросы управления качеством полезного ископаемого при разработке алмазной трубки  
«Удачная»*

*Докладчик Кувшинников А.К.\* (ООО «Технология и безопасность»,  
kuvshinnikov.2016@mail.ru),  
соавтор Яшина В.И. (МГРИ, yashinavi@mgri.ru),  
соавтор Яшин В.П. (МГРИ, yashinvp@mgri.ru)*

**Аннотация**

Доклад посвящен анализу системы подземной разработки месторождения алмазов трубки «Удачная». Рассмотрены вопросы истории разработки месторождения, геологического строения, систем разработки и особенностей технологии добычи алмазов. Приведены характеристики физических и прочностных параметров вмещающих пород и руд месторождения. Описана отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» системой разработки этажно принудительного обрушения с одностадийной выемкой и площадным выпуском руды. Рассмотрены характеристики качества отработки месторождения, нормирование видов потерь и разубоживания алмазов при добыче. Для повышения качества добываемых алмазов, предложен вариант замены взрывного способа дробления негабаритов и ликвидация зависания руды при выпуске на применение самоходных бутобоев.

**Ключевые слова**

Кимберлитовая трубка, рудное тело, вмещающие породы, технология разработки, предохранительная подушка, подкарьерные запасы, негабариты, потери и разубоживание.

**Теория**

Разработка коренных месторождений алмазов производится открытым, подземным и комбинированным способами. При комбинированном способе границу отработки открытым способом устанавливают при помощи предельного коэффициента вскрыши, исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого тем и другим способом. Применяемые способы разработки зависят от горно-геологических условий залегания рудных тел, принятых горно-технических показателей, схем добычи руды и обосновываются в ТЭО кондиций. Алмазные месторождения трубчатого типа, выходящие на дневную поверхность или залегающие неглубоко (до 100 м), разрабатываются открытым способом – карьерами первой очереди до глубины 250–300 м (трубки им. 23-го съезда, Дачная) и второй очереди до глубины 600 м (трубки Мир, Удачная, Сытыканская). Глубокозалегающие (> 200 м) месторождения и глубокие горизонты трубок (Интернациональная в России, Премьер в ЮАР) разрабатываются подземным способом, системой массового обрушения. Величина потерь и разубоживания, как правило, зависит от принятого способа и системы разработки и горно-геологических условий. Потери при открытой разработке коренных месторождений алмазов составляют 0,1–1 %, разубоживание – 0,5–10 %, при подземной разработке соответственно – 10–15 и 15–25 %. [4, п. 36, стр. 25]

Трубка "Удачная" расположена на левом склоне ручья Пироповый, правого притока реки Далдын. Месторождение ориентировано в субширотном направлении. Трубка состоит из двух самостоятельных кимберлитовых тел, сочленяющихся в её верхней части. Трубка прорывает нижнепалеозойскую толщу карбонатных пород. Размеры трубки с глубиной существенно уменьшаются (рис. 1). Слагающие месторождение рудные тела - Западное и Восточное, имеют типичную трубчатую форму и выполнены, различными по вещественному составу и алмазности, типами кимберлитов. Рудные тела месторождения имеют относительно простую форму. Анализ физических и прочностных параметров вмещающих пород месторождения показал, что с увеличением глубины залегания соответственно увеличивается объемный и удельный вес.

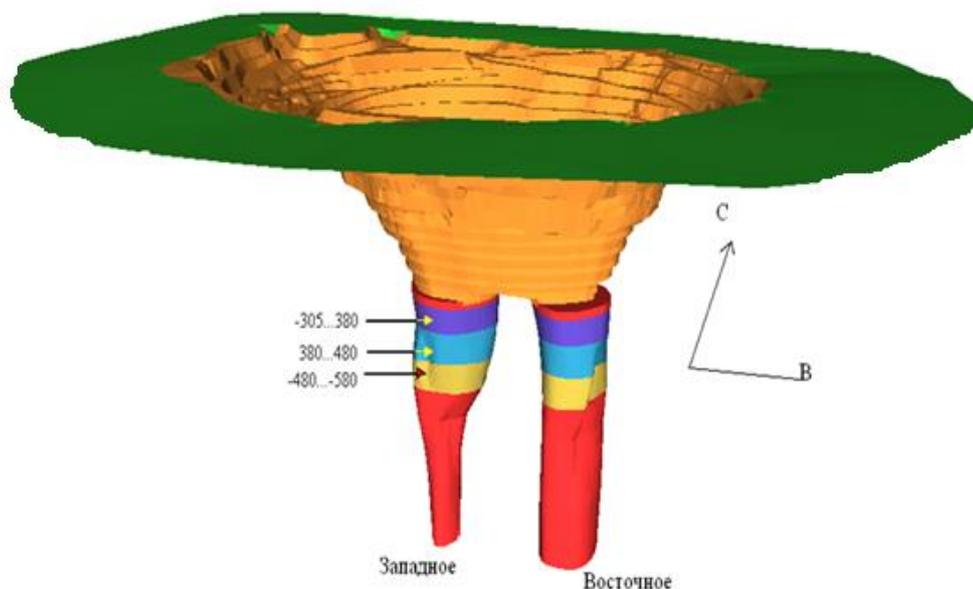


Рисунок 1. Два обособленных рудных тела конусообразной формы

Резкое возрастание значений прочностных свойств, по сравнению с вышележащими породами, начинается с лагунно-сабкховой толщи среднего кембрия. Прочностные параметры известняков и доломитов имеют следующие значения: объемный вес –  $2\,726\text{ кг/м}^3$ ;  $\sigma_{сж}$  – 49,9 МПа;  $\sigma_{раст}$  – 6,57 МПа. Коэффициент крепости для вмещающих пород по шкале проф. М. М. Протождьяконова колеблется от 1 до 8, а для кимберлитов от 5 до 7. Наиболее низкие значения коэффициента крепости зафиксированы в зонах дробления, реже в зонах гидротермальных изменений, а максимальные его значения соответствуют интенсивно окремненным породам.

Отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» системой разработки этажно принудительного обрушения с одностадийной выемкой и площадным выпуском руды (отбойкой в зажатой среде, под рудной предохранительной подушкой) обусловлено в основном ведением работ в условиях вечной мерзлоты. Очистная выемка в панели начинается с отработки центрального блока системой этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой и площадным выпуском руды. Блок из бурового и траншейного штреков разбуривается вертикальными веерами скважин сетка бурения скважин  $2,5\div 3\text{ м} \times 3\div 4\text{ м}$  в зависимости от крепости руды.

Отбойка руды производится секциями с помощью восходящих вееров скважин диаметром 102 мм из буро-доставочных выработок. Скважины не добуриваются до поверхности на 6-7 м для предотвращения прямой связи с атмосферой карьера. Образовавшаяся корка обрушается в режиме самообрушения. Заряжание взрывных скважин производится пневмозарядчиками, тип ВВ–гранулит, в качестве боевика используется амонит 6ЖВ.

Применение систем с обрушением позволяет наращивать интенсивность и увеличивать производительность при разработке кимберлитов путем развития очистной выемки по вертикали одновременно в нескольких подэтажах и этажах залежи (рис. 2). Достоинством таких технологий, при разработке кимберлитовых месторождений, является и то, что безрудные зоны можно обходить без их обрушения, существенно сокращая затраты на добычу [1, с.38-39].

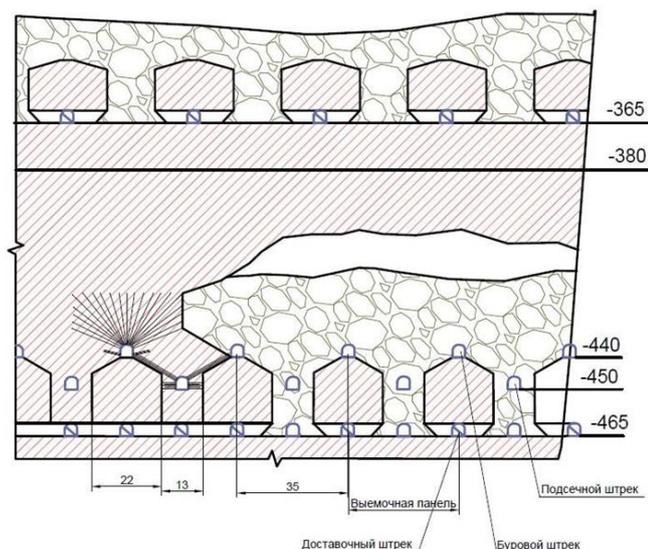


Рисунок 2. Элементы системы разработки этажного принудительного обрушения [2, с. 64-72.]

Характеристикой качества отработки месторождения является нормирование видов потерь и разубоживания алмазов при добыче. Основными источниками потерь и разубоживания при отработке запасов месторождения трубки «Удачная» являются потери и разубоживание на контуре рудных тел за счет буровзрывных работ и неровностей контакта (сложность контакта) и потери и разубоживание отбитой руды при выпуске ее под пустыми породами.

Вопросы снижения потерь руды и разубоживание при отработке рудных тел за счет буровзрывных работ являются основными. Общие нормативы потерь и разубоживания месторождения трубки «Удачная» по местам их образования для отработки запасов ВРТ и ЗРТ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Потери руды и разубоживание на контуре рудных тел за счет буровзрывных работ

Рудное тело	Потери, %	Разубоживание, %
Восточное	8,31	8,56
Западное	8,3	8,3

Кроме нормативных потерь, при отработке трубки «Удачная», необходимо учитывать потери при ликвидации зависания крупных кусков руды при выпуске в дучке (пунктах выпуска руды). При дроблении негабарита взрывным способом необходимо выполнять предварительный расчет опасных зон, составление паспорта, вызов взрывника, что вызывает простои в работе (эвакуация рабочих, проветривание выработок), взрывы вызывают разрушение выпускных выработок, значительный разлет кусков руды и дробление алмазов. Комплекс буровзрывных работ более сложный и требует большего времени на ликвидацию зависаний или дробление негабарита.

Одним из путей эффективного решения данной проблемы по дроблению негабаритов может быть применение мобильных бутобоев (рис. 3). Мобильный бутобой – может устранить негабарит в любом пункте выпуска, имеет высокую производительность и мобильность, оборудован независимым приводом и пневмоколесным ходом.

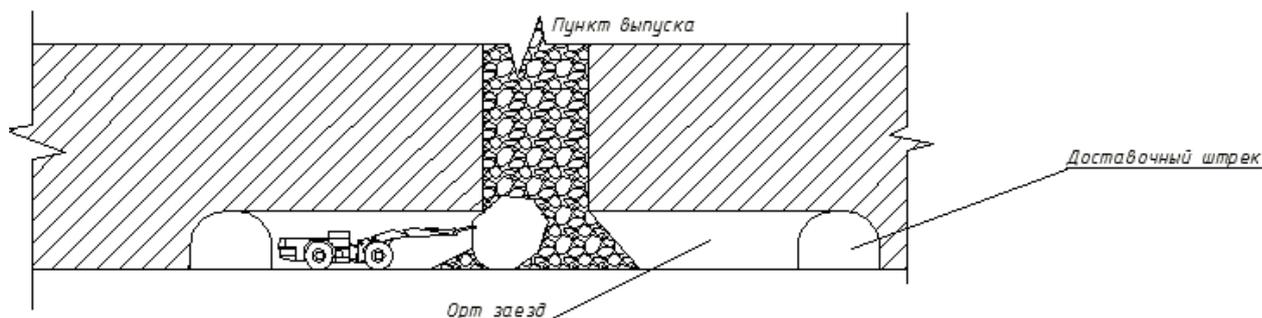


Рисунок 3. Схема работы бутобоя в орт-заезде при дроблении негабарита

Для условий применяемой системы разработки, из серийно выпускаемых самоходных бутобоев, рекомендован BUMAR SWKS-2. В отличие от остальных моделей бутобоев он имеет высокую мощность удара и относительно небольшую цену. Бутобой SWKS-2 обеспечивает безопасную эксплуатацию при работе, т.к. имеет более длинную стрелу, что позволяет ликвидировать зависания негабаритов в дучках с безопасного расстояния.

### **Выводы**

Произведен обзор двух вариантов устранения недостатков при выпуске руды с негабаритами: буровзрывными работами и применением бутобоев. Буровзрывные работы имеют большой ряд недостатков, главными из которых являются существенные затраты времени подготовку и проведение взрывных работ, затраты на взрывчатые материалы и безопасность рабочих. При анализе технологии с применением бутобоя, основным преимуществом является увеличение производительности труда за счёт снижения времени простоев, снижение рисков для работающих, а так же, не снижение качества добываемых алмазов. Экономия времени на простои и взрывчатых материалов, позволяют применению бутобоя окупиться за короткий промежуток времени.

### **Библиография**

1. Анисимов К.А. Организация работ при разработке алмазосодержащих месторождений крайнего севера подземным способом. Вестник Кузбастского государственного технического университета. 2021. № 1, с. 64-72.
2. Анисимов К.А. Геомеханические проблемы при разработке подкарьерных запасов алмазосодержащих месторождений в условиях рудника «Удачный». Успехи современного естествознания. 2020. № 5, с. 29-36.
3. Попов В.Н., Бадамсурэн Х., Буянов М. И., Руденко В.В. Квалиметрия недр: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 303 с.: ил.
4. Савич И.Н. «Научное обоснование технологических решений при подземной разработке кимберлитовых месторождений», Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, М.2004. с.38-39.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Алмазы. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

*О возможном применении БПЛА в практических задачах геологоразведки  
Николаев Д.В. (РГГРУ им С. Орджоникидзе, den1s.n1ck@yandex.ru),  
соавтор Насыров А.А. (РГГРУ им С. Орджоникидзе, nasurovaa@mgri.ru)*

**Аннотация**

В ходе выполнения практических задач геологоразведочных работ возникает ряд затруднений, связанных с отсутствием возможности визуального наблюдения изучаемого объекта и его инструментального исследования.

Высокогорье не позволяет геологам взбираться на интересующие вершины, проводить измерения элементов залегания горных пород, отбирать их образцы, тем самым серьезно затрудняя геологосъёмочные и разведочные работы и снижая их достоверность. Предлагаем использовать для решения проблемы компактные БПЛА, которые будут выполнять функции исследователя-документатора в труднодоступных районах гор. Современные БПЛА имеют среднюю дальность полета до 40км, автономность с учетом пути до 5 часов. Для точного позиционирования летательного аппарата, в том числе при наличии ветра, практичнее всего использовать квадрокоптеры небольшого размера 40x40см, грузоподъемностью до 5кг. Конструкция аппарата должна предусматривать возможность фото-видеосъемки, в том числе на короткофокусном расстоянии до объекта от 5см, с целью отличной детализации поверхности обнажений, причём, должна присутствовать возможность передачи данных онлайн и записи на съёмную карту памяти. Кроме фото-видео документации, аппарат должен уметь производить позиционирование точек замеров по профилям маршрутов в системе координат ГЛОНАСС, а также определять высоту исследуемых точек в абсолютной Балтийской системе высот для построения цифровых профилей местности.

**Ключевые слова**

БПЛА, геологоразведка, отбор образцов, достоверность, цифровые профили.

**Теория**

При необходимости отбора проб образцов в труднодоступных местах, необходимо использовать БПЛА типа FPV (First-Person View - вид от первого лица), управляемые посредством виртуальных очков оператора [1]. Аппарат должен снабжаться механическим захватывающим устройством с возможностью управления им оператором дрона по каналу связи. Для отбора проб со скалистых поверхностей, необходимо оборудовать несколько дронов минибурильными устройствами вращательно-ударного типа с возможностью бурения шпура для отбора проб на глубину до 50см с выемкой керна. Бурение осуществлять этапами по 0,25м. Исходя из практических соображений (скорость бурения, необходимое усилие, приемлемая достоверность залегания пород), диаметр бурения - 25мм. Для осуществления бурения, при полете дрона к поверхности обнажения, для причаливания оператор активирует бурильную головку, при этом начинается вращательно-ударное бурение в породе победитовым сверлом диаметром 6мм глубиной 60мм. Этот процесс легко осуществим с помощью соответствующих конструктивных узлов серийно выпускаемых ударных шуруповёртов (рис. 2): зажимного патрона, трещётки, имитирующей ударный (импульсивный) эффект, редуктора и двигателя 18V. После бурения 2-х отверстий в горизонтальной плоскости, механический захват вставляет в них п/э дюбеля, и, после смены в патроне сверла на шурупы, осуществляет жёсткое привинчивание платформы дрона к точке исследования. После закрепления БПЛА, несущие винты отключаются для экономии батарей. Начинается поэтапный процесс бурения шпуров для получения керна. Важно предусмотреть возможность быстрой и простой разгрузки керна из забурника, а также проработать конструктивные решения по сохранности высокого выхода керна. КERN каждого этапа бурения укладывается в соответствующую ячейку на платформе БПЛА.

При проведении разведочных работ с применением подземных горных выработок и подземного бурения, также возникает ряд специфических задач. Они связаны с исследованиями в узких производственных объемах, порой на высоте, намного превышающей рост человека.

Предлагаемая функциональность БПЛА позволит контролировать состояние массива и его физико-механические характеристики, трещиноватость и водообильность пород, состояние, работоспособность и деформации различных видов крепи, что намного увеличивает информационное обеспечение безопасности ведения горных работ. При взрывных работах также очень важно контролировать зоны отбойки вблизи рудных и породных массивов.

Дрон для подземных горных выработок, в целях придания ему мобильности, может оборудоваться шаровой сеткой для предотвращения повреждения несущих винтов, при этом активизируется режим автоматического измерения содержания газов в атмосфере данной выработки с передачей на пульт оператора всей полученной информации. Оператор внимательно следит за получаемыми данными и не допускает дрон в зону повышенной опасности [2]. При этом технология ИИ, которая со времени будет внедрена на каждом этапе горнопроходческих работ, отслеживает появление новых данных на схеме горной выработки [4].

БПЛА также можно использовать для прогнозирования оползневой, лавинной и сейсмической опасностей. Он будет способен отбирать пробы пород, снега, льда, наста из массива, причем, что очень важно, с максимальным сохранением их текстуры. Данные пробы будут доставляться на базы соответствующих служб и по ним можно будет достоверно определять состояние объектов исследования.

Кроме того, после некоторых доработок, данный БПЛА можно использовать для отбора проб донных отложений и воды для гидрогеологических, гидрологических и экологических исследований.

Предоставим стандартный рисунок дрона, используемый для фото и видео съемки (рис.1):



Рисунок 1. Дрон типа FPV (First-Person View - вид от первого лица)

К подобному дрону будет прикреплена площадка, мини-буровой агрегат и механический простейший захват-манипулятор [5]. В площадке имеются фиксаторы для закрепления БПЛА на местности или плоскости обнажения, вследствие чего затраты аккумулятора на поддержание дрона в воздухе отпадают, тем самым у него будет сохранено больше электроэнергии для забуривания малогабаритным станком, отбора проб и керна. За счет ударов (импульсов), создаваемых храповыми шестернями и высокого крутящего момента вращательно-ударной установки до 100 Н×м, появляется возможность пробиваться через наиболее сложные препятствия. Показательно, что в процессе бурения современной импульсной установки, не требуется ощутимых усилий: инструмент вгрызается в массив без существенного нажатия.

При отсутствии необходимости в постоянном физическом усилии, прилагаемом к инструменту, конструкция БПЛА страдает меньше, чем при ударно-вращательном и ударно-поворотном видах бурения.

Представим примерную механическую схему устройства такой установки (рис.2):



Рисунок 2. Механическая схема бурильной установки

Учитывая, что даже самая прочная порода не способна успешно противостоять натиску такого инструмента, керн будет гарантированно извлечен из забурника, не будет сильно деформирован, что в будущем позволит установить все характеристики и минеральный состав исследуемого массива.

Для геофизических исследований массивов также возможно предусмотреть проведение комплекса исследований различными приборами пробуренных шпуров. Становятся доступны возможности визуальной оценки полученных данных в трехмерном представлении. [6]

### **Выводы**

Исследование показало, что использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геологоразведке может значительно улучшить эффективность, точность и достоверность проведения различных поисковых и разведочных работ. БПЛА позволяют производить фото и видео съемку местности и отдельных обнажений с высоким разрешением, а также проводить буровые работы на недоступных для человека территориях и в зонах с повышенной опасностью.

Благодаря использованию БПЛА можно ускорить процесс сбора данных, сэкономить время и ресурсы на подготовку и проведение геологоразведочных работ, а также получить доступ к удаленным участкам, где традиционные методы исследования затруднены.

Для успешного применения БПЛА в геологоразведке следует учитывать ограничения, связанные с применением данной технологии, а также обеспечить высокую квалификацию и обученность операторов БПЛА.

В целом, использование БПЛА в практических целях геологоразведки должна стать инновационным направлением развития разведочных буровых и горных работ, полезным инструментом для повышения производительности, точности и достоверности исследований в этой области.

Увеличение достоверности, собираемой с помощью БПЛА информацией, способствует прироста запасов при повторной разведке и разработке месторождений.

### **Библиография**

1. Балабина И.С. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения проблем качества кадастровых работ. Сетевое издание. Военно-экономический вестник 1/2023.

2. Бурдаков, С. Ф. Управление квадрокоптером при полетах с малыми и средними перегрузками: монография / С. Ф. Бурдаков, А. О. Марков. — Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2016.

3. Дивеев, А. И. Эволюционный метод решения задачи группы квадрокоптеров для повышения качества мониторинга области / А. И. Дивеев, Н. Б. Конырбаев // Надежность и качество сложных систем, 5/2017.

4. Мячкина, Н. Область применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современном мире // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. Сборник трудов конференции. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017.

5. Обзор современных достижений в фотограмметрии и аэрофотосъемке /И. А. Хабарова, Д. А. Хабаров, И. Д. Яворская, И. Н. Иванов // Международный журнал прикладных наук и технологий INTEGRAL – 4/2019.

6. Панасенко, А. К. Разработка многофункционального радиоуправляемого дрона / А. К. Панасенко, Е. В. Трофимов // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е. В. Арменского: материалы конференции. – Москва: Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, 2017.

*Анализ проблемных аспектов сектора технической соли в России и стратегии улучшения  
добывающей индустрии*

*Солодухин С.О.\* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С.  
Орджоникидзе (МГРИ), [inside909@yandex.ru](mailto:inside909@yandex.ru)),*

*Научный руководитель: Анисимова А.Б. (Российский государственный геологоразведочный  
университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), [anisimovaab@mgri.ru](mailto:anisimovaab@mgri.ru))*

**Аннотация**

В рамках настоящего исследования, обсуждается значимость технической соли в химической и нефтегазовой промышленности России, где она играет важную роль в производстве различных продуктов, таких как хлор и содовая сода, а также используется для создания антигололедных материалов. Упоминается об импорте значительных объемов хлорида натрия, несмотря на наличие обширной национальной сырьевой базы этого продукта в стране. Для выявления проблем на рынке соли в России предлагается провести анализ текущего состояния национальной минерально-сырьевой базы, а также спроса и предложения на соль. После анализа данных по движению товарных потоков и динамике цен за период с 2002 по 2023 годы, можно будет разработать рекомендации по улучшению добывающей индустрии с целью поддержания устойчивого развития сектора.

**Ключевые слова**

Эффективность, промышленность, сырьевая база, техническая соль, стратегии, устойчивое развитие сектора.

**Теория**

Актуальность проведения анализа проблемных аспектов сектора технической соли в России и разработки стратегий улучшения добывающей индустрии подтверждается несколькими основными факторами. Во-первых, сектор технической соли играет существенную роль в экономике страны, покрывая потребности не только в промышленности, но и в сельском хозяйстве, строительстве, пищевой промышленности и других отраслях. Недостаточная эффективность и проблемы в этом секторе могут негативно отразиться на различных сферах экономики. Проблемами, с которыми сталкивается сектор технической соли в России, являются устаревшее оборудование, недостаточная инфраструктура, низкая производительность, неэффективные технологии и серьезные экологические проблемы. Решение этих проблем требует комплексного подхода и разработки стратегий, направленных на совершенствование добычи и производства технической соли. Тема анализа проблемных аспектов сектора технической соли в России и разработки стратегий улучшения добывающей индустрии имеет достаточно высокую научную разработанность. В настоящее время существует значительное количество научных исследований, посвященных проблемам добычи и производства соли, как в России, так и по всему миру. Данные исследования охватывают различные аспекты, включая технологические инновации, управление производством, качество продукции, экологические последствия, а также анализ рыночной конкурентоспособности сектора соледобычи. Информация по данной теме представлена в научных статьях, отчетах о научных исследованиях, диссертациях и других научных работах. Однако, несмотря на наличие ряда научных исследований, тема все еще остается актуальной и требует дальнейшего изучения. Существует потребность в более глубоком анализе конкретных проблемных аспектов сектора соледобычи, разработке конкретных стратегий улучшения эффективности производства и подходов к сокращению отрицательного воздействия на окружающую среду. Информация для проведения анализа была получена из различных источников, таких как Федеральная служба государственной статистики [1], Федеральная таможенная служба России [2], статистические данные ООН [3] и обзоры информационных центров [4,5].

Сектор технической соли играет значительную роль в экономике России, обеспечивая сырьем множество отраслей промышленности. Хлорид натрия является одним из основных видов соли, используемых в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и других отраслях. Добыча технической соли в России основывается на экономических интересах потребителей, стремящихся к минимизации издержек на транспортировку и производство. В связи с этим, анализ проблемных аспектов данного сектора и разработка стратегий улучшения добывающей индустрии являются темами, требующими внимания и исследования. В данном контексте, оценка текущего состояния сектора технической соли в России и разработка эффективных мер для повышения его конкурентоспособности имеют важное значение для развития отрасли и обеспечения стабильности производства в стратегической перспективе.

Существует три технологические способа добычи соли: бассейновый, шахтный и геотехнологический. Бассейновый способ представляет собой заготовку соли на озерах в естественных (самосадочных) и искусственных (садочных) бассейнах (оз. Баскунчак, оз. Бурлинское). Этот способ добычи является относительно простым и экономически весьма эффективным. Недостаток данного способа - неравномерность заготовок во времени из-за влияния сезонности работ. Шахтный способ добычи соли осуществляется системой подземных горных выработок (разработки Соль-Илецкого, Верхнекамского и Тыретьского месторождений). Достоинства шахтного способа включают возможность селективной разработки пластов солей разных видов, высокую управляемость производственным процессом при концентрации машинной техники и технологического оборудования. При добыче технической соли шахтным методом возникают частые проблемы с обвалами, которые могут иметь серьезные экологические последствия. Для снижения опасности затоплений подземных выработок проводится опережающее замораживание околошахтных пород. Геотехнологический способ разработки солей представляет собой организованный галургический процесс с растворением в околосоляжинном пространстве и кристаллизацией солей из поднятых на поверхность рассолов (разработки Усолье-Сибирского и Новомосковского месторождений). Геотехнологический подход имеет некоторые преимущества перед шахтным, такие как возможность освоения месторождений соли на большие глубины и с более сложными условиями залегания продуктивных залежей, с низкими и менее выдержанными параметрами их качества и мощности, низкие удельные капитальные затраты, высокая производительность и более высокие показатели извлечения соли из недр. Кроме того, существует возможность интеграции в технологические цепочки потребителей соляного сырья, когда соляные рассолы поступают непосредственно в цеха их переработки (например, производство соды и каустика в "Башкирской содовой компании", соляной кислоты в "Новомосковском хлоре", каустика в волгоградском "Каустике", каустика и поливинилхлорида в "Саянхимпласте", хлора на Братском хлорном заводе). Из недостатков геотехнологического способа следует отметить сложность управления горным давлением массива, что может привести к обрушению кровли и даже деформации земной поверхности.

На карте географии соляных провинций России (Рисунок 1) показано местоположение месторождений каменной соли, на которых проводится добыча, а также предприятий, потребляющих хлорид натрия.



Рисунок 1. Соленосные провинции, предприятия, добывающие и перерабатывающие соляные продукты [5]

В рамках исследования о секторе технической соли в России был проанализирован текущий статус минерально-сырьевой базы и спроса на соль. Мировой осадочный чехол земной коры содержит огромные запасы минеральных солей, оцениваемые в 25-30 миллионов кубических километров. На фоне этого, ООО "Руссо́ль" из г. Оренбурга является ведущим производителем хлорида натрия в России. В стране также действуют ряд управляющих центров добычи каменной соли, включая: ЦДПС "Бассоль" (Астраханская область), ЦДПС "Илецксо́ль" (Оренбургская область), ЦДПС "Новомоско́вск" (Тульская область), ЦДПС "Усо́лье" (Иркутская область), а также АО "Уралка́лий" (Пермский край), АО "Башкирская содовая компания" (Республика Башкортостан), и другие. Эти предприятия имеют значительные запасы и производственные мощности для добычи и переработки различных видов солей. Например, "ЦДПС "Бассоль" добывает озерную садочную соль с озера Баскунчак, "АО Башкирская содовая компания" специализируется на сырьевой и производственной базе каменной соли, а "АО "Уралкалий" работает на калийном месторождении с попутным производством хлорида натрия. Современная индустрия добычи технической соли в России сталкивается с рядом проблем, требующих внимательного рассмотрения и решения, к числу которых следует отнести следующие:

1. Одной из основных проблем является безопасность при добыче, так как обвалы и другие аварии могут привести к серьезным последствиям для окружающей среды и населения. Для улучшения безопасности добычи технической соли необходимо инвестировать в инновационные технологии и методы, которые позволят предотвратить аварии и смягчить их последствия.

2. Еще одной проблемой является увеличение сейсмической активности в некоторых регионах, что также может угрожать безопасности добычи соли. Для решения этой проблемы необходимо разработать новые методы мониторинга и прогнозирования сейсмической активности, а также принять дополнительные меры предосторожности при добыче.

3. Другим важным вопросом является управление отходами, образующимися в процессе добычи, переработки и обогащения соли. Эти отходы могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду, поэтому необходимо разработать инновационные способы их утилизации или переработки. Это может включать в себя разработку новых технологий для обработки

отходов или поиск альтернативных способов их использования. Для улучшения эффективности добычи технической соли и снижения вредного воздействия на окружающую среду также необходимо продолжать развивать и внедрять инновационные методы и технологии.

Таким образом, для решения современных проблем в индустрии добычи технической соли в России необходимо активное использование инноваций и технологических разработок. Инвестиции в исследования и разработки, а также сотрудничество между предприятиями и научными учреждениями могут способствовать улучшению условий добычи соли, повышению безопасности и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

### **Выводы**

В ходе нашего исследования были выявлены существенные проблемы, с которыми сталкивается сектор добычи технической соли в России, включая проблемы безопасности, увеличения сейсмической активности, управления отходами и неэффективности процессов добычи и переработки. Для успешного развития отрасли необходимо принять срочные меры и разработать стратегии улучшения добывающей индустрии технической соли. Сотрудничество между государственными органами, компаниями-добытателями, научными учреждениями и общественными организациями также играет важную роль в развитии отрасли. Только совместными усилиями и поиском новых подходов можно добиться устойчивого развития сектора добычи технической соли в России.

### **Библиография**

1. Федеральная служба государственной статистики России. URL: <https://gks.ru/emiss> (дата обращения: 05.03.2024).
2. Федеральная таможенная служба России. URL: <http://stat.customs.gov.ru/analysis> (дата обращения: 05.03.2024).
3. A world of information. UNdata. URL: <https://data.un.org/> (дата обращения: 05.03.2024).
4. TrendEconomy. URL: [dataexplorer \(trendeconomy.ru\)](http://dataexplorer.trendeconomy.ru) (дата обращения: 05.03.2024).
5. Исследовательская группа ИНФОМАЙН. URL: <http://www.infomine.ru/> (дата обращения: 05.03.2024).

### **Bibliography**

1. The Federal State Statistics Service of Russia. URL: <https://gks.ru/emiss> (date of application: 03/05/2024).
2. Federal Customs Service of Russia. URL: <http://stat.customs.gov.ru/analysis> (date of access: 03/05/2024).
3. A world of information. UNdata. URL: <https://data.un.org/> (accessed 05.03.2024).
4. Trend Economy. URL: [data explorer \(trendeconomy.ru\)](http://dataexplorer.trendeconomy.ru) (date of access: 03/05/2024).
5. INFOMAIN Research Group. URL: <http://www.infomine.ru/> (date of access: 03/05/2024).

*Применение закладки при добыче полезных ископаемых  
Батова И.М.\* (Санкт-Петербургский горный университет, batovairina14@gmail.com),  
Васильева М.А. (Санкт-Петербургский горный университет)*

**Аннотация**

В данной работе представлен обзор существующих технологий ведения закладочных работ. Помимо этого, рассмотрены условия добычи полезных ископаемых в районе вечной мерзлоты. Представлены результаты опыта ведения закладочных работ и промышленного применения химически активных добавок в различных регионах России. Выполнен анализ составов закладочных смесей, применимых для заполнения образуемых при разработке пустот.

**Ключевые слова**

закладка выработанного пространства, криолитозона, твердеющие закладочные смеси, химически активные добавки, пластификаторы.

**Теория**

В современной практике ведения горных работ все большее внимание уделяется геотехнологиям с закладкой выработанного пространства гидросмесями.

Применение систем разработки с закладкой выработанного пространства позволяет предотвращать обрушение выработок, обеспечивая сохранность дневной поверхности; решает проблему управления горным давлением; позволяет использовать восходящий порядок отработки месторождения, избегая при этом оставления охранных целиков; позволяет повысить полноту и качество извлечения полезных ископаемых.

Преимуществом закладочных работ является возможность включения в состав закладочной смеси продукты отвалообразования и хвостохранилищ как в качестве заполнителей, так и в качестве вяжущих.

Для закладки выработанного пространства твердеющими смесями в качестве вяжущих принято использовать цемент, портландцемент, а также смеси цемента со шлаком. Их повсеместное применение обусловлено минимальными сроками затвердевания закладочного массива и простотой приготовления. Между тем доставка цемента часто экономически невыгодна вследствие дороговизны. В связи с этим отходы производства в виде металлургических шлаков, золы, ангидрита, гипса, цеолитовых пород становятся более выгодными, поскольку не только влияют на конечную стоимость закладочных работ, но и позволяют решать ряд экологических проблем [1].

В качестве заполнителей принято использовать хвосты обогащения, шлаки, гравий, гальку, пески, дробленные породы отвалов. Главное требование, предъявляемое к заполнителю, - он должен обеспечивать необходимую прочность закладочного массива.

В качестве несущей среды чаще всего используют воду, на некоторых рудниках применяют цементное молоко, растворы солей. Несущая среда должна обеспечивать необходимую растекаемость гидросмеси.

Помимо прочего, в состав закладочной смеси целесообразно включать химически активные добавки, которые в зависимости от их свойств могут увеличивать растекаемость смесей, уменьшать время схватывания гидросмеси, увеличивать прочность закладочного массива.

В настоящее время существует проблема отсутствия систематизированного подхода к выбору закладочных комплексов, способов приготовления закладочных смесей, способов их транспортирования к закладочному массиву, состав самой закладочной смеси, ее концентрации, необходимости включения в состав закладочной смеси химически активных добавок и их подбор в соответствии с вышеперечисленными условиями.

Выбор состава закладочной смеси и способ ее доставки до закладочного массива зависит преимущественно от региона, в котором расположено месторождение, наличия рядом хвостохранилищ, ТЭЦ, обогатительных фабрик. Ниже представлен анализ рудников России, на которых используют разработку с закладкой выработанного пространства (рис. 1). Указаны составы закладочных смесей, наличие пластификаторов, способа доставки закладочной смеси.

Месторождение/характеристика	Состав	Несущая среда	Пластификатор	Способ доставки закладочной смеси
<b>Свердловская область</b>				
Высокогорское	- песок - шлак - галька	вода		самотеком
Красногвардейский	- цемент - кислый шлак	вода	глина	самотеком
Новоберезовский	- цемент - хвосты обогащения полиметаллических руд	вода		самотеком
<b>Южный Урал</b>				
Гайский	- цемент - доменный шлак - хвосты обогащения	вода	глина	самотеком
Учалинский	- цемент - отсев дробильно-сортировочных фабрик	вода		
Октябрьский рудник Бурибаевского рудоуправления	- цемент - дробленая порода	вода	глина	
<b>Якутия</b>				
Интернациональный	- портландцемент - молотый цементный клинкер - малоклинкерное вяжущее - мелкозернистый песок	вода рассолы	ЛСТ	самотеком
<b>Север Красноярского края</b>				

Норникель	- цемент, шлак, ангидрит - щебень(+песок), никелевый шлак - портландцемент	цементное молоко	ЛСТ	самотеком
Магаданская область				
Дукат	- порода с проходческих забоев - цемент	вода		бутобетон
Чукотская область				
Майское	- цемент - порода с проходческих забоев	вода		бутобетон
Кемеровская область				
Таштагольский	- доменный гранулированный шлак - молотые отходы переработки фабрики - портландцемент	вода		самотеком
Белгородская область				
Яковлевский	- цемент - песок	вода		самотеком

Рисунок 1. Сравнение закладочных смесей рудников России

В последние годы все больше внимания обращено на повышение эффективности отработки месторождений Арктической зоны, что определяется близостью арктических руд к Северному морскому пути и к судоходным рекам. В настоящее время на территории Арктической зоны создана уникальная минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых, месторождения которых образуют крупные провинции и рудные районы, минерально-сырьевые центры, соответствующие их потенциалу. Часть из них успешно осваивается: Норильский рудный район, алмазы Якутии.

На алмазодобывающих месторождениях АК «АЛРОСА» и рудниках заполярного филиала ГМК «Норникель» в г. Норильск применяются системы разработки с закладкой выработанного пространства. Однако закладка выработанного пространства в районе вечной мерзлоты имеет ряд особенностей, которые определяются необходимостью контроля за нестабильным состоянием литосферы и необходимостью учитывать особенности климатической зоны. [2-3]

При ведении работ следует учитывать и тот факт, что в условиях вечной мерзлоты закладочный массив отличается увеличенным временем набора прочности. Сократить время набора прочности возможно посредством использования добавок, которые ускоряют схватывание массива. Они могут быть как простыми, например, нитраты, карбонаты, хлористые

соли, так и комплексными готовыми добавками - Гамбит, Релаксол, Реламикс. Добавление таких веществ на стадии приготовления закладочной смеси приводит к увеличению вязкости. Это обуславливает целесообразность разработки (модернизации существующих технологий) технологии с учетом необходимости применения дополнительного оборудования (насосы, гидроактиваторы, вибрационные установки). В конечном счете это сказывается на стоимости закладочного комплекса и общей себестоимости конечного продукта горного предприятия.

На рудниках АК «АЛРОСА» и ГМК «Норникель» при производстве закладочных смесей в качестве пластификатора применяется лигносульфонат технический. В процессе испытаний установлено, что закладочные смеси с добавлением пластификатора обладают большей растекаемостью с повторением контуров рудного тела, а также отличаются ускоренными сроками затвердевания в выработанном пространстве [4].

Использование закладки выработанного пространства при добыче полезных ископаемых позволяет решать ряд проблем, связанных с механическими изменениями и нарушениями в структуре грунтов. При этом, условия криолитозоны оказывают влияние на разработку технологий закладочных работ. На нескольких месторождениях, расположенных в районе вечной мерзлоты, уже успешно применяется закладка выработанного пространства, составы закладочных смесей на этих рудниках также подбираются с учетом особенностей района добычи. Использование пластифицирующих добавок целесообразно в связи с необходимостью сохранения текучести смесей при низких температурах. Помимо этого, возможно применение других типов химически активных добавок, посредством которых осуществляется ускорения набора прочности массива.

### **Выводы**

Применение закладки выработанного пространства на месторождениях России требует систематизации предыдущего опыта и современных технологий. Большинство рудников России выбирают состав закладочной смеси ориентируясь на имеющийся опыт, не обращая внимание при этом на современные требования к экологической безопасности.

Месторождения, расположенные в криолитозоне, имеют уникальные условия ведения горных работ. Они определяются мощностью многолетнемерзлых пород, температурой пород в районе подземных горных работ, температурой на дневной поверхности, глубиной залегания руд, наличием водоносных горизонтов.

Современные технологии ведения работ с закладкой выработанного пространства не предполагают промышленного внедрения химически активных добавок. Однако пластификаторы позволяют положительно влиять на текучесть гидросмесей, на прочность закладочного массива и на время его схватывания. Такие свойства добавок позволяют решать многие проблемы, которые возникают на производстве.

Используемые в настоящее время в криолитозоне закладочные смеси должны обладать свойством сохранять текучесть при низких температурах. В настоящее время на рудниках в качестве пластифицирующей добавки преимущественно применяется лигносульфонат технический. Он увеличивает растекаемость закладочной смеси и снижает водоотделение от закладочного массива. Данные о эффекте использования пластифицирующих добавок-аналогов (С-3, СП-1, Лигнопан Б-1, Лигнопан Б-2) недостаточно широко представлены.

### **Библиография**

1. Анушенков А.Н., Волков Е. П., Стовманенко А. Ю. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых // СФУ. – 2015. 206 с.
2. Волков Е.П., Анушенков А.Н., Гузанов П.С., Лытнева А.Э. Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горный журнал. – 2015. - № 6. - С. 85-87.

3. Монтянова А.Н., Трофимов А.В., Румянцев А.Е., Вильчинский В.Б., Наговицин Ю.Н. / Опыт и эффективность применения пластифицированных закладочных смесей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т.17, №1. – С. 18-25.

4. Монтянова А.Н., Трофимов А.В., Румянцев А.Е., Вильчинский В.Б., Наговицин Ю.Н. / Опыт и эффективность применения пластифицированных закладочных смесей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т.17, №1. – С. 18-25.

*Палеонтологические исследования керна скважин  
Зенкаева А.В. (ФГБУ «ВНИГНИ», a.zenkaeva@vniigni.ru),  
Арсениевич Д. \* (ФГБОУ ВО РГГРУ (МГРИ), dimitrije65002020@gmail.com),  
Верчеба А.А. (ФГБОУ ВО РГГРУ (МГРИ), verchebaaa@mgri.ru)*

#### **Аннотация**

В работе рассматривается актуальность применения усовершенствованных палеонтологических методов для анализа керна скважин. Палеонтологические методы позволяют определить относительный возраст горных пород на основе изучения остатков древних организмов, включая палиноморфы и микрофауну.

В работе описаны различные методики палеонтологического анализа, такие как макрофаунистические работы (аммониты, белемниты, двустворчатые моллюски и др.), микрофаунистические исследования (фораминиферы и др.), и палинологический анализ (палиноморфы: споры, пыльца и др.).

Изучение керна скважин с применением данных методов позволяет получить информацию о геологическом прошлом региона, определить возраст и условия формирования горных пород, провести палеогеографические реконструкции.

#### **Ключевые слова**

Палеонтология, макрофауна, микрофауна, палинология.

#### **Теория**

На сегодня Федеральный фонд ядерного материала представляет собой современный научно-технический кластер Роснедр, главной задачей которого является работа с каменным материалом, всестороннее его изучение, систематизация и последующая оцифровка полученных данных. [1] Керн, полученный при бурении скважин, представляет собой цилиндрическую пробу породы, которая хранит в себе многочисленные следы ископаемых организмов. Палеонтологические методы исследования керна из скважин являются важной составляющей геологического анализа, позволяющего корректно обосновать стратиграфическое расчленение толщ, определить возраст различных слоев породы на основании присутствия определенных видов организмов. Это дает возможность строить биостратиграфические схемы, которые отражают изменения фауны и флоры на протяжении времени.

**Макрофаунистические исследования.** Макрофауна - собирательное название остатков животных, определение систематической принадлежности которых возможно без применения оптических средств [2].

Для этого керн разбивается на определенные отрезки (по литологическому описанию) и производится отбор репрезентативных проб по всему разрезу. После этого отобранные образцы керна с остатками макрофауны могут быть подвержены механической препарации с помощью набора шил и зубил, а также дремеля, для надежного определения и классификации видов. При хорошей сохранности образцов и прослеживании морфологических черт – препарация не нужна.

После определения образцов наиболее важные для решения стратиграфических задач экземпляры фотографируют, используя методику с напылением образцов хлоридом аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) для подчеркивания скульптуры, который предварительно нагревается в хлоркальциевой трубке (Рис. 1). Результатом данного исследования будет палеоэкологический анализ и выводы об обстановках осадконакопления, а также сопоставление полученных данных о распространении макрофауны в разрезе с аналогичными зонами Бореального зонального стандарта (БЗС помогает установить временные рамки, что позволяет более точно изучать и реконструировать историю живого мира в этой области, а также найти общие закономерности в эволюции фауны и флоры на этой территории), за исключением тех зон, для которых предлагают использовать иные виды-индексы, или региональных зон, не включенных в БЗС.



Рисунок 1. Напыление раковин хлоридом аммония перед фотографированием (фото Рогова М.А.)

**Микрофаунистические исследования.** Микрофауна, представленная фораминиферами, является важным источником информации о прошлом экологическом состоянии и истории развития биосферы на земле. Микрофауна может быть использована для установления точных возрастов отложений, так как многие виды микрофоссилий имеют короткое время существования на геологических временных масштабах.

Обработка образцов керна при изучении мезозойских микрофоссилий делится на три основных этапа: дробление породы, отмывка образца в воде и отбор скелетных остатков из полученного порошка, что позволяет извлекать целые раковины или их фрагменты из породы.

Отобранные образцы керна дробят при помощи ручного металлического пресса на кусочки примерно по 0,5 см и меньше, после чего порода кипятится на плите в течение суток в металлическом стакане в слабощелочном растворе воды с добавлением соды или моющего средства для максимального размягчения породы. После кипячения образцы отмываются вручную в горячей проточной воде с использованием лабораторных сит с размером ячеек от 3 мм до 0,04 мм и отправляются сушиться. Высушенные порошки пересыпают в зип лок пакеты, сопровождая их этикетками с подробной информацией о месте и дате отбора образца.

Полученный при пробоподготовке порошок в дальнейшем передается на изучение под бинокулярным микроскопом при увеличении от  $10\times 1$  до  $10\times 4$ . Просмотр препарата осуществляется с пластинки размером 10x7 см по 5 фракциям (3-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,3, 0,3-0,094 мм). Раковины отбираются при помощи тонкой кисти и препарировальной иглы, после чего помещаются в камеры Франке.

Результатом микрофаунистического анализа устанавливается таксономический состав. Стратиграфическое распространение, количество встреченных экземпляров фораминифер по каждому образцу приводятся в таблице таксономического состава, где также отображены качественные и количественные данные по встреченной микрофауне, на основании которых выделяют комплексы фораминифер.

Палинологические исследования. Образцы керн обрабатываются по усовершенствованной фтористоводородной методике с применением лабораторных сит, которая состоит из нескольких этапов [3, 4].

На подготовительном этапе проба очищается от лишних загрязнений, после чего дробится керноколом до кусочков размером от 2 до 0,5 см. Раздробленная порода помещается в химически стойкие стаканы, которые предварительно маркируются под каждый образец.

Далее образцы проверяются на реакцию с 10%-ной соляной кислотой (HCl), и, если образец реагирует выделением газа, то его заливают 10%-ным раствором соляной кислоты на 3-5 часов до завершения реакции. После этого пробы отмываются в тех же стаканах до нейтральной **pH** и переносятся в полипропиленовые стаканы с крышками, которые впоследствии заливают плавиковой кислотой (HF) на 1-2 дня. Образцы, которые не отреагировали на соляную кислоту сразу же заливают плавиковой кислотой, минуя стадию с соляной кислотой.

Остаток, образовавшийся после растворения пробы в плавиковой кислоте, промывают дважды через лабораторные синтетические сита, – первый раз через сито с размером ячейки 180 мкм, второй раз через сито с размером ячейки 11 мкм – чтобы избавиться от крупных и мелких глинистых частиц.

Так как отмытый от плавиковой кислоты осадок содержит вторичные фторосиликаты и карбонаты, его переливают в стеклянный химически устойчивый стакан и заливают 10%-ным раствором соляной кислоты примерно на полчаса-час, после чего осадок повторно промывают через лабораторное сито с размером ячеек 11 мкм до нейтрального pH.

Получившийся осадок переносят в полипропиленовые пробирки с крышками с помощью центрифуги, добавляя несколько капель глицерина, чтобы осадок не подсох после обработки.

На следующем этапе изготавливаются временные препараты из полученного осадка. Для этого на предметное стекло помещается капля осадка и добавляется капля глицерина, которые впоследствии перемешиваются стеклянной палочкой до однородности и покрываются сверху покровным стеклом. На каждый образец изготавливается от 1 до 5 препаратов, в зависимости от насыщенности осадка. Оставшийся осадок переливают в лабораторные пробирки, на которые наносят этикетки с данными образца, и передают на постоянное хранение.

Полученные препараты в дальнейшем изучаются с помощью световых микроскопов с использованием систем анализа изображений.

Итогом палинологических исследований является установка палинокомплексов и ассоциаций диноцист, которые характеризуют определенный интервал разреза и позволяют более детально расчленять отложения соответственно.

## **Выводы**

Проведение палеонтологических исследований на керне скважин является актуальным и важным направлением научных исследований. Керн скважин позволяет изучать геологические структуры и состав пород, а также содержание и состав органических остатков. Новые палеонтологические методы помогают дать наиболее полную картину происходящего и существенно облегчают процесс исследований.

Инновационные технологии и новейшие методы исследования в палеонтологии имеют важное значение для современной геологии, так как являются неотъемлемой частью геологических исследований.

### **Библиография**

1. Апрельское отделение ФГБУ «ВНИГНИ" // ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ // дата обращения: 23.03.2024 // URL: <https://vnigni.ru/aprelevka>
2. Геологический словарь // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского // дата обращения: 23.03.2024 // URL: [https://karpinskyinstitute.ru/ru/public/sprav/geodictionary/article.php?ELEMENT\\_ID=78920](https://karpinskyinstitute.ru/ru/public/sprav/geodictionary/article.php?ELEMENT_ID=78920)
3. Пыльцевой анализ. Под ред. Покровской И.М. М.: Госгеолитиздат, 1950. 553 с.
4. Раевская Е.Г., Шурекова О.В. Современные технологии и оборудование в обработке карбонатно-терригенных пород для палинологического анализа // Проблемы современной палинологии. Материалы XIII Российской палинологической конференции с международным участием. Сыктывкар. Т. 1. 2011. С. 103 - 107.

*Анализ влияния забойных работ на повышение эффективности дробления горной породы.  
Комаров Д.П.\* (ИПКОН РАН, danuaa68@gmail.com), Милетенко Н.И. (МГТУ им. Н.Э.  
Баумана, kmiletenko@bk.ru), Федотенко В.С. (ИПКОН РАН, victorfedotenko@gmail.com)*

### **Аннотация**

Дробление горной породы является ключевым этапом в горнодобывающей промышленности, определяющим успешность процесса извлечения полезных ископаемых. В данной работе проведен анализ влияния забойных работ на повышение эффективности дробления горной породы. Исследование включает анализ различных методов и технологий забойной работы, их влияние на процесс дробления и качество полученного продукта. Рассмотрены факторы, такие как материал забойки, ее оптимальные размеры, геологические особенности месторождения и другие параметры, влияющие на эффективность процесса.

Результаты анализа позволяют выявить оптимальные стратегии забойных работ для повышения производительности и качества дробления горной породы, что имеет важное значение для эффективного функционирования горнодобывающих предприятий и обеспечения устойчивого развития отрасли.

### **Ключевые слова**

Забойка, взрывные работы, взрыв, дробление горных пород.

### **Теория**

Изучение литературных источников и опыта применения механизированных забойных работ в горнодобывающей промышленности важно для разработки эффективных и безопасных методов и технологий. Оно позволяет получить информацию о существующих практиках и технологиях, избежать ошибок других специалистов, а также использовать их опыт для улучшения существующих и разработки новых методов.

Опыт применения механизированных забойных работ можно получить путем изучения реальных проектов и анализом их использования. Это помогает выявить проблемы, оценить эффективность методов и выбрать наиболее подходящие решения для конкретных ситуаций.

По результатам исследований, авторы установили, что забой скважины оказывает значительное положительное воздействие на процесс формирования взрыва и фрагментации горной породы [3].

Это проявляется в следующих аспектах:

1. Эффективное распределение энергии взрыва.
2. Масштабирование взрыва.
3. Улучшение фрагментации.
4. Минимизация затрат и рисков.

Забойное приспособление является ключевым фактором эффективной добычи полезных ископаемых. От выбора забойного материала и сложностей, связанных с его закладкой, зависит правильное распределение энергии взрывчатых веществ и масштабирование взрыва. Взрывные работы оказывают вредное воздействие на человека и окружающую среду, а также влекут за собой экономические затраты. Усовершенствование забойки необходимо для улучшения фрагментации горной породы и минимизации затрат, особенно в условиях растущей стоимости детонирующих веществ и сложности их установки. При разработке проекта взрыва важно учитывать как технические, так и экономические аспекты, соблюдая при этом требования безопасности.

Исследования, представленные в работе [2], доказали, что применение забойки позволило практически вдвое уменьшить массу заряда и при этом сохранить приемлемые параметры дробления породы. Ухудшение дробления без забойки объясняется преждевременным выбросом значительных объемов газов взрывчатого превращения в атмосферу без полезной работы.

Исследователи [9] утверждают, что на производительность взрыва и фрагментацию породы оказывают влияние параметры забойки, такие как ее длина и материал. Забойки, изготовленные из глины, обладают хорошими амортизационными характеристиками и реагируют на поверхностные деформации при взрыве. Максимальные напряжения растяжения и сжатия формируются в воронке, образованной взрывом, и при увеличении длины забоя происходит более эффективное дробление материала, что уменьшает площадь отдачи и деформации в верхних слоях.

Рациональные параметры забойки зависят от свойств взрывчатого вещества, материала забоя, конструкции заряда и условий взрыва.

Большинство ученых считает, что оптимальное соотношение длины забойки и диаметра скважины должно составлять от 14 в трудновзрываемых породах до 28 в легко взрываемых, в зависимости от свойств взрывчатого вещества и породы, а также направления инициирования заряда [8].

Исследования А. Н. Ханукаева [6] показали, что при взрывании зарядов с использованием забойки, энергия волн напряжений выше, чем при взрывании таких же зарядов без забойки. Использование забойки из буровой мелочи приводит к увеличению максимальных напряжений во фронте ударной волны почти в 1,5 раза и более чем в 2,5 раза увеличивает плотность потока энергии.

И. И. Гогичевым [1] было установлено, что забойка, особенно из сыпучих материалов, более эффективно сопротивляется ударной нагрузке, вызванной взрывом заряда. Следовательно, можно сказать, что чем меньше скорость распространения ударных волн в материале, тем больший эффект оказывает забойка. Поэтому сыпучие материалы (песок, соль, буровая мелочь, шлак) считаются наиболее эффективными материалами для забойки.

В своей работе [4], Е.Г. Легастаев доказывает, что проектируемая забойка должна соответствовать требованиям удельной прочности на срез по боковой поверхности шпура. Очевидным было решение использовать материал с объемным расширением больше 3%, так как такой материал прочно омоноличивает шпур с горным массивом. Идеальным материалом, по мнению ученого стал бетон, затворенный на расширяющемся цементе, так как при расширении, он с большим усилием давит на стенки шпура, что приводит к увеличению удельной прочности на срез в 14-20 раз.

Применение расширяющейся высокопрочной забойки значительно повысило эффективность использования энергии взрыва, что привело к сокращению удельного расхода взрывчатых веществ на 30-40%, объема выполненных буровых работ на 15-20%, а также себестоимости 1 метра выработки.

При использовании бетонной забойки, которая сохраняется до полного разрушения породы, размер разрушенной полости увеличивается, а расход взрывчатых веществ снижается в 29,4 раза.[5].

Тип забойки	Применяемый материал	Эффективность
Забойка из пластичных материалов	Глиняная, песчано-глинистая и забойка из суглинков	Оказывает сопротивление выталкивающему действию продуктов детонации с помощью совместного действия инерции покоя массы забойки, сил внутреннего сцепления и сил трения
Забойка из сыпучих материалов	Песок, буровой шлам, гранулированный доменный шлак, щебень и т.д.	Оказывает сопротивление продуктам детонации только за счет инерции своей массы и сил трения, поскольку силы сцепления между частицами сыпучих материалов отсутствуют, обеспечивает надежную герметизацию зарядной камеры
Жидкостная забойка	Полная заливка водой, оставляемой под забойку зарядной полости	Повышенная эффективность пылеподавления. Возможность применения в качестве забойки вытесненной воды при зарядке взрывчаткой обводненных скважин
	Использование наполненных водой или растворами смачивателей пластиковых ампул (с частичным заполнением песчано-глиняной смесью)	Повышает эффективность взрыва, снижает расход ПАВ и подавляет пылегазовое облако
Забойка из текучих материалов	Пульпа из породной пыли или буровой мелочи и пасты	По сопротивлению, оказываемому продуктами детонации, забойка этого типа занимает промежуточное положение между забойками из пластичных и жидких материалов
Забойка пробками из твердых материалов	Дерево, пластмассы, минеральная вата	Удерживают продукты детонации в зарядной полости в основном за счет расклинивания пробок в устье скважины
Забойка растворами быстротвердеющих вяжущих веществ	Гидрогелевая забойка (водный раствор жидкого стекла и коагулянтов) Пеногелевая забойка	Пылеподавление и увеличенное время запирания продуктов детонации, уменьшенный объем компонентов, тем самым уменьшенная трудоемкость по сравнению с твердой забойкой
Комбинированная забойка	Засыпная забойка с элементами и зарядами ВВ (бетонно-распорные и распорно-засыпные)	Образование пробки при детонационном ударе, запирание всех отверстий, предотвращение утечки газов и предотвращение вылета распорной забойки

Рисунок 1. Типы забоек, используемый материал и их эффективность

Управление длиной забойки можно осуществлять путем снижения давления газов в зарядной полости с помощью создания воздушных промежутков или использования низкобризантных взрывчатых веществ, а также путем уменьшения диаметра шпуров и повышения удельной прочности материала забойки.

Использование воздушного промежутка между зарядом и забойкой позволяет перераспределить энергию взрыва и увеличить продолжительность воздействия взрыва на материал. Подбирая определенное соотношение длин забойки и воздушного промежутка, можно достичь хорошего измельчения среды и значительно сократить размер забойки. Опыты показали, что наилучшее измельчение достигается при использовании сокращенной забойки и воздушного промежутка над зарядом, а наихудшее - при взрывании без забойки [7].

Г. П. Демидюк, Б. Д. Росси, горн. инж. Н.Ф. Андрианов, инж. В.А. Усачев [3], подтверждают, что использование воздушных промежутков между зарядом и забойкой при взрывании приводит к уменьшению выхода негабаритных фракций и диаметра среднего куска по сравнению с взрыванием без таких промежутков. Это также снижает потребность в забойном материале и облегчает процесс забойки, что делает процесс более эффективным и менее трудоемким.

Исследования доказали, что использование бумажного пыжа вместо забойки не является эффективным, в связи с тем, что диаметр среднего куска раздробленной породы оказался на 48% больше, чем при использовании укороченной песчаной забойки, несмотря на наличие в обоих случаях воздушного промежутка между материалом забойки и зарядом взрывчатых веществ.

### **Выводы**

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что забойка играет огромную роль в процессе дробления горной породы. Она не только определяет эффективное распределение энергии взрыва, но и влияет на масштабирование взрыва и качество фрагментации породы. Исследование выявило важность оптимального выбора параметров забойки, таких как длина забоя и его материал, исходя из свойств взрывчатых веществ, конструкции заряда и условий взрыва, для достижения максимальной эффективности процесса.

Таким образом, подчеркивается важность забойных работ для повышения эффективности дробления горной породы и необходимость дальнейших исследований для оптимизации процесса и снижения негативного воздействия на окружающую среду и человека.

### **Библиография**

1. Гогичев И. И. Эффективная и оптимальная длина забойки шпуровых зарядов // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 266–269.
2. Демидюк Г. П. О повышении степени полезного использования энергии взрыва // Взрывное дело № 60/17. М.: Недра, 1966. С. 237–254.
3. Демидюк Г. П., Росси Б. Д., горн. инж. Андрианов Н.Ф., инж. Усачев В.А. Влияние забойки на степень дробления горных пород взрывом // Взрывное дело № 53/10. М.: Недра. 1963. С. 96–105.
4. Легастаев Е. Г. Исследование влияния расширяющейся забойки шпуров на результаты взрыва // Взрывное дело № 59/16. М.: Недра, 1966. С. 262–266.
5. Марченко Л. Н., Кудряшов В. С. О величине забойки скважинных 222 зарядов // Взрывное дело № 45/2. М.: Недра, 1960. С. 196–200.
6. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом М.: Наука, 1962. 200 с.
7. Шемякин Е. И., Кочанов А.Н. О разрушении горных пород в ближней зоне подземного взрыва // Взрывное дело № 92/49. М.: НОИВ, 1999. С. 7–19.
8. Ur Rehman, Atta. (2017). DESIGN AND DEVELOPMENT OF STEMMING PLUG TO ENHANCE BLAST PERFORMANCE. 10.13140/RG.2.2.15991.47523.
9. Zhang, Z.-X., De-Feng , H., Guo, Z., and He, Z. (2020). Laboratory experiment of stemming impact on rock fragmentation by a high explosive. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 97, no. 1. pp. 1–10.

*Оценка прочностных и деформационных характеристик кернов горных пород методом скретч-теста и оборудование для непрерывного профилирования механических свойств Пирожкова Т.С.\* (НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», [t-s-pir@ya.ru](mailto:t-s-pir@ya.ru)),  
Самодуров А.А. (НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», [samsasha@yandex.ru](mailto:samsasha@yandex.ru)),  
Тюрин А.И. (НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», [tyurinalexander@yandex.ru](mailto:tyurinalexander@yandex.ru))*

#### **Аннотация**

Получение данных о механических свойствах горной породы чрезвычайно важно для горнодобывающей и нефтегазовой отрасли. Обычно используют принятый в качестве стандарта метод определения предела прочности при одноосном сжатии. Данный метод является разрушающим и имеет еще ряд существенных недостатков.

В работе предлагается использовать современный менее трудо- и времязатратный подход непрерывного профилирования физико-механических свойств кернов горной породы методом скретч-теста. Для его осуществления было разработано экспериментальное оборудование. С его помощью были выполнены эксперименты на образце керна мрамора. Полученные результаты хорошо коррелируют с результатами стандартных подходов.

#### **Ключевые слова**

Скретч-тест, предел прочности, механические свойства, керн горной породы.

#### **Источники финансирования**

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки (грант «Разработка универсальной установки Скретч-тестера для анализа и характеристики физико-механических свойств материалов методами наноиндентирования и цифрового скретч-теста, шифр МНТ», FEMG-2024-0010, регистрационный номер в ЕГИСУ НИОКТР 1023112100050-4-2.11.2;2.5.1;2.2.1).

#### **Теория**

В современном мире геоинформационные системы (ГИС) играют важную роль в информационном обеспечении предприятий нефтегазовой отрасли и зачастую определяют эффективность ее функционирования. Одним из направлений применения ГИС являются геология и геофизика, разведка недр. Исследования физико-механических свойств горных пород [1, 3, 5, 6, 9] является существенным звеном для обеспечения ГИС необходимыми данными [3, 9], изучения свойств горных пород, рудоподготовку [5, 6] и т.д.

Наиболее распространенной характеристикой, используемой в горнодобывающей промышленности и нефтяном машиностроении, является предел прочности при одноосном сжатии (UCS - unconfined compressive strength), принятый в качестве стандарта. Для ее получения, как правило, используют стандартизованные образцы керна (диаметром  $d$  или стороной квадрата в основании  $a$  от 30 до 90 мм и высотой порядка  $2d$  (или  $2a$ )) путем сжатия на стационарных установках.

Однако такой подход имеет много недостатков, в частности, он требует специальной подготовки образцов и полностью их разрушает; величина осевого напряжения, при котором порода разрушается, зависит от состояния образца керна (содержание влаги, неровности торцов и др.); большая дискретность данных по глубине скважины вследствие использования разрушающего метода и высокой ценности образцов и трудоемкости экспериментов на отдельных образцах, ограничивающих их количество; испытания не очень хорошо подходят для гетерогенных, поврежденных, слоистых или трещиноватых пород [1]; требует мощного и

габаритного оборудования.

В настоящей работе описан современный способ получения непрерывного профиля физико-механических свойств керна горной породы методом скретч-теста. Суть метода заключается в «резании» («сострагивания», «срезания заданного слоя») образца породы (как правило, керна) вдоль продольной оси резцом определенной конфигурации. Получаемые данные – это непрерывные временные зависимости горизонтальной и вертикальной составляющих силы, действующей на резец. В совокупности с геометрией резца из них определяют механические свойства исследуемой породы. Дальнейшая обработка первичных данных позволяет определить предел прочности и угол трения [4, 7, 8] в образце горной породы с разрешением лучше 1 см. Описанная методика скретч-теста появилась в университете Миннесоты в середине девяностых от идеи изучения зависимости силы резания от механических свойств горных пород и корреляции с UCS [2].

Полученные таким образом физико-механические свойства образцов керна позволяют количественно и непрерывно оценить прочность, текстуру и состав породы. При необходимости керн можно использовать несколько раз, поворачивая его вокруг оси относительно режущего инструмента. Накопленные данные могут использоваться не только как важная дополнительная информация, но и значительно повысить эффективность использования других методов. Поэтому он является мощным инструментом построения корреляций между свойствами керна и каротажными данными.

Для проведения скретч-теста был разработан экспериментальный макет прибора (рис. 1). Его основными конструкционными узлами являются базовая платформа для размещения образца керна, вертикальная подвижная рама для крепления суппорта, двухкоординатного датчика силы (до 5000 Н) и держателя с резцом. С помощью суппорта происходит позиционирование резца по вертикали (задание глубины реза). Горизонтальное перемещение вертикальной рамы осуществляется с помощью шагового двигателя и ШВП.

Тестовые испытания методики и экспериментального макета прибора для определения предела прочности кернов горных пород методом скретч-теста проводили на керне мрамора диаметров 100 мм и длиной 160 мм. В эксперименте варьировали глубину в пределах от 0,1 до 0,4 мм и скорость реза в пределах от 0,8 до 8 мм/с. Длина реза соответствовала длине керна.

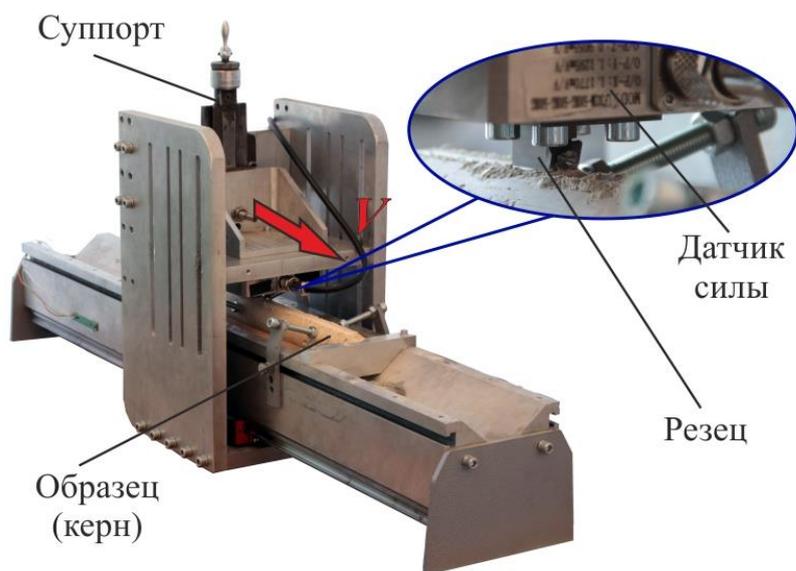


Рисунок 1. Экспериментальный макет прибора для определения предела прочности кернов горных пород методом скретч-теста

На рис. 2 представлены результаты экспериментов на образце керна мрамора. Расчет значения аналога предела прочности  $E$  из полученных данных скретч-теста проводился согласно методики [7]. Среднее полученное значение равно 210 МПа.

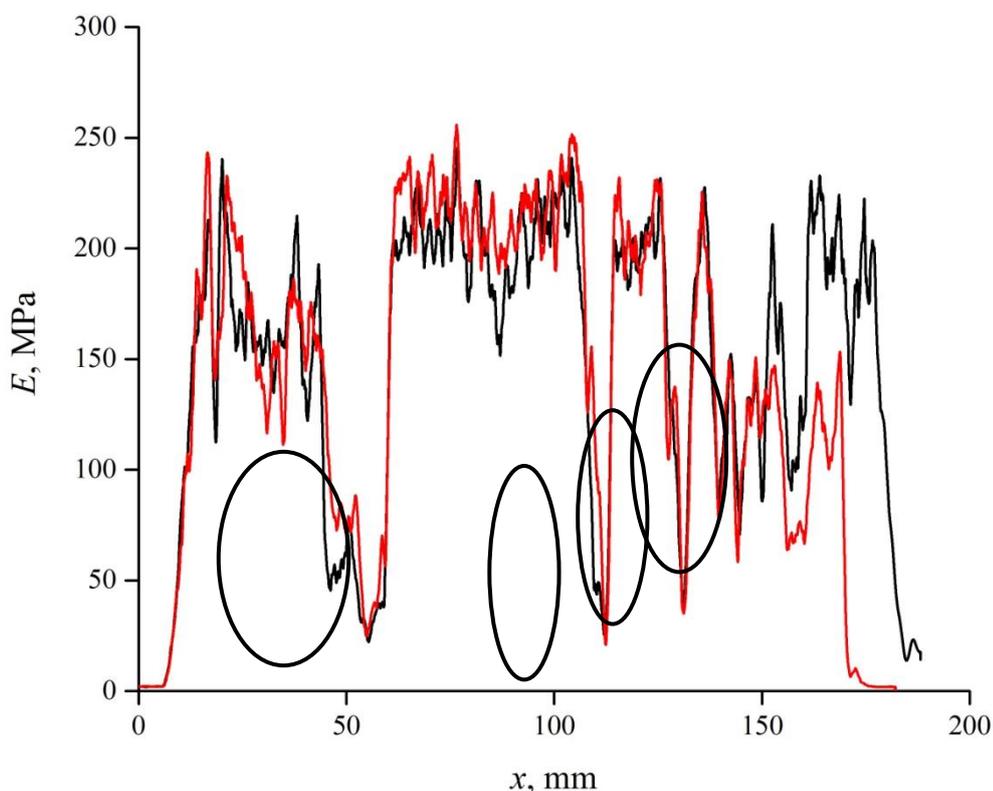


Рисунок 2. Профиль рассчитанного аналога предела прочности  $E$  керна мрамора. Овалами выделены дефекты структуры в виде трещин и расслоев

Также из рис. 2 видно, что повторяемость результатов высокая. Отчетливо выявляются дефекты керна в виде трещин и расслоев (провалы в графике). Получаемые значения  $E$  не зависят от скорости и глубины скретча в исследуемом диапазоне.

### **Выводы**

В работе показано, что методом скретч-теста получают физико-механические параметры горной породы с дискретностью меньше 1 см и называют непрерывным профилированием. Такой способ не разрушает образец в целом, позволяет его использовать несколько раз, в том числе, и для других испытаний. Само же профилирование может осуществляться на сотнях метров кернавого материала. Эти данные позволят значительно повысить эффективность использования других методов геофизики, а также создавать более детально геологические 3D-модели, которые берутся за основу геологоразведочных и буровых работ, мониторинга разработки и выдачи рекомендаций по снятию рисков по добыче нефти и газа.

### **Библиография**

1. Dey T., Halleck P. Some aspects of size-effect in rock failure // Geophysical Research Letters. - 1981. - N 8 (7). – P. 691–694.
2. Detournay E., Drescher A., and Hultman D.A. Portable rock strength evaluation device. - United States Patent N 5670711. - 1997.

3. Dubinya N., Fokin I., Trimonova M., Zenchenko E., Turuntaev S., Tyurin A., Golovin Y., Samodurov A. Experimental and theoretical study of fracture toughness effect on hydraulic fracture's geometry // В сборнике: Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2018, RPTC 2018. - 2018.

4. Germy C., Richard T., Lhomme T. The scratch test as a mean to derive high resolution rock strength profiles for geomechanical and petrophysical evaluations. // The International Symposium of the Society of Core Analysts held in Avignon - France (8-11 September, 2014).

5. Golovin Y.I., Tyurin A.I., Samodurov A.A., Pirozhkova T.S., Victorov S.D., Kochanov A.N.

Physico-mechanical properties and micromechanisms of local deformation in thin near-surface layers of complex multiphase materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. -2017. - V. 81. - № 3. - P. 360-364.

6. Golovin Y.I., Tyurin A.I., Schyklinov A.V., Pirozhkova T.S., Shuvarin I.A., Victorov S.D., Kochanov A.N. Size effects of the strength and elastic properties of individual phases and interphase boundaries of polycrystalline materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. -2016. - V. 80. - № 5. - P. 518-521.

7. Richard T., Dagrain F., Poyol E., Detournay E. Rock strength determination from scratch tests // Engineering Geology. – 2012. - N 147-148. – P. 91-100.

8. Schei G., Fjær E., Detournay E., Kenter C.J., Fuh G.F., Zausa F. The Scratch Test: An Attractive Technique for Determining Strength and Elastic Properties of Sedimentary Rocks // The 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Dallas, Texas (1-4 October, 2000).

9. Trimonova M.A., Zenchenko E.V., Turuntaev S.B., Golovin Y.I., Samodurov A.A., Tyurin A.I., Dubinya N.V. Rock toughness importance for hydraulic fracture modeling // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures: electronic collection. 2018. С. 020308

*Секция 4.4. Технология и техника освоения континентальных, шельфовых и  
глубоководных месторождений полезных ископаемых*

*Расчет технологических параметров с применением электронных таблиц  
Докладчик: Абрамов А.М.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва,*

*SSSAAA1337@ya.ru),*

*Соавтор: доцент, к.т.н., Клочков Н.Н. (ФГБОУ ВО «Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва,  
klochkovnn@mgri.ru),*

*Соавтор: доцент, к.т.н., Богачев М.Ю. (ФГБОУ ВО «Российский государственный  
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ, г. Москва,  
botju@yandex.ru)*

**Аннотация**

В данной работе рассмотрен расчет технологических параметров различными методами, а также проведено сравнение этих методов на примере расчета технологических параметров, используемых при определении производительности бульдозера.

**Ключевые слова**

Кусочно-постоянная, кусочно-линейная, интерполяция, таблицы, Excel.

**Теория**

В системах расчета технологических параметров в горном деле, как правило, часто требуется установить значение той или иной реальной величины. Решается эта проблема оценением искомого с некоторой точностью путем создания математической модели. Научно-технический прогресс предполагает как развитие моделей, так и развитие самих технологических процессов. Более совершенная модель позволяет оптимизировать технологию, выведя её на новый этап развития. На данный момент подобные модели, зачастую, представлены в виде таблиц. Рассмотрим в данной работе табличный метод представления информации, предложим альтернативу, проведем сравнение, а также рассмотрим перспективы дальнейшего развития информационных моделей.

Табличные методы хранения информации были отличным решением для своего времени. К их плюсам можно отнести:

- Удобство пользования, для нахождения искомого параметра не нужно производить расчеты, которые могут быть трудоемкими, что уменьшает затраты времени и труда, а также предупреждает возможную ошибку в расчетах;
- Не требует высокой квалификации у соответствующего сотрудника.

Благодаря этим качествам, таблицы сразу стали неотъемлемым инструментом нормировщиков, используемым для оценки труда рабочих. Однако, в дальнейшем, таблицы стали использовать и при принятии решений, связанных с технологическими процессами производства. Стоит отметить, что при подобной роли, у данных моделей есть значительные недостатки. К наиболее значительным из них стоит отнести наличие “спорных участков” находящихся на границе значений.

Рассмотрим решение данной задачи на примере работы с данными таблицы 1.

Таблица 1

Коэффициент сохранности первоначального объема вала в конце пути

Глубина траншеи, м	Коэффициент сохранности первоначального объема вала в конце пути при среднем расстоянии транспортирования пород, м						
	25	45	65	85	105	125	145
0	0,7	0,58	0,5	0,45	0,42	0,4	0,38
0,1	0,82	0,71	0,64	0,6	0,58	0,56	0,54
0,2	0,92	0,9	0,88	0,86	0,84	0,83	0,82
0,3	1,18	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05
0,4	1,28	1,26	1,27	1,24	1,22	1,21	1,2
0,5	1,46	1,42	1,4	1,38	1,34	1,32	1,3
0,6	1,57	1,52	1,5	1,49	1,48	1,46	1,45

Для наглядности возьмем первую строку данной таблицы и построим по ней график.

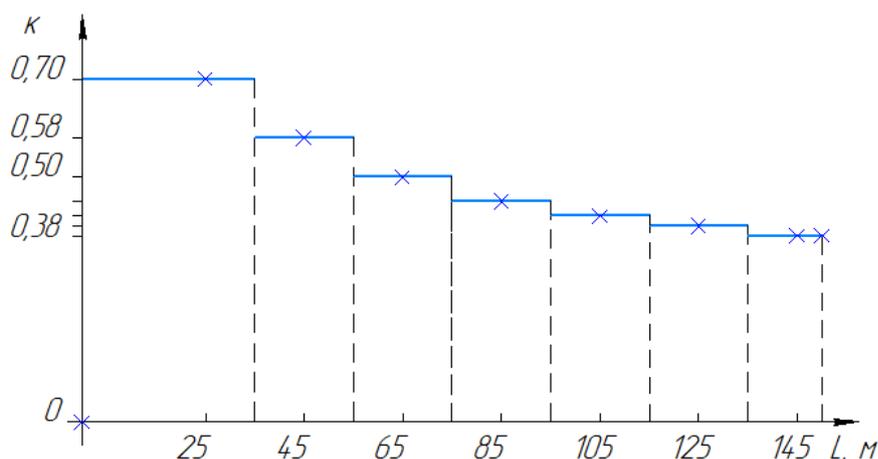


Рисунок 1. Зависимость коэффициента сохранности первоначального объема вала от длины траншеи при ее глубине 0 м

На полученном графике изображена кусочно-постоянная функция, главным недостатком которой являются точки разрыва, из-за которых предельная погрешность расчета составляет 8,5 %, что является недопустимым для проводимых расчетов при планировании технологии открытых горных работ.

Для исключения точек разрыва приведем данную функцию к кусочно-линейному виду (рис. 2).

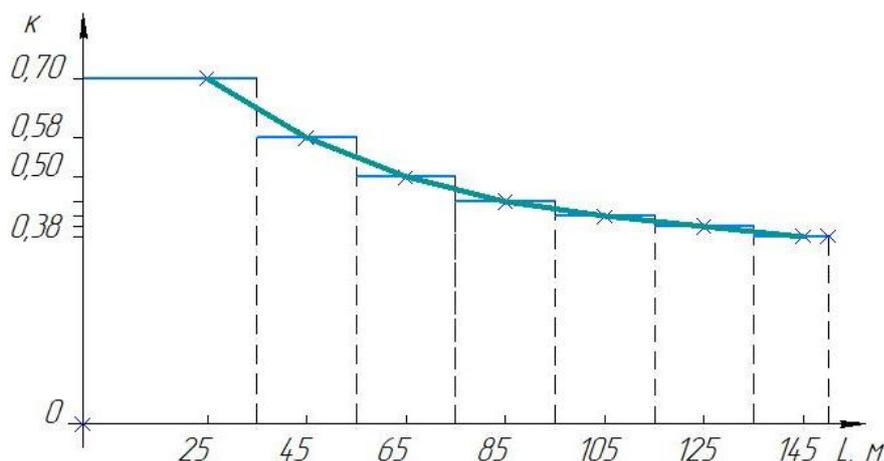


Рисунок 2. Результат перехода от кусочно-постоянного вида зависимости к кусочно-линейному виду

Для решения поставленной задачи можно воспользоваться аналитическим либо численным методом.

1. Аналитический.

В источнике аналитическое решение линейной интерполяции данной таблицы представлено в виде формулы:

$$k_c = \frac{(L_{cp} - L_{cp1})(k_{c2} - k_{c1})}{L_{cp2} - L_{cp1}} + k_{c1} \quad (1)$$

$L_{cp}$  – расчетное среднее расстояние транспортирования, м;

$L_{cp1}$  – предыдущее табличное расстояние транспортирования, м;

$L_{cp2}$  – следующее табличное расстояние транспортирования, м;

$k_c$  – коэффициент сохранности при  $L_{cp}$

$k_{c1}$  – коэффициент сохранности при  $L_{cp1}$

$k_{c2}$  – коэффициент сохранности при  $L_{cp2}$

Однако, как для первого, так и для второго метода, линейная интерполяция проведена только для строк, если мы аналогично, рассмотрим случайный столбец таблицы, то вновь столкнемся с кусочно-постоянной функцией. Для точного расчета технологических параметров необходимо проводить двойную интерполяцию, что сильно увеличит количество проводимых расчетов.

2. Численный с применением электронных таблиц.

Для нахождения двойной линейной-интерполяции в табличном процессоре необходимо обладать соответствующими навыками. Главным достоинством является автоматизация расчетов, однако при выполнении данной работы была поставлена цель максимальной автоматизации процесса, и эта задача была достигнута. В основе программы лежит численный метод, реализованный при помощи встроенных инструментов MS Excel. Рассмотрим достоинства и недостатки полученной программы:

- Пользователь работает только с формой ввода и вывода данных, благодаря чему для работы с информацией не нужна специальная квалификация;
- Данная программа универсальна и подходит для работы с другими таблицами.

- Благодаря максимальной автоматизации процесса достигается, как и максимальная точность результата, так и минимальное время его получения.

### **Выводы**

Благодаря рассмотренным численным методам удастся, как повысить качество проектирования горных работ, так и провести их автоматизацию, что плодотворно влияет как на результат, так и на время его достижения.

### **Библиография**

1. "БУЛЬДОЗЕРЫ И СКРЕПЕРЫ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВПО" Клочкин Н. Н., Косьянов В. А., Черезов Г. В., - Волгоград: Издательский Дом "Ин-фолио", 2014. С. 192.
2. "ОПЫТ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ПО ДИСЦИПЛИНЕ "БУЛЬДОЗЕРНАЯ РАЗРАБОТКА РОССЫПЕЙ" Богачев М.Ю., Клочкин Н.Н. В книге: Молодые - Наукам о Земле. Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах. Редколлегия: Ю.П. Панов, Р.Н. Мустаев. Москва, 2022. С. 215-219.
3. "MS EXCEL – УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: МЕТОД. УКАЗАНИЯ" И.В. Речицкая; Дальневосточный федеральный университет, Инженерная школа. – Владивосток: Издательский Дом Дальневосточного федерального университета, 2013. С. 52.

*Анализ методик по определению гидравлической крупности тяжелых минералов*

*Алифашкин А.А.\* (МГРИ, a.alifashkin@mail.ru),*

*Некоз К.С. (МГРИ, nosovaks@mgri.ru),*

*Чеснова Е.С. (МГРИ, elizapreacher@gmail.com)*

**Аннотация**

В данной работе рассматриваются различные уравнения определения гидравлической крупности для будущих расчетов гидроподъема тяжелых минералов с шельфа Северного Ледовитого океана.

**Ключевые слова**

Гидравлическая крупность, плотность, шельфовые россыпные месторождения, тяжелые минералы.

**Теория**

Российская шельфовая зона Северного Ледовитого океана исключительно богата россыпными месторождениями твердых полезных ископаемых.

Западно-Арктическая шельфовая область, охватывающая Карское, Баренцево и Белое море включает перспективные районы россыпей алмазов, а также титано-редкометалльные и золотороссыпные залежи. На мелководье в районе Соловецких островов залегают алмазы, а также имеются титан-гранатовые проявления [1].

В Восточно-Арктической шельфовой области, охватывающей море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря, разведан ряд месторождений золота, а в районе мыса Шмидта и устья реки Рывеем расположена одна из крупнейших групп древних морских золотосодержащих россыпей. Несколько подводных россыпных месторождений касситерита морского генезиса в районе Чаунской губы (Восточно-Сибирское море) [1].

Кроме того, на шельфе Восточно-Сибирского моря обнаружены затопленная палеодолина р. Колымы, протяженностью в сотни километров, которая считается потенциальным источником древних погребенных россыпей золота. В море Лаптевых залегает прибрежно-морская перспективная Чекчуро-Чокурдахская рудная зона, к которой [6] примыкает мощная разведанная морская россыпь касситерита [1].

Перспективным по содержанию золота и титан-цирконо-гранатовых песков и других минералов считается прибрежно-морские месторождения в устье р. Яны, р. Анабар, Восточного Таймыра, а также в районе островов Северной Земли [1].

Запасы твердых полезных ископаемых в недрах Арктики по данным Росгеофонда можно считать стратегическими. Государственным балансом учитывается более 980 месторождений твердых полезных ископаемых и более 280 объектов с прогнозными ресурсами, они содержат 97,3% российских запасов платиноидов, 43% запасов олова, а также никель, титан, апатитовые руды и руды редкоземельных металлов. Разведанными запасами обеспечивается почти 98% добычи платины, 60% меди, 36 % алмазов, 11% серебра, 10% золота, 95% титана, циркония, редкоземельных металлов, апатитовых руд, более 97% добычи никеля, платиноиды, кобальт [2].

Большая часть полезных минералов, расположенных в исключительной экономической зоне России в Северном Ледовитом океане, относятся к тяжелым (плотность больше 4 г/см<sup>3</sup>).

Для разработки шельфовых месторождений обычно используют различные комплексы гидроподъема. Вне зависимости от выбранной схемы, важным параметром для расчета является гидравлическая крупность.

Гидравлическая крупность частиц — это скорость падения частиц в спокойной воде, которая зависит от формы, размеров и плотности частиц, вязкости и плотности среды [4].

Исследованием гидравлической крупности частиц занималось множество ученых, таких как И. Ньютон, П.Р. Риттингер, Дж.Г. Стокс, Ю.С. Аллен, П.В. Лященко, В.Н. Гончаров,

И.О. Финкей, Б.В. Кизельватер, Э.Ф. Миллер, В.И. Классен, Т.Г. Фоменко, Р.Б. Розенбаум, О.М. Тодес, Ц.В. Озеен, В.А. Олевский, А.М. Годэн, Х.С. Монро, М.А. Великанов, А.П. Зегжда, М.Я. Антонычев, Ф.И. Нагирняк, Ф. Фонштейн, А.Е. Смолдырев и др. Однако стоит отметить, что для конкретных тяжелых элементов таких зависимостей не представлено.

Расчеты гидравлической крупности для тяжелых минералов были проведены по следующим уравнениям:

- 1) Уравнение И. Ньютона и П.Р. Риттингера

$$V_0 = \sqrt{2,67gd \left( \frac{\delta - \Delta}{\Delta} \right)}$$

- 2) Уравнение Р.Г. Люннона

$$V_0 = 5,5 \sqrt{d \left( \frac{\delta - \Delta}{\Delta} \right)}$$

- 3) Уравнение Р.Б. Розенбаума, О.М. Тодеса и К.С. Шифрина

$$V_0 = \frac{v}{d} \cdot \frac{Ar}{(18 + 0,61\sqrt{Ar})}$$

- 4) Уравнение Э.В. Адамова

$$V_0 = 21,2 \frac{v}{d} \sqrt{\left( \sqrt{1 + 0,038Ar^{2/3}} - 1 \right)^3}$$

- 5) Уравнение Руби

$$V_0 = F \sqrt{dg \cdot \frac{\delta - \Delta}{\Delta}}$$

Где:

$V_0$  – скорость свободного падения частиц, м/с;

$\delta$  – плотность частиц, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$d$  – диаметр частиц, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Ar$  – параметр (критерий) Архимеда;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости жидкости, Н·с/м<sup>2</sup>;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с.

После проведения расчетов гидравлической крупности по приведенным выше уравнениям для различных тяжелых минералов был составлен график зависимости гидравлической крупности от плотности минералов.

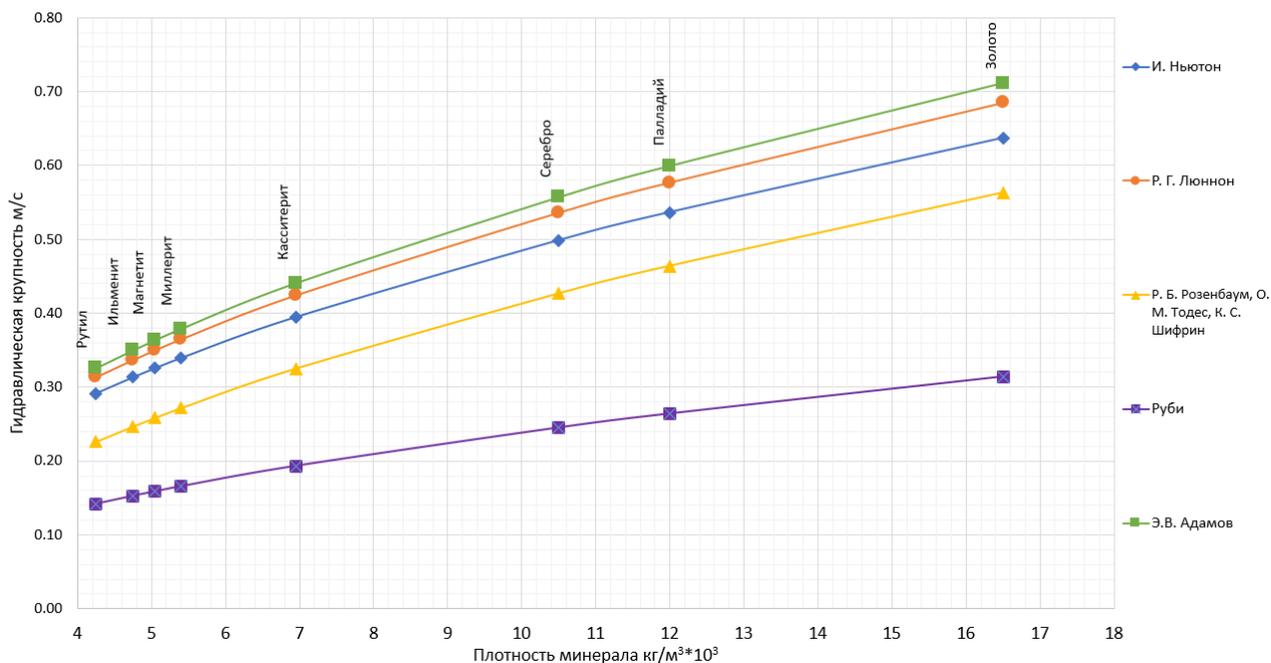


Рисунок 1. График зависимости гидравлической крупности от плотности минералов

По результатам расчетов видно, что разница полученных значений гидравлической крупности для одних и тех же тяжелых минералов может достигать более 100%.

### Выводы

Проведенные исследования и анализ показали, что необходимы дальнейшие исследования определения гидравлической крупности для тяжелых минералов с целью производить их гидроподъем с морского дна.

### Библиография

1. Вильмис А.Л., Дробаденко В.П. Салахов И.Н., Луконина О.А., Некоз К.С. Актуальные вопросы освоения шельфовых и прибрежно-морских месторождений арктической зоны России. Недропользование XXI век. 2023. № 1-2 (99). С. 10-23.
2. Кобылкин Д.Н. О роли минеральных ресурсов арктической зоны в развитии экономики российской федерации. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 3 (166). С. 6-7
3. Козлов М.Ю. Совершенствование технологий гидроподъема при освоении шельфовых месторождений железомарганцевых конкреций на основе исследования гидродинамических процессов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. МГРИ, 2016
4. Ялтанец М. И. Справочник по гидромеханизации // - М.: Горная книга, 2011. - 736 с.

*Размещение и утилизация твердых бытовых отходов в техногенном подземном  
пространстве*

*Грабский А.А. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, a.a.grabsky@yandex.ru),  
Бессчетнов С.А. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, paocla@yahoo.com)*

**Аннотация**

В настоящем сообщении обоснована актуальность усовершенствования существующих и разработки новых современных технологий утилизации всех видов муниципальных (бытовых) и промышленных отходов. Показана целесообразность использования техногенного подземного пространства для хранения и утилизации твердых бытовых отходов. Установлено, что из существующих методов обезвреживания отходов, исключая особо токсичные, наиболее перспективными являются термические методы обезвреживания. Представлены основные положения концепции использования подземного пространства шахт для размещения твёрдых отходов, включающие приём и термическую подготовку последних, разработку технологических решений по перемещению и закладке отходов в техногенное пространство, оценку экономических и экологических рисков.

**Ключевые слова**

промышленные отходы, экология, утилизация, термические методы, подземные сооружения.

**Теория**

Одной из важнейших экологических проблем городов является проблема утилизации всех видов муниципальных (бытовых) и промышленных отходов [1, 7, 8]. По способу использования отходов методы обезвреживания отходов подразделяют на, утилизационные и ликвидационные. Утилизационные методы позволяют решать задачи экономии топливно – энергетических ресурсов, а ликвидационные направлены в основном на удовлетворение санитарно – гигиенических требований. Классификация методов обезвреживания по технологическому принципу позволяет выделить биотермические, механические, комбинированные, термические и химические способы. Чаще всего в городах применяются следующие способы: механический, путём обезвреживания отходов на полигонах, и термический, при котором отходы сжигаются. Распространён также биологический способ, предусматривающий компостирование отходов.

Более 80% всех твёрдых отходов в России складировуются на свалках и полигонах. Складирование отходов в виде насыпных холмов или в карьерах и оврагах приводит к загрязнению грунтовых вод фильтратом, а окружающей территории легкими фракциями отходов [5]. Полигоны должны обеспечивать полную санитарно –эпидемиологическую безопасность населения, защиту от загрязнения почвы, подземных вод и атмосферы. Раньше считалось, что на свалках и полигонах разложение отходов происходит в почве. Однако в почве разлагаются только органические вещества, в то время как в составе отходов всё большую долю занимают стекло, пластмассы и др. компоненты. В связи с этим следует говорить не об обезвреживании отходов в почве, а об их складировании на почве с расчетом на последующую минерализацию. На полигонах и свалках реализуется длительный процесс разложения отходов. В верхнем слое он заканчивается на глубине до 3 м через 15 – 20 лет, в более глубоких слоях через 50 – 100 лет. Разложение отходов сопровождается выделением газов, фильтрата и небольшого количества теплоты.

Анализируя вышеизложенное, следует признать, что с точки зрения экологической и санитарно-эпидемиологической безопасности наиболее целесообразно размещать твердые бытовые отходы в техногенном подземном пространстве с последующей их утилизацией с применением термических методов.

Выбор варианта технологии размещения в подземном пространстве шахт отходов или продуктов их переработки определяется: типом и степенью токсичности отходов; общим объемом горных выработок и камер, пригодных для размещения отходов по гидрогеологическим и геомеханическим условиям; степенью использования при размещении отходов существующих схем транспорта, вентиляции и водоотлива; целесообразностью создания дополнительных полостей за счет частичного погашения охранных и технологических целиков и другими факторами [1].

При оценке геомеханического состояния породного массива, помимо прогноза состояния крепи и возможных деформаций выработок во времени, необходимо учитывать устойчивость целиков и камер (полостей), а также возможность сохранения существующей гидрогеологической обстановки за счет исключения водогазопроводящих трещин над горными выработками.

Прогнозирование гидрогеологических и инженерно-геологических условий работы бывших горных предприятий в новом режиме выполняется на основе анализа материалов, накопленных за время их эксплуатации. При этом важнейшим фактором следует считать данные геологоразведочных работ по обводненности тектонических нарушений и сдренированности водоносных горизонтов в пределах отработанной части шахтного поля, наличие и пространственное положение напорных горизонтов.

Переработка твёрдых отходов может быть осуществлена в техногенном пространстве, в выработках околоствольного двора, в подготовленных полостях и газогенераторах при совместном сжигании с углём на основе разработанного способа утилизации отходов. Технология подземного сжигания угля (ПСУ) [2 – 4, 6] как производственный процесс включает вскрытие, подготовку, розжиг и ввод в эксплуатацию подземного газогенератора, управление процессом сжигания для обеспечения наибольшей полноты выгорания угольных блоков и стабильной работы в отношении тепловой мощности и температуры извлекаемого газа; утилизацию физического тепла исходящих газов непосредственно на месте залегания угля; очистку выбрасываемых в атмосферу газов и имеющих место сточных вод от загрязняющих, вредных и токсичных примесей и химических соединений. Технологией ПСУ предусматривается применение шахтного, скважинного и комбинированного способов подготовки запасов угля к сжиганию. Шахтный и комбинированный способы предназначены для подготовки к сжиганию вскрытых горными выработками запасов угля, оставленных в недрах в виде целиков различных параметров и конфигураций на отработанных шахтных полях, а также на отработанных горизонтах и площадях действующих шахт (при условии обеспечения надежной изоляции очагов горения от действующих выработок и эксплуатационных участков с помощью термостойких перемычек, и газонепроницаемых ограждений (завес). Пример реализации разработанного способа представлен на рисунке 1.

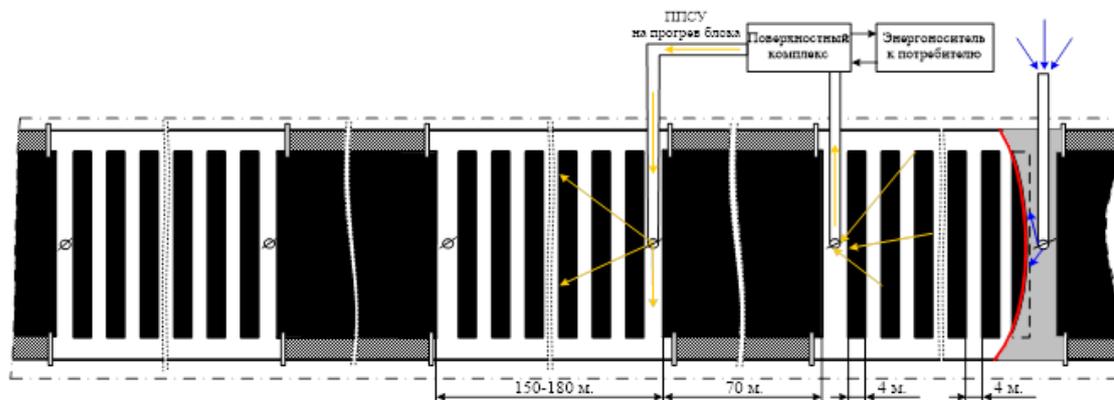


Рисунок 1. Технологическая схема подготовки процесса совместного сжигания угля и ТБО

В рассматриваемом термическом способе, включающем сжигание отходов и утилизацию тепловой энергии газов, отходы подают в подземные горные выработки через вскрывающие горные выработки и сжигают их при подаче окислителя в зону горения с последующим отводом образовавшихся газов на дневную поверхность, а продуктами сжигания заполняют выработанное пространство, причем часть тепловой энергии газов используют для термической подготовки участков подземного сжигания. При наличии подземного газогенератора отходы подают в зону горения, а при наличии одной или нескольких горных выработок шахты отходы сжигают в этих выработках или в зоне сопряжения вскрывающих выработок с подземной выработкой шахты. При этом продукты сжигания в подземном газогенераторе оставляют на месте их сжигания или перемещают газоздушным потоком в выработанное пространство, а при сжигании в подземных выработках шахты или в зоне сопряжения их с вскрывающими выработками перемещают под действием потока газоздушной смеси или воды, в частности шахтной воды. Кроме того, часть отходов возможно складировать в подземных горных выработках.

При подаче отходов в подземные горные выработки и в зону их горения с последующим отводом образовавшихся газов на дневную поверхность через вскрывающие горные выработки обеспечивают эффективное их сжигание без использования дополнительных площадей на поверхности земли, а использование продуктов сжигания для закладки выработанного пространства улучшает экологическую обстановку в окружающей среде. Для более полного заполнения выработанного пространства отходы, не подлежащие сжиганию, целесообразно складировать в подземных горных выработках. Перемещение продуктов сжигания под действием потока воды снижает трудоемкость перемещения их в выработанное пространство, а под действием газоздушного потока дополнительно обеспечивает непрерывность процесса переработки отходов.

В зависимости от условий разработки угольного месторождения отходы подают в зону горения подземного газогенератора или горной выработки, или в зону сопряжения вскрывающих горных выработок с подземной горной выработкой шахты, что позволяет более эффективно использовать подземное пространство. Часть тепловой энергии газов, направленной для термической подготовки участков, обеспечивает сокращение сроков выхода их на номинальный режим работы.

Производительность участка по сжиганию отходов совместно с углем в подземных газогенераторах зависит от скорости подвигания огневого забоя и количества подаваемого окислителя. В случае, когда скорость подвигания очистного забоя не обеспечивает достаточного объема выработанного пространства для размещения продуктов сжигания, их перемещают на некоторое расстояние от места поступления в огневой забой потоком окислителя, подаваемого под давлением в нагнетательную выработку.

### **Выводы**

Предложенная технологическая схема позволяет реализовать системный подход к реализации экономически и экологически целесообразной концепции размещения и переработки твердых отходов в техногенном пространстве шахт. При совместном сжигании угля и отходов эффективность технологии утилизации, по сравнению с полигонным вариантом, достигается за счет снижения отрицательного воздействия на окружающую среду твердых бытовых отходов и продуктов их сжигания, а также вовлечения в хозяйственный оборот попутно получаемой тепловой энергии и запасов угля в целиках.

### **Библиография**

1. Загоршменный И.М. Оценка возможности и технологические решения по размещению твердых бытовых отходов в подземном пространстве шахт // Горный информационно – аналитический бюллетень. – 2005. – № 4. – С. 166 – 172.

2. Закоршменный И.М., Грабский А.А., Блохин Д.И., Кобылкин А.С. Использование термохимических технологий для отработки оставленных запасов угля // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15. – № 4(58). – С. 966 – 974.
3. Закоршменный И.М., Блохин Д.И. Вовлечение в сферу промышленного производства оставленных запасов за счет использования технологии термохимической переработки // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр: 5 КОНФЕРЕНЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ академика РАН К.Н.Трубецкого, Москва, 14–18 ноября 2022 года. – Москва: Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2022. – С. 193 – 196.
4. Крейнин Е.В. Подземная газификация углей: основы теории и практики, инновации. Москва: 2010. 400 с.
5. Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6-1. – С. 107-118.
6. Петров, И.В., Уткин И.И., Джайянт В.Б. Предложения по декарбонизации угольной промышленности и устойчивому развитию обособленных регионов на основе подземной газификации углей // Уголь. – 2022. – № 9(1158). – С. 41-46.
7. Попов, А. А., Тараканов А. В. Пути решения чрезвычайных экологических ситуаций в Кузбассе // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – № 1. – С. 157 – 162.
8. Kongar-Syuryun S.B., Aleksakhin A.V., Eliseeva E.N., Zhaglovskaya A.V., Klyuev, R.V., Petrusovich D.A. Modern Technologies Providing a Full Cycle of Geo-Resources Development // Resources. – 2023. – Vol. 12. – Article 50.

*Аспекты взаимодействия затопленных осесимметричных гидромониторных струй при  
скважинной гидродобыче полезных ископаемых*

*Гончаров Я.А. (МГРИ, Gonch.Flex@mail.ru),*

*Вильмис А.Л. (МГРИ, vilmisal@mgri.ru),*

*Чеснова Е.С. (АО "БАГК", elizapreacher@yandex.ru)*

**Аннотация**

В статье рассматривается необходимость в дополнительных исследованиях распространения затопленных гидромониторных струй при скважинной гидродобыче (СГД) и изучении взаимодействия осесимметричной затопленной турбулентной струи с породным массивом.

**Ключевые слова**

Гидромониторные струи, гидросмесь, разрушение горных пород, размыв.

**Теория**

Вопросам разрушения горных пород гидромониторными струями в горной промышленности посвящено достаточно много работ. Однако разработка аналитического метода расчета показателей эффективности процесса взаимодействия струи с массивом пород является сложной задачей.

Трудность в ее решении обусловлена в первую очередь недостаточной изученностью процесса, сложностью строения разрушаемого объекта, отсутствием достаточно надежных сведений о механизме разрушения струей воды породного массива.

При разрушении породного массива гидромониторными струями имеет место многофакторная комбинация параметров разрушения (физических величин), что приводит к сложности математического анализа изучаемого процесса.

Поэтому важно выявить критерий, при помощи которого с достаточной надежностью можно оценить эффективность гидромониторного размыва при различных расходно-напорных параметрах. Выбор критерия качества струи должен исходить из правильной оценки сущности процесса гидроразмыва.

Некоторые исследователи допускают, что разрушаемая порода представляет собой однородное и изотропное полупространство. Площадь контакта струи с породой представляет собой круг, а нагрузка на забой распределена равномерно и является статической [1]. Н.Ф.Цяпко, например, считает основными причинами разрушения массива кавитационные свойства струи в месте контакта, усталость и понижение прочности массива [2]. Такая гипотеза разрушения подтверждается исследованиями, проведенными в Ленинградском горном институте [3] с использованием скоростной киносъемки (сто тысяч кадров в сек.). Геронтьев В.И. выдвигает гипотезу, что струя, контактируя с массивом, вызывает разрушение поверхностного слоя. В дальнейшем, углубляясь в породу, образует врубную щель и действует на стенки воронки давлением определенной величины, приводящее к образованию трещин и расширению щели [4].

Г.Н. Роер полагает, что разрушение происходит отходящим потоком после удара струи в породный массив. При этом считает, что влияние нормальной составляющей силы удара струи, (что вызывает фильтрацию воды в поры породы) на образование врубной щели незначительно. В.С. Мучник полагает, что разрушение массива струей теоретически произойдет, если давление в месте контакта превысит временное сопротивление массива разрушению. Разрушение при этом протекает интенсивно, если нарушена сплошность массива трещинами (струя воды действует в этом случае как гидравлический клин) [5].

Другие исследователи [6] основным фактором, влияющим на разрушение массива горных пород, считают осевое динамическое давление струи, оказываемое на породы забоя. Конечно, фактор динамического давления струи является основным, без которого разрушения

породного массива происходить не будет. Однако многочисленными экспериментами установлено, что величина критического давления начала разрушения горных пород затопленной струей воды в несколько раз ниже предела прочности материала на одноосное сжатие [7].

По мнению некоторых исследователей [8] разрушению горных пород способствует дополнительная вода, подаваемая на забой массива, что снижает крепость пород, уменьшая силу сцепления смежных частиц посредством перевода связей между частицами с оболочек прочносвязной воды на более низкий уровень – оболочки рыхлосвязной воды, обуславливая включение природного механизма дезинтеграции. Это характерно только для пород, природа связей которых основана на водных оболочках.

Для СГД особый интерес представляет изучение взаимодействия осесимметричной затопленной турбулентной струи с несвязным массивом горных пород, гранулометрический состав которого по своим горнотехническим свойствам может быть определен как плавун.

Струя, работающая в затопленном пространстве, должна не только разрушать породный массив, но и доставлять разрушенный материал к всасу выдачного устройства, обеспечивая тем самым оптимальное соотношение подачи (расхода) напорной воды на размыв горного массива и пульпоприготовление (рис.1).



Рисунок 1. Лабораторный стенд для определения всасывающим способ гидроэлеватора при скважинной гидродобыче (СГД) песков

### **Выводы**

Консистенция гидросмеси (соотношение Т:Ж), а следовательно, производительность подъемного устройства (эрлифта) при скважинной гидродобыче зависит не только от относительного расхода воды на гидроразмыв породного массива, но и на пульпоприготовление, а также от относительного расстояния между насадкой гидромонитора и приемным отверстием всасывающей трубы, в зависимости от диаметра последней. Поэтому для обоснования

применения затопленных струй при скважинной гидродобыче несвязных горных пород способом СГД необходимо учитывать осевую скорость струи в зависимости от выходного сечения насадка, угол расширения затопленной струи для начального и основного участков (в зависимости от начальной скорости истечения жидкости из насадка) и установить зависимости для определения средней скорости в сечениях начального и основного участков затопленной турбулентной осесимметричной струи, а также зависимости для определения диаметров и объемных расходов в различных участках ее сечения.

### **Библиография**

1. Цапко Н.Ф., Герт О.Б., Плетнев О.Н. К вопросу выявления резервов производительности гидромонитора и энергоемкости. В кн.: Вопросы гидравлической добычи угля. Вып.13, Новокузнецк, 1968 г.
2. Цапко Н.Ф., Чапка А.М. Гидроотбойка угля на подземных работах. М., Гостехиздат, 1960 г.
3. Основные задачи теории разрушения угля струей воды. Зап. ЛГИ, т.11, вып.1, 1958 г.
4. Геронтьев В.И., Северин А.Г. Разрушение углей и горных пород струей воды. Зап ЛГИ, т.41, 1959 г.
5. Роев Г.И. Методика расчета экономических параметров струй при гидромониторных работах. «Сб. материалов по технической информации и обмену опытом», ОБТИ Главзолото. М., вып.52, 1957.
6. Петриченко В.П., Колесников В.И., Пинчук А.В. Горн. инф. - анал. бюл. Моск. гос. горн. ун-т, 2005 г. №3, стр. 284-288.
7. Ищук И.А., Гольдин Ю.А. Научные основы гидравлического разрушения углей. Москва: Наука. 1973г. 147с.
8. Михайлов А.Г. Размыв пород водогазовыми струями. Горн. инф. - анал. бюл. Моск. гос. горн. ун-т 2004 г. №11, стр. 194-197.

*Пути модернизации дробильно-сортировочных комплексов: снижение влияния на  
окружающую среду и улучшение условий труда*

*Ткаченко А.С. (Уральский государственный горный университет, a@aspex.ru),  
Кухарева А.А.\* (Уральский государственный горный университет, 381kalina@gmail.com),  
Бочков В.С. (Уральский государственный горный университет, bochkof@list.ru)*

**Аннотация**

Рассмотрена проблематика аспирации и пылеподавления на дробильно-сортировочных комплексах (ДСК) открытого типа в различных местах (технологических переделах) данных комплексов. В данном контексте изучается негативное воздействие указанных комплексов на окружающую среду, оборудование и человека.

Одним из главных источников негативного воздействия является пыль, которая образуется в процессе работы оборудования. Эта пыль не только ухудшает видимость, но и может стать причиной заболеваний дыхательных путей у работников, а также привести к преждевременному износу оборудования. Для решения задачи предлагается внедрение аспирационных систем и средств пылеподавления. Аспирационные системы предназначены для удаления пыли из воздуха и ее последующего осаждения. Это позволяет не только улучшить видимость, но и предотвратить распространение пыли за пределы рабочей зоны.

**Ключевые слова**

Дробильно-сортировочный комплекс, дробление, аспирация, пылеподавление, скорость изнашивания.

**Теория**

Стационарные ДСК, развертываемые в карьерах нерудных и горнорудных предприятий на открытой площадке в непосредственной близости от места добычи инертных материалов и рудных ископаемых, очень распространенный вид оборудования [1]. Данные ДСК, различного производства имеют довольно большой срок эксплуатации, при своевременной замене изнашивающихся деталей - более 10 лет, советские и ранние российские ДСК не оснащались их производителями устройствами аспирации и пылеподавления, но продолжают активно использоваться и по сей день. Однако экологические нормы и правила прохождения экспертизы проектов установки данного оборудования изменились, в этой связи предприятия реализуют проекты модернизации данного оборудования в разрезе дооснащения данных ДСК аспирационным оборудованием, конструкциями и системами, связанными с ними [2].



Рисунок 1. Фото ДСК «Кредмаш» модернизированного и дооснащенного системой аспирации Aspex на предприятии Башкирская медь, УГМК-Холдинг

Основные факторы влияющие на принятие решения о необходимости модернизации ДСК и дооснащения их системами аспирации и пылеподавления:

1. неблагоприятный микроклимат в зоне работающего оборудования ДСК;
2. унос пыли воздушными массами за границы санитарно-защитной (СЗС) зоны предприятия;
3. повышенный износ оборудования ДСК;
4. отсутствие или существенное ограничение видимости в районе ДСК во время работы, что не соответствует технике безопасности;
5. повышенные риски заболевания рабочих пневмокониозом.

Часто предприятие приходит к необходимости реализации таких модернизаций, что влечет за собой комплекс мер по дополнительному оснащению ДСК с прокладкой аспирационных трасс, размещению аспирационного оборудования в районе ДСК, и если данное оборудование работает по технологии «сухой» фильтрации - то оно также требует установки мобильной модульной компрессорной станции, и так как она стоит в непосредственной близости от установки, необходимо минимизировать любой вторичный унос пыли от не организуемых источников – конвейерные ленты, зона сброса конечного продукта ДСК (фракционированные навалы) [3].

Применение аспирационного оборудования, работающего по методу «мокрой» фильтрации на ДСК крайне редко – по причине необходимости организации весьма дорогостоящего шламового хозяйства за такими системами и элиминирования вопросов промерзания систем и «хвостов» в зимний период, поэтому их применения мы не будем рассматривать в данной статье.

Улавливание пыли в таких случаях, когда требуется модернизация, не совсем тривиальная задача, поскольку требуется верно рассчитать объем вымещающей пыли, а также заложить необходимую геометрию аспирационных зонтов и укрытий скорость на кромке данных укрытий.

Также важной задачей является расчет требуемого разрежения внутри проектируемой для модернизации аспирационной системы, чтобы получить гарантированную эвакуацию всей массы неорганизованного выброса пылеватых фракций, разрежение складывается из необходимого для преодоления сопротивления системы и дополнительно требуемого разрежения системы, связанного с неплотностями укрытий потому как изначально аспирация на данных ДСК не предусматривалась, для этого необходимо рассчитать этот дополнительный объем газа.

Улавливание полученной в аспирационных установках пыли можно реализовать двумя способами:

1. Консолидированный сбор и реализация в биг-бэгах (например, в качестве минерального порошка производителям асфальто-бетонных смесей);
2. Сбор и сброс с помощью устройств беспылевой выгрузки из бункеров аспирационного оборудования прямо на конвейеры ДСК.

При сборе и сбросе с помощью устройств беспылевой выгрузки из бункеров аспирационного оборудования прямо на конвейеры ДСК, возникает очень актуальная задача – организация мер для нейтрализации неорганизованного пыления в точке сброса на конце конвейерной ленты в навал. Организовать с разумными затратами, не строя капитальное здание, такое укрытие для сбора и эвакуации пыли не представляется возможным – так как конвейер насыпает под собой в конечной точке сброса навал изменяющейся высоты и данный навал периодически разбирается транспортом [4].

Для реализации данной задачи предлагается установка систем пылеподавления на конечной точке ленточного конвейера с установкой форсунок-атомайзеров, распаяющих сухой туман, позволяющие работать с водой до отрицательных температур вплоть до  $-20^{\circ}\text{C}$ , соответственно утеплив магистрали подачи воды до форсунок и при необходимости проложив кабельный обогрев. Предлагается устанавливать два вида форсунок – одни для смачивания сбрасываемого материала перпендикулярно плоскости движения массы материала по ленте

(перпендикулярно конвейерной ленте), другие параллельно для смачивания материала, с другой стороны (Рисунок 2).

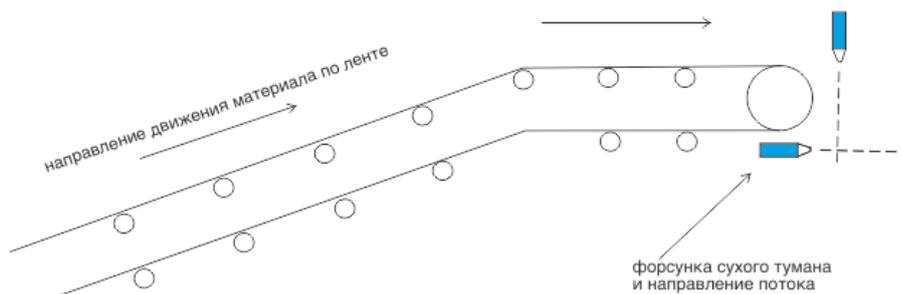


Рисунок 2. Схема установки форсунок сухого тумана в точке сброса с конвейера

Попадание пыли и грязи в подшипники роликовых опор ленточных конвейеров — это самая распространенная причина выхода роликов из строя, уплотнения подшипников не всегда могут защитить узел от выработки смазки при интенсивных пылевых нагрузках, обусловленных отсутствием аспирации на ДСК, по среднестатистическим по различным данным простои конвейерного хозяйства, а соответственно и простои ДСК составляют до 20%-25% всех поломок, а соответственно это сотни часов простоев в год. Неорганизованное пыление с лент и навалов, и размоленного оборудования и оборудования грохочения несет реальный риск людям, работающим с установкой, так как теряется видимость в зоне работы вплоть до нулевой, и происходит загрязнение прилегающей территории и окружающей среды (в основном почв и воздушного бассейна) пылью.

Горнорудные предприятия по переработке полезных ископаемых являются крупным источником пыли, которая может стать причиной возникновения заболеваний легких, таких как пневмокониоз. Поэтому необходимость модернизации систем аспирации является актуальной, так как существует ряд проблем, таких как запыление воздухопроводов, низкая производительность, недостаточная эффективность. Полученный положительный эффект, на примере модернизации ДСК «Кредмаш» дооснащенного системой аспирации Asprex на предприятии Башкирская медь, УГМК-Холдинг, карьер Новопетровский.

Таблица 1

Исходные данные до модернизации:	Данные после оснащения ДСК системами аспирации:
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Запыленность на рабочих местах: до 20 г/м<sup>3</sup> воздуха</li> <li>– Простои ДСК по вине выхода из строя ленточных конвейеров в год: 120 часов</li> <li>– Объём улавливаемой пыли в год: 0 т</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Запыленность на рабочих местах: 6 мг/м<sup>3</sup> воздуха</li> <li>– Простои ДСК по вине выхода из строя ленточных конвейеров в год: 24 часа</li> <li>– Объём улавливаемой пыли в год: 28382 т</li> </ul>

### Выводы

В результате модернизации ДСК удалось значительно улучшить условия труда работников предприятия и состояние воздушного бассейна в районе работы ДСК в следствии

снижения запыленности воздуха. Так, уровень запыленности в рабочих зонах многократно снижается. Время простоев по причине поломок ленточных конвейеров сократилось в 5 раз. Кроме того, в ходе модернизации было собрано и утилизировано 28382 тонны пыли - огромное количество, которое было бы выброшено в атмосферу без применения современных методов пылеподавления.

### **Библиография**

1. Молчанов Б.С. Проектирование промышленной вентиляции / RUGRAM 2022 г., ISBN: 978-5-458-43691-5
2. Методическое пособие. Расчет выброса дробильной пыли / И.В. Буторина проф. / СпбГПУ. 2013.
3. Атлас промышленных пылей. Часть 2. Пыли предприятий металлургии, машиностроения и строительной промышленности. Москва, ЦИНТИхимнефтемаш, 1981 г.
4. Абрамов, А.И. Оптимизация режимов работы дробильно-сортировочных комплексов открытого типа с целью уменьшения пылеобразования и аспирации / А.И. Абрамов // Известия Вузов. Горный журнал. — 2015. — № 3. — С. 12-18.

*Автоматизация расчёта теоретического времени работы экскаватора в программе Excel  
Максимова А.К.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный  
университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)», г. Москва, dashanastya.tm@mail.ru),  
Богачев М.Ю. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)», botju@yandex.ru),  
Вильмис А.Л. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)», vilmisal@mgri.ru)*

#### **Аннотация**

Современная горнодобывающая индустрия переживает значительные трансформации, и главным двигателем этих изменений становятся информационные технологии и цифровые данные. Новые цифровые технологии позволили преобразовать способы сбора, анализа и использования геологических данных. Автоматическое управление технологическим процессом в реальном времени используется для уменьшения доли ручного труда, снижения энергозатрат, повышения эффективности производства. [1]

В связи с этим, предлагается система в программе Excel, позволяющая создать удобства для внешнего пользователя. Предлагаемые удобства помогут ускорить и упростить расчёты.

#### **Ключевые слова**

Автоматизация, Excel, расчёт, формула, данные.

#### **Теория**

Для автоматизации технических расчетов можно использовать таблицы данных, графики, диаграммы, а также формулы и встроенные в программу функции. Формулы-это выражения, которые используются для выполнения расчетов. Функции-это выражения, позволяющие обращаться к внешним данным и производить сложные операции с ними. [2]

В данной работе будет произведён расчёт теоретического времени работы экскаватора в программе Excel. Для этого необходимо знать объём горной породы, её крепость и тип экскаватора, а затем вычислить теоретическую производительность экскаватора.

Теоретическая производительность экскаватора ( $Q_{\text{теор}}$ ) – это количество горной массы (в т или м<sup>3</sup>), которая может быть вынута в единицу времени при непрерывной работе экскаватора, исходя из его конструктивных размеров. Рассчитывается по формуле  $Q_{\text{теор}} = \frac{3600 \cdot E}{T_{\text{ц}}}$ . [3]

Преимущества работы в табличном процессоре на примере MS Excel:

1. Удобство использования данных, расположенных в разных областях таблицы и связанных между собой определенной зависимостью.
2. Возможность автоматически пересчитывать результаты при изменении исходных данных.

В связи с этим, предлагается создать структуру книги Excel, состоящую из трёх листов: «ВВОД»-ввод исходных данных и вывод результата; «РАСЧЁТ»- расчётные формулы, необходимые для текущих вычислений; «ТАБЛИЦА»-данные, расположенные в таблице и используемые для воспроизведения требуемых операций.

Перед началом работы требуется вставить таблицу со значениями продолжительности рабочего цикла для различных типов экскаваторов в лист «ТАБЛИЦА» (рис.1). Для осуществления операций на следующих этапах, вынесем по порядку типы горных пород под таблицей.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Продолжительность рабочего цикла Тц						
2	Тип экскаватора	Ёмкость ковша	Песок, сухой	Плотные глины, полускальные породы	Тяжёлые глины, полускальные породы	Взорванные горные породы,	Взорванные скальные породы
3	ЭКГ-5	5	24,2	27,1	31,7	34,0	36,5
4	ЭКГ-8	8	28,2	30,1	35,2	37,5	40,5
5	ЭКГ-12,5	12,5	32,4	34,7	38,3	41,1	44,1
6							
7	Песок, сухой						
8	Плотные глины, полускальные породы						
9	Тяжёлые глины, полускальные породы						
10	Взорванные горные породы, средней крепости						
11	Взорванные скальные породы						
12							
13							

Рисунок 1. Данные листа «ТАБЛИЦА» и их оформление

Теперь переходим к оформлению листа «ВВОД». На этом листе (рис.2) пользователю предлагается ввести необходимые данные и получить выводимый результат. В качестве примера, впишем в ячейку В2 значение объёма породы, м<sup>3</sup> - 10000. Далее определяются из списка предлагаемые виды горной породы и экскаватора. Выберем тяжёлые глины, полускальные породы и экскаватор ЭКГ-8 (рис.2). Для этого воспользуемся инструментом Excel *Проверка данных – Список*. Соответствующие таблицы для выбора типа пород и модели экскаватора находится на листе «ТАБЛИЦА» (рис.1).

	A	B
1	Объём породы, м3	10000
2		
3	Горная порода	Тяжёлые глины, полускальные породы ▼
4	Тип экскаватора	ЭКГ-8 ▼
5		
6	Расчётное время работы, ч	12,22
7		
8		

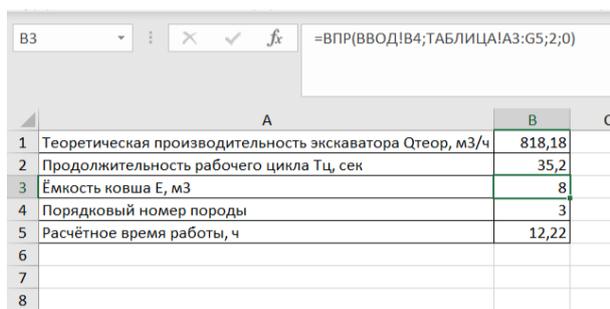
Рисунок 2. Структура, оформление и данные листа «ВВОД»

После этих действий в ячейке «Расчётное время работы» программа будет показывать теоретическое время работы экскаватора с учётом его производительности, рассчитанное на листе «РАСЧЁТ». Таким образом, пользователю будет достаточно только первого листа предложенной книги для того, чтобы задать параметры и мгновенно получить искомый результат.

Лист «РАСЧЁТ» содержит ячейки, несущие информацию о теоретической производительности экскаватора, продолжительности рабочего цикла, ёмкости ковша, порядковом номере породы и расчётном времени работы (рис.4).

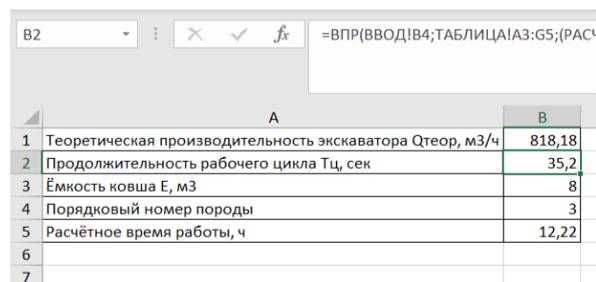
Главной задачей на выбранном листе является рассчитать теоретическую производительность экскаватора, для этого требуются значения ёмкости ковша Е в кубических метрах и продолжительность рабочего цикла Тц в секундах. Так как эти значения приведены в листе «ТАБЛИЦА», мы извлечём их с помощью функции ВПР.

ВПР (VLOOKUP) — функция поиска и извлечения данных в Excel, способная принимать определённый набор символов в качестве запроса, искать совпадение с этим запросом в крайнем левом столбце заданного диапазона и копировать значения из ячейки, которая находится в соседнем столбце, но на этой же строке.[4] Чтобы воспользоваться этой функцией достаточно ввести в ячейке =ВПР (искомое значение; место для его поиска; номер столбца в диапазоне с возвращаемым значением; возврат приближительного или точного совпадения — указывается как 1/ИСТИНА или 0/ЛОЖЬ).



	A	B	C
1	Теоретическая производительность экскаватора Qтеор, м3/ч	818,18	
2	Продолжительность рабочего цикла Tц, сек	35,2	
3	Ёмкость ковша E, м3	8	
4	Порядковый номер породы	3	
5	Расчётное время работы, ч	12,22	
6			
7			
8			

Рисунок 3. Демонстрация строки формул листа «РАСЧЁТ» для вычисления ёмкости ковша

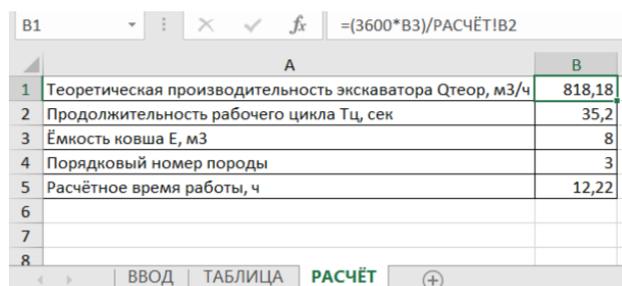


	A	B
1	Теоретическая производительность экскаватора Qтеор, м3/ч	818,18
2	Продолжительность рабочего цикла Tц, сек	35,2
3	Ёмкость ковша E, м3	8
4	Порядковый номер породы	3
5	Расчётное время работы, ч	12,22
6		
7		

Рисунок 4. Демонстрация строки формул листа «РАСЧЁТ» для вычисления продолжительности рабочего цикла

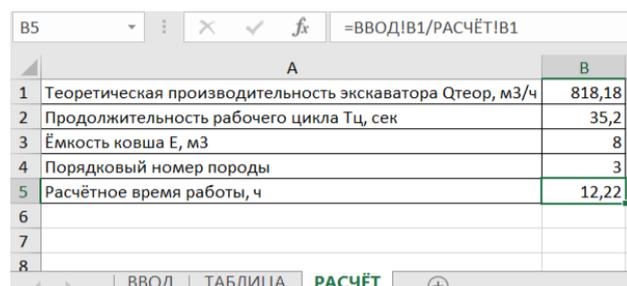
Для продолжительности рабочего цикла прописываем все пункты по аналогии, только номером столбца будет являться ячейка с листа «РАСЧЁТ», связанная с перечнем горных пород и показывающая порядковый номер выбранной, но к этому значению необходимо прибавить 2, так как в таблице информация о породах начинается только с третьего столбца (рис.4). Полученное значение- 35,2 сек сверим с таблицей, чтобы убедиться в правильности ввода функции.

Теперь не составит труда вычислить теоретическую производительность экскаватора(рис.5) и расчётное время работы(рис.6).



	A	B
1	Теоретическая производительность экскаватора Qтеор, м3/ч	818,18
2	Продолжительность рабочего цикла Tц, сек	35,2
3	Ёмкость ковша E, м3	8
4	Порядковый номер породы	3
5	Расчётное время работы, ч	12,22
6		
7		
8		

Рисунок 5. Демонстрация строки формул листа «РАСЧЁТ» для вычисления теоретической производительности экскаватора



	A	B
1	Теоретическая производительность экскаватора Qтеор, м3/ч	818,18
2	Продолжительность рабочего цикла Tц, сек	35,2
3	Ёмкость ковша E, м3	8
4	Порядковый номер породы	3
5	Расчётное время работы, ч	12,22
6		
7		
8		

Рисунок 6. Демонстрация строки формул листа «РАСЧЁТ» для вычисления расчётного времени работы

Приведённый в качестве примера расчёт вполне может уместиться на одном листе. Тем не менее, мы сформировали 3 листа, каждый со своими задачами: ввод данных и вывод результата, собственно расчёт по формулам, таблица с исходными данными.

### Выводы

Автоматизация расчета теоретического времени работы экскаватора с использованием программы Excel значительно упрощает процесс и повышает точность результатов. Благодаря функции ВПР и инструментам поле со списком и проверка данных можно быстро и эффективно определить необходимое время на выполнение задач, что помогает оптимизировать рабочий процесс и улучшить планирование производственных операций. В качестве базовой взята структура, состоящая из трёх листов: «ВВОД», «РАСЧЁТ», «ТАБЛИЦА». Использование Excel позволяет уменьшить вероятность ошибок и ускорить процесс принятия решений, что является важным преимуществом современности.

### **Библиография**

1. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ МИНЕРАЛЬНО -СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА:МОНОГРАФИЯ. Назарова З.М., Забайкин Ю.В., Гербеева Л.Ю., Харламов М.Ф., Богачев М.Ю. М.: National Research, 2022. 484с.
2. АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАНЯТИЙ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ Вильмис А.Л., Богачев М.Ю., Мишина М.Д. В сборнике: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. Москва, 2021. С. 136-139.
3. УПРАВЛЕНИЕ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ, ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ. Назарова З.М., Косьянов В.А., Забайкин Ю.В., Кайманов А.А., Шендеров В.И., Рощина О.Е., Лютягин Д.В., Устинов А.А., Гольдман Е.Л., Богачев М.Ю., Харламов М.Ф., Леонидова Ю.А., Мекша В.С. УЧЕБНИК / (Третье издание, переработанное и дополненное) Москва, 2019.
4. DIGITAL COLLABORATION PROJECTS IN DIGITAL ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT. Zabaikin I.V., Bogachev M.Y., Anisimov P.F. Academy of Entrepreneurship Journal. 2020. T. 26. № 2. С. 1-5.

***Выбор системы разработки на угольных шахтах, обеспечивающих безопасность от  
внезапного взрыва метана***

***Боровков Ю.А. (РГГРУ - МГРИ, email: bua\_51@mail.ru),  
Максимова А.К.\* (РГГРУ - МГРИ, email: dashanastya.tm@mail.ru),  
Шалаева А.А. (РГГРУ - МГРИ, email: anastasiashalaeva@yandex.ru)***

**Аннотация**

Уменьшение негативных последствий чрезвычайных ситуаций при взрыве метана в угольной шахте возможно при применении столбовых систем разработки, обеспечивающих наиболее лучшие условия безопасности по сравнению со сплошной системой разработки.

**Ключевые слова**

Взрыв, метан, воздушная волна, угольная шахта.

**Теория**

При добыче угля подземным способом одним из основных природных факторов, который негативно влияет на технологическую и экономическую деятельность угольных шахт, является почти, особенно с глубиной, повсеместный рост метаноносности угля, так как с ней связаны непрерывные выделения взрывоопасного газа – метана и наиболее опасные проявления сил горного давления – внезапные выбросы угля и метана.

Ежегодно от взрыва метана в угольных шахтах России погибает не один десяток шахтеров. Наиболее трагичный взрыв в России произошел в Кемеровской области на шахте «Ульяновская» в марте 2007 года – погибло 108 шахтеров, а 18 ноября 2007 года на шахте им. А.Ф. Засядько (Донбасс, Украина) погиб 101 человек. Статистика (за последние 15 лет) говорит, что на каждый миллион тонн добытого угля приходится до двух жизней шахтеров. При этом следует, что каждый взрыв уносит не менее десятка рабочих, затрачивается масса труда и средств на извлечение оставшихся в завале шахтеров, расходуются миллионы рублей на компенсации семьям погибших.

Поэтому возникла идея по уменьшению негативных последствий чрезвычайных ситуаций при взрыве метана за счет применения более безопасных систем разработки угля, позволяющие обеспечить наиболее лучшие условия безопасности ведения очистных работ.

В связи с увеличением глубин сооружаемых горных выработок внезапные выбросы угля, пород, газа и горные удары происходят в больших объемах [1].

Более 50% внезапных выбросов происходят в проходческих забоях (рис. 1). Именно поэтому своевременное предвидение и предотвращение внезапного выброса является одной из важнейших задач при сооружении выработок.

Условия залегания полезных ископаемых весьма разнообразны. Поэтому выбор системы разработки зависит от ряда геологических, технических и организационных факторов, которые определяют эти условия. На газовых шахтах целесообразно применять системы разработки с минимальным числом опережающих подготовительных выработок (особенно восстающих). До последнего времени сплошная система разработки являлась одной из основных при разработке тонких пластов. Однако ее участие в общей добыче угля из года в год постепенно сокращается, так как положение о применении сплошных систем разработки не соответствуют требованиям «Правил Безопасности».



Рисунок 1. Взрывы метанопылевоздушных смесей по местам происшествий

Следует заметить, что при системах разработки, применяемых на угольных шахтах, которые можно отнести по классификации акад. М.И. Агошкова к VII классу, то есть к системам с обрушением вмещающих пород, вслед за забоем - лавой передвигаются секции передвижная крепь, а за ней происходит обрушение кровли и выработанное пространство заполняется обрушенными вмещающими породами. При этом возможно оставление в обрушенном пространстве части угля, просыпавшегося при отбойке угля рабочим органом комбайна (что часто встречается), который со временем может самовозгораться и привести к взрыву метана, который частично может содержаться и в обрушенных породах.

Одним из способов предотвращения самовозгорания угля, оставшегося в выработанном пространстве, производится обработка различными гедеобразующими [2] или антипирогельными [3,] составами, в результате чего часть поверхности кусков угля изолируется от кислорода, присутствующего в фильтруемом через воздухопроницаемый массив воздухе.

Так в выше приведенных работах указывается, что, в выработанное пространство с объемом обрушенных пород  $V$ , где находится угольное скопление необходимо подать вязкого антипирогенного вещества не менее 16,3 % от данного объема.

Это потребное количество антипирогенного вещества удовлетворительно согласуется с рекомендациями, разработанными в Восточном научно-исследовательском институте по технике безопасности работ в горной промышленности (г. Кемерово) в нормативных документах «Руководство по применению способов торможения развития самонагревания угля в выработанных пространствах шахт» и «Руководство по применению гелеобразующих. составов для борьбы с самовозгоранием угля в шахтах».

Другим фактором влияния на снижения давления в воздушной волне от взрыва метана с учетом самовозгорания угля является применение воздушных завес. Воздушные завесы создают лишь очень небольшие перепады давления и Распространенный вариант — щелевая воздушная завеса — представляет собой плоскую струю воздуха, направляемую посредством специального воздухораздающего устройства под различными углами поперек основного потока. Для создания струи используется специальный вентилятор. Даже при очень высокой начальной скорости струи, достигающей 35-40 м/с, такие завесы создают в основном потоке перепады давлений, не превышающие 20 Па.

Вихревая воздушная завеса является новым регулятором воздухораспределения в шахтных и других вентиляционных сетях, основанным на явлении увеличения сопротивления движению потока при его закрутке. Для создания такой завесы в канале (выработке), где проходит основной поток, по его периметру устанавливаются побудители движения воздуха, подающие воздух по касательной к периметру канала путем применения вентиляторов местного проветривания.

Перепад давления, создаваемый завесой, зависит от производительности вентиляторов и скорости сдвигения воздуха на выходе из них. Обе величины можно изменять путем включения

разного количества вентиляторов, использования регулируемых вентиляторов, устройством специальных насадков. Возможно дистанционное изменение параметров завесы. Благодаря этому вихревая завеса может быть использована для оперативного регулирования расхода воздуха в шахтной или другой вентиляционной сети [4]..

Все эти технологические тонкости следует учитывать, особенно, при выборе системы разработки.

При сплошной системе разработки ухудшаются условия поддержания подготовительных выработок и сопряжений, находящиеся в зоне влияния очистных работ и повышенного горного давления (рис. 2). Совмещение во времени очистных и проходческих работ также отрицательно сказывается на их безопасности.

В настоящее время сплошная система вытесняется более прогрессивной – столбовой.

Основное отличие системы разработки длинными столбами по простиранию от сплошной заключается в том, что пласт угля в пределах панели или этажа предварительно (до начала очистных работ) разделяется подготовительными выработками на отдельные части – столбы. При ведении очистных работ подготовительные выработки находятся в нетронутом массиве угля, а не в выработанном пространстве – как при сплошной системе разработки. Именно поэтому над ними не происходит массового опускания пород кровли. Также они испытывают гораздо меньшее влияние горного давления, то есть объем работ по ремонту крепи – меньше (рис. 3).

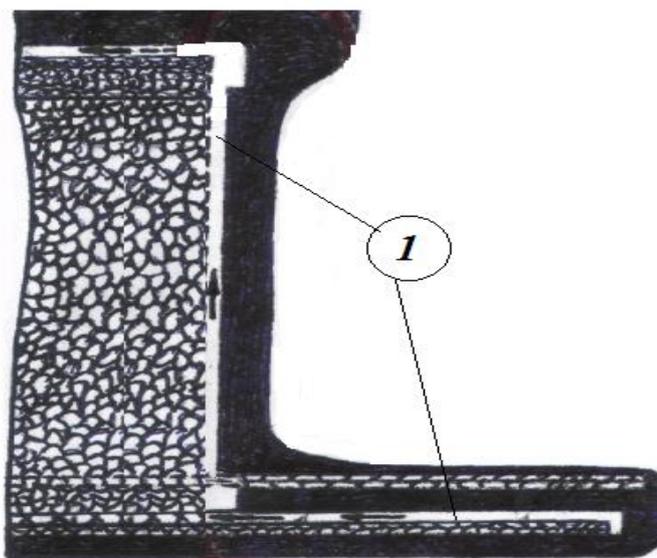


Рисунок 2. Вероятное место взрыва при сплошной системе разработки

Подготовительные выработки проходятся в целиках угля, поэтому и условия их поддержания улучшаются. При столбовой системе разработки обнаружение геологических нарушений, в зоне которых происходит наибольшее число несчастных случаев, происходит вовремя.

При системе разработки длинными столбами по простиранию вентиляционный и откаточный штреки погашаются. Обратный порядок отработки столба создает постоянный фронт работ и улучшает условия эксплуатации очистного оборудования.

При сплошной системе разработки из откаточного штрека воздух подается с разделением лавы: с одной стороны – в лаву, а с другой – в проходческий забой.

Проведение откаточного и вентиляционного штреков, оконтуривающих выемочный столб, способствуют некоторой дегазации пласта и выявлению возможных мест внезапного выброса метана.

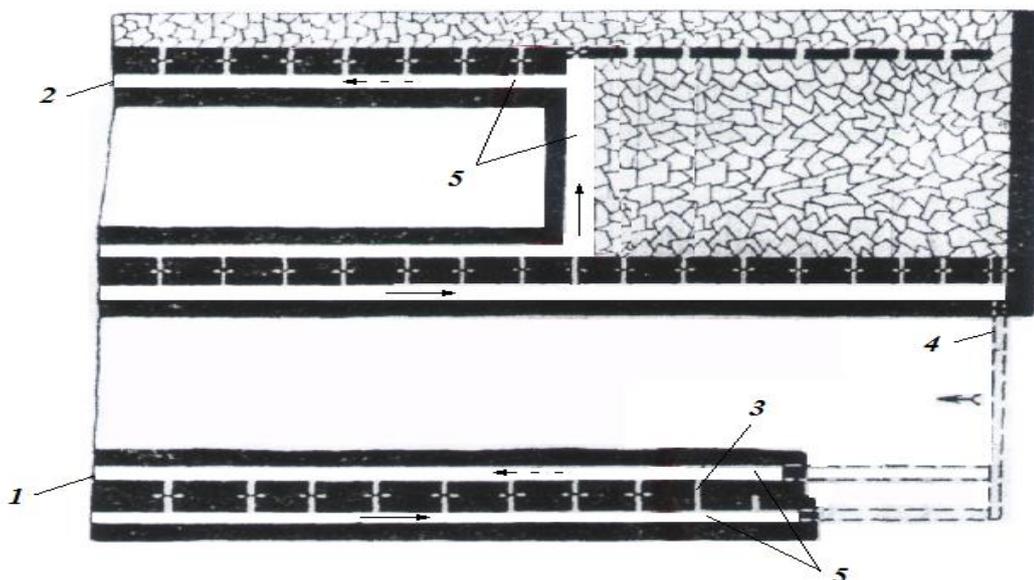


Рисунок 3. Вероятное место взрыва (5) при столбовой системе разработки: 1 – этажный откаточный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – печь; 4 – разрезная печь

### **Выводы**

Снизить количество внезапных выбросов метана из угольных пластов возможно путем замены сплошной системы разработки – столбовой, при этом в выработанное пространство с объемом обрушенных пород  $V$ , где находится угольное скопление вблизи забоя необходимо подавать вязкого антипирогенного вещества не менее 16,3 % от данного объема.

### **Библиография**

1. Боровков Ю.А., Германова С.Е. Обоснование метода снижения давления воздушной волны от взрыва метана на горные выработки в угольной шахте /Материалы IV - Международной конференция «Комплексное Инновационное Развитие Зарафшанского Региона: Достижения, Проблемы и Перспективы посвященная» к 65-летию Навоийского горно-металлургического комбината комбинат 16-17 Ноября 2023 г., Навои, Узбекистан, с. 29
2. Евсеев В. С., Миллер Ю. А. Применение гелеобразующих составов для предупреждения самовозгорания угля в шахтах Кузбасса // Комплексные способы борьбы с эндогенными пожарами. — Кемерово: ВостНИИ, 1986, с. 78-80
3. Рыжков А. Ю., Макаров Е. Я., Конечский В. А. О влиянии антипирогенной обработки на процесс самонагрева угля //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, Новосибирск, Изд. «Наука», 1991, с.81-84
4. Ярцев В. А., Рожнева В. К., Окладников А. В. Вихревая воздушная завеса //Известия ВУЗов «Горный журнал», 1991, №4, с.61-63

*Анализ комплексов со съемным керноприемником с целью выбора оптимального для условий  
месторождения Самолазовское (Республика Саха)*

*Мартюшин С.А.\* (МГРИ, martushin92@mail.com),*

*Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

Рост эффективности колонкового бурения связан с освоением и широким внедрением способа бурения снарядами со съемными керноприемниками (ССК). Данный способ помогает достичь кондиционного выхода керна, который имеет большое значение для геологоразведочных работ и подсчета запасов. Конструктивные особенности снарядов определяют ряд технологических преимуществ.

**Ключевые слова**

Система со съемным керноприёмником, ССК, бурение, технология.

**Теория**

Проходка за рейс может достигать величины проходки на алмазную коронку, т.е. десятков и сотен метров. Это позволяет значительно сократить количество рейсов, связанных с необходимостью выполнения трудоемких спускоподъемных операций. В результате сокращения количества спускоподъемных операций уменьшается износ бурильных труб и их резьбовых соединений, а также непроизводительный износ алмазной коронки, что способствует снижению расхода коронок в процессе бурения; повышается устойчивость ствола скважины. Подъем съемного керноприемника производится специальной лебедкой со скоростью, значительно превышающей скорость подъема бурильных труб. Спуск керноприемника через бурильные трубы происходит достаточно быстро под действием собственного веса и потока промывочной жидкости. Процесс механизации сборки-разборки колонн ССК решается за счет применения станков с подвижным вращателем, у которых для свинчивания-развинчивания труб используются вращатель станка и трубозахватный механизм с зажимными плашками [1]. Самые популярные компании на рынке бурового оборудования, производящие ССК – Atlas Copco, Voart Longyear и Fordia.

Снаряды со съемным керноприёмником Atlas Copco имеют отличительные технические особенности. Например, замок стандартного овершота имеет независимые фиксаторы повышенной надежности, а овершот серии CORAC (рис.1) разделен на две составляющие части с шарнирным соединением, что упрощает работу при проведении бурения в ограниченном пространстве подземных выработок или в буровом здании [2].



Рисунок 1. Овершот с шарниром серии CORAC компании Atlas Copco

Снаряды Atlas Copco (рис. 2) обеспечивают выход керна более 95 % и снижение искривления скважин за счет специальной системы подвески подшипников внутренней трубы и наличия алмазного стабилизатора на внешней трубе. Резьбовые соединения, как и на отечественных снарядах ССК-76, выполнены трапецеидальными и из-за небольшой высоты

профиля резьбы не способны выдерживать значительные, а часто необходимые для разрушения твёрдой породы осевые нагрузки.

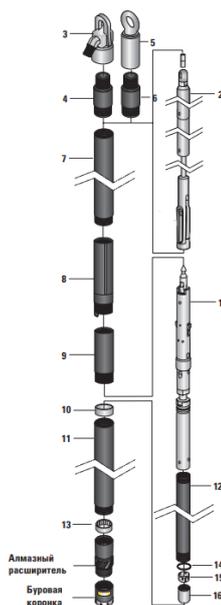


Рисунок 2. Конструкция снаряда Atlas Corso: 1 – головной блок керноприемника; 2 – овершот; 3 – промывочной вертлюг; 4 – переходник; 5 – подъемный вертлюг; 6 – переходник; 7 – бурильные трубы; 8 – стопорная муфта; 9 – переходник; 10 – посадочное кольцо; 11 – внешняя колонковая труба; 12 – внутренняя керноприемная труба; 13 – стабилизатор; 14 – стопорное кольцо; 15 – кернорвательное кольцо; 16 – кернорвательный стакан

Компания Voart Longyear изготавливает два основных типа снарядов со съёмными керноприёмниками – стандартные и усиленные, отличающиеся, в основном, прочностью бурильной колонны, шириной торца коронки и диаметром получаемого керна. К стандартным относятся пять типоразмеров снарядов (AQ, BQ, NQ, HQ и PQ) с бурильными колоннами, имеющими соединение типа «труба в трубу» (рис. 3).

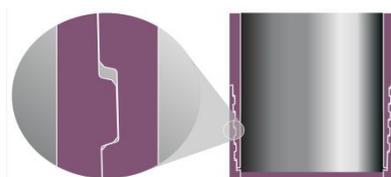


Рисунок 3. Резьбовое соединение – трапецидальный профиль Q

Voart Longyear является единственным крупным производителем в отрасли, который закаливает резьбу. Резьбовое соединение закалено до номинальной твердости 60 HRC для устранения разрушительного адгезионного износа. Закаленная резьба обеспечивает прочность материала на 140%, что значительно увеличивает срок службы колонковых снарядов [3].

Стандартная система со съёмным керноприёмником Voart Longyear – это самый распространенный колонковый набор с головным блоком, имеющим пружинную защелку, и керноприемные трубы промышленного стандарта. Её взаимозаменяемые детали подходят практически ко всем идентичным системам, производимым в России (Алмазгеобур, ЗБО) и за рубежом (Fordia, MICON-Drilling и др.). При необходимости детали можно легко заменить, хотя

система является достаточно прочной для выполнения различных проектов по бурению с отбором керна.

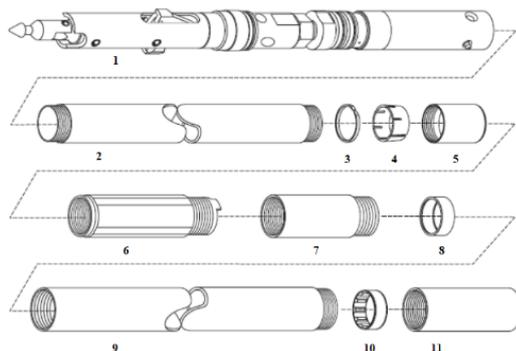


Рисунок 4. Колонковый набор HQ Voart Longyear. 1 – головной блок; 2 – внутренняя труба; 3 – стопорное кольцо; 4 – керноприемная труба; 5 – керноприемная труба с кернователем в нижней части; 6 – бескверновая блокировочная соединительная муфта с хвостовиком; 7 – переходная муфта; 8 – посадочное кольцо; 9 – внешняя труба; 10 – стабилизатор внутренней трубы; 11 – предохранитель резьбы

Канадской компанией Fordia представлены комплексы ССК типоразмеров В, N, H различных линеек. Echosge – тип колонкового набора, ориентированный на производительность и оснащенный прочным механическим замком с долговечными защелками. OWL L-Latch – с рычажными защелками, имеющий оптимальное соотношение стоимости и производительности. OWL Standard – колонковый набор с пружинными защелками, характеризующийся как отраслевой стандарт надежности, имеющий минимальную стоимость. Набор инновационного поколения DiscovOre (рис. 5) с пружинными защелками – изделие класса премиум, в котором используется новая технология для повышения производительности.

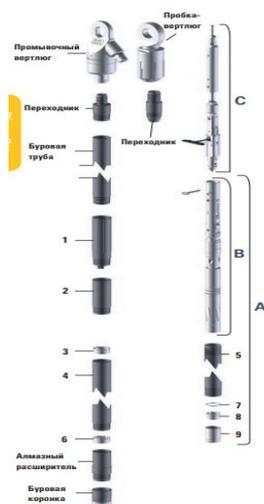


Рисунок 5. Колонковый набор DiscovOre: 1 – релитовый переходник, 2 – переходник, 3 – посадочное кольцо, 4 – наружная труба, 5 – внутренняя керноприемная труба, 6 – стабилизатор, 7 – стопорное кольцо, 8 – керноврательное кольцо, 9 – керноврательный стакан. А – внутренняя труба в сборе, В – головной блок, С – овершот

Конструкция системы DiscovOre в сочетании с овершотом Arrow 3S (рис. 6) устраняет несколько конструктивных недостатков систем ССК старого образца. Вместо фиксации слабого наконечника с пружинными штифтами, который проникает в овершот, защелкивается непосредственно овершот внутри головного блока. В новой конструкции исключены слабые и потенциально опасные компоненты стандартного колонкового ствола, такие как копьевидный наконечник и пружинные штифты. Пружинные штифты обычно заедают после использования в течение некоторого времени. Овершот нового типа попадает быстрее и автоматически фиксируется внутри керноприемника. Обтекаемая форма снижает общий вес конструкции, а благодаря рычажным защелкам заклинивание инструмента практически исключено [4].



Рисунок 6. Головной блок керноприёмника DiscovOre и овершот Arrow 3S

### **Выводы**

Применение снарядов со съёмным керноприёмником позволяет значительно увеличить время чистого бурения, а также расход энергии при выполнении геологоразведочных работ. При выборе оптимального ССК необходимо отталкиваться от простоты в использовании изделия, его минимальной стоимости при его оптимальной производительности.

При бурении в твердых породах, у снарядов Atlas Copco, был выявлен существенный недостаток – малопрочные резьбовые соединения, неспособные выдерживать значительные осевые нагрузки, что сокращает срок их службы при сравнительно высокой стоимости. Fordia предлагает инновационные технические решения, колонковые наборы отличаются производительностью и высокой стоимостью.

Основываясь на предыдущем опыте компании при бурении в схожих горно – геологических условиях, целесообразно выбрать стандартные колонковые наборы производителя Boart Longyear. За счет прочности резьбовых соединений, долговечности и оптимальному соотношению цена – качество они получили широкое применение во всём мире, и рекомендуются к использованию при проведении работ на Самолазовском месторождении. В процессе износа оборудования, существует возможность заказа деталей и запасных элементов у российских производителей, таких как Алмазгеобур, что повышает доступность применения технологии.

### **Библиография**

1. Игаев А. А. Автоматизация спуско-подъемных операций в геологоразведочном бурении //Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные технологии в мировом научном пространстве»(Пермь, 25.05. 2017 г.).-Уфа: Аэтерна. – 2017
2. Современные технологии бурения на твердые полезные ископаемые : учебник / В. В. Нескоромных, М. С. Попова, П. Г. Петенев [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 340 с.
3. Boart Longyear [Электронный ресурс]. URL: <https://www.boartlongyear.com/> (Дата обращения: 08.03.2024).
4. Fordia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fordia.com/en/> (Дата обращения: 08.03.2024).

*Лабораторный стенд по исследованию размыва асфальтитов свободными  
незатопленными гидромониторными струями*

*Митрушина А.С. (ПАО "Юнипро", mitrushina-98@mail.ru),  
Салахов И.Н. (МГРИ, salahovin@mgi.ru),  
Вильмис А.Л. (МГРИ, vilmisal@mgi.ru)*

**Аннотация**

В статье рассматривается актуальность освоения асфальтитов Ивановского месторождения в Оренбургской области. Приводятся физико-механические свойства исследуемого материала. Описывается лабораторная установка и экспериментальные исследования по разрушению асфальтитов свободными незатопленными струями жидкости. Обосновывается разработка месторождения способом скважинной гидродобычи.

**Ключевые слова**

Асфальтиты, скважинная гидродобыча, гидромониторные струи, размыв.

**Теория**

Российская Федерация занимает одно из ведущих мест по запасам асфальтитов. Асфальтиты нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Их используют в производстве битумных материалов, химической промышленности для производства различных органических соединений, смол и лаков, дорожном строительстве для повышения прочности и долговечности дорожного покрытия [1].

В бурении для приготовления буровых растворов на углеводородной основе (РУО) используются импортируемые природные асфальтиты (Иран), гильсонит (США), сульфированный асфальт (Китай), однако, исследованиями [3] установлена возможность применения отечественных асфальтитов в качестве компонента РУО.

В настоящее время наиболее крупным и известным месторождением асфальтитов в России является Ивановское месторождение Оренбургской области. В 2014-2015 годах компанией ОАО «Нефтьинвест» были проведены технологические испытания Ивановского асфальтита. Они показали, что он близок по составу и свойствам американскому и иранскому гильсониту, и имеет минимальное содержание минеральной составляющей. [4].

Природный асфальтит Ивановского месторождения на 99,9% состоит из уникального углеводородного полимера. Запасы данного месторождения оцениваются примерно в 10 млн тонн. Помимо этого, в нем содержится ванадий  $\sim 2,1-2,6$  кг/м<sup>3</sup>; никель  $-0,32-0,35$  кг/м<sup>3</sup>; железо  $-0,36-1,2$  кг/м<sup>3</sup>

Залежь Ивановского асфальтита [1] расположена на глубинах 400-420 м в отложениях верхней перми и представляет собой почти горизонтально расположенное монолитное пластовое тело мощностью от 1,4 до 7,2 м. В подошве асфальтит контактирует преимущественно с мощной (54,0...54,5 м) толщей каменной соли и локально – с ангидритами, а в кровле – с пропластками ангидритов и каменной соли. [2]

В 1967 г на заседании НТС при Оренбургском геологическом управлении рассматривался: "Технико-экономический доклад о целесообразности освоения Ивановского месторождения асфальтитов и проекта временных кондиций», но на сегодняшний день оно так и не вовлечено в народнохозяйственный оборот. Исходя из горно-геологических условий залегания месторождения, освоение его традиционными способами (открытый, подземный) на данном этапе нецелесообразно, но возможно за счет применения новых технических и технологических решений – в частности применения способа скважинной гидродобычи (СГД).

Для обоснования технологи СГД и определения параметров гидравлического разрушения асфальтитов Ивановского месторождения в научно-учебную лабораторию «Новые

гидротехнологии» кафедры «Геотехнологических способов и физических процессов горного производства» (МГРИ) была передана технологическая проба, отобранная из скважины № 2Т.

Гидравлическое разрушение (размыв) незатопленными свободными струями образца асфальтитов (плотностью -  $1,16 \text{ кг/м}^3$ , коэффициентом крепости – 1,2 по Протодьяконову и твердостью -1,3 по шкале Мооса) проводилось на лабораторной установке, оснащенной насосом, позволяющем создать давление (4 атм.) и струеформирующем устройством имитирующем коническую насадку гидромонитора диаметром 4 мм гидродобычного снаряда с расходом  $1,1 \text{ м}^3/\text{час}$ .

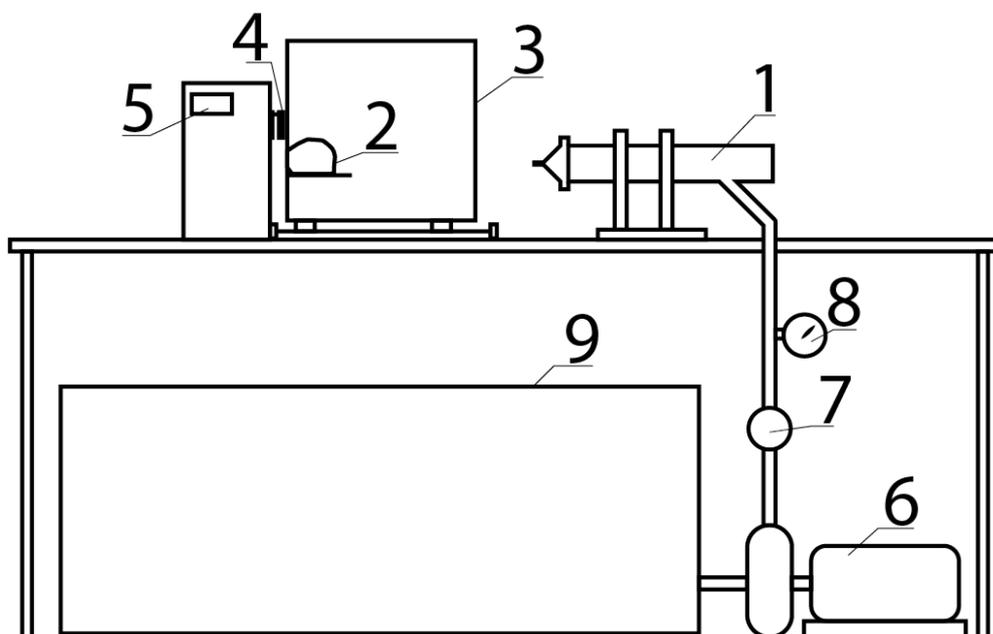


Рисунок 1. Лабораторный комплекс по размыву асфальтитов гидромониторными струями. 1 – гидромонитор; 2 – исследуемый образец; 3 – тележка на направляющих валах; 4 – тензодатчик (датчик давления); 5 – шкаф с электронным блоком управления базе процессора AtMega 320 для фиксации и записи данных; 6 – водяной насос; 7 – расходомер воды; 8 – манометр; 9 – зумпф с водой

Образец горной породы фиксировался внутри камеры (3) на специальной передвижной опоре, связанной с тензодатчиком (4) и электронным блоком (5), для определения силы удара струи (динамического воздействия), необходимого для разрушения минерала. Гидромонитор (1) устанавливался на расстоянии 0,5 м от образца (2). Жидкость отводилась по желобу (7) в зумпф (9), после чего поступала в насос (6). Струя гидромонитора создавая динамическое давление на исследуемый образец, заставляла тележку перемещаться. Упираясь в тензодатчик - алюминиевый брусок с резистором, который при изгибании меняет свое сопротивление, тележка передает давление, создаваемое гидромонитором. Гидродинамические свойства струи (динамическое давление на оказываемую преграду, расход жидкости и ее скорость после вылета из насадки) в реальном времени автоматически фиксировались манометром (9) и расходомером (8) и записывались электронным блоком управления (5), отображаясь на дисплее записывающего устройства.

Время воздействия гидромониторной струи на образец – 5 минут. Разрушение образца начиналось с откалывания незначительных фрагментов, увеличиваясь в течение времени (рис.2).

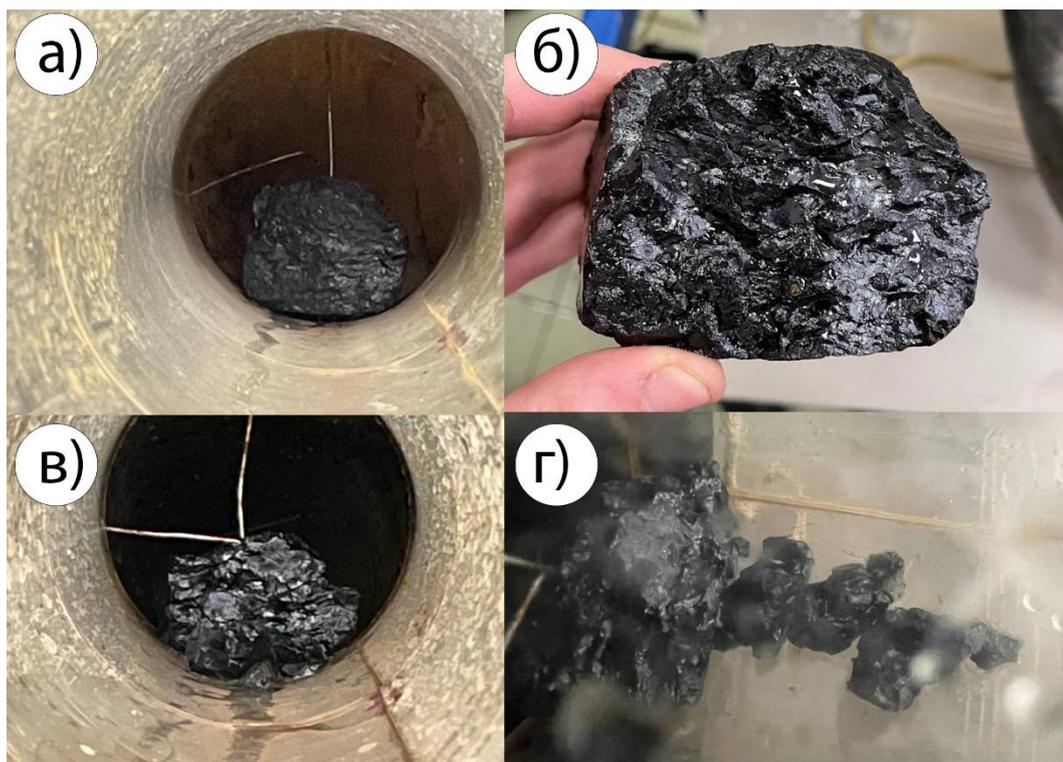


Рисунок 2. Процесс размыва асфальтитов свободными незатопленными гидромониторными струями. а, б) образец; в) первые минуты размыва; г) разрушенный образец

### **Выводы**

Экспериментальные исследования показали хорошую разрушаемость асфальтитов свободными незатопленными гидромониторными струями.

Однако, для применения метода СГД в условиях Ивановского месторождения необходимо провести дополнительные лабораторные исследования по разрушению асфальтитов затопленной струей, предложить конструкцию гидромонитора и параметры струеформирующего устройства, а также способ подъема разрушенной горной массы на поверхность от чего будет зависеть конфигурация гидродобычного агрегата, и конечном итоге объем извлекаемого полезного ископаемого из одной скважины.

### **Библиография**

1. Антипенко В. Р., Голубина О. А., Гончаров И. В., Носова С. В. К вопросу о природе Ивановского асфальтита Оренбургской области // Известия Томского политехнического университета. [2005-02] Том 308, №2, 2005
2. Антипенко В. Р. Состав фракции масел продуктов неизотермического акватермолиза высокосернистого природного асфальтита // Известия ТПУ. 2011. №3.
3. Заворотный В. Л., Люшин М. М., Кузнецов А. Е. Перспективы применения отечественных асфальтитов в качестве понизителя фильтрации в РУО // Материалы V Международной научно-практической конференции (XIII Всероссийской научно-практической конференции) "НЕФТЕПРОМЫСЛОВАЯ ХИМИЯ". Москва, 2018. с. 7-9.
4. Проценко Н. А., Чернов С. А., Топилина И. И. Получение битумов нефтяных дорожных вязких путем модификации нефтяного сырья асфальтитами // Инженерный вестник Дона, №1 (2017) [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_113\\_Procenko.pdf\\_d57dca211f.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_113_Procenko.pdf_d57dca211f.pdf)

*Инновационные технологии в горном деле*

*Докладчик: Нагайцев Н.А.\* (МГРИ, nikitnag111@gmail.com),*

*Соавтор: Шендеров В.И. (МГРИ, shenderovvi@mgri.ru)*

**Аннотация**

Инновационные технологии в горном деле представляют собой современные подходы и инструменты, применяемые для улучшения процессов добычи полезных ископаемых и обеспечения безопасности работников на горных предприятиях.

Инновационные технологии включают в себя автоматизацию производственных процессов, использование дронов и робототехники для исследования и контроля состояния горных выработок, а также разработку инновационных методов обогащения руд и заботу об экологической безопасности. Применение инновационных технологий в горном деле способствует повышению эффективности производства, снижению затрат и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова**

Инновационные технологии, автоматизация, эффективность, безопасность.

**Теория**

**Инновационные технологии на открытых горных работах:**

В настоящее время, в Российской Федерации, открытым способом добывается 65% угля, 92% железной руды, свыше 70% руд цветных металлов, 100% горно-химического фосфоросодержащего сырья, 100% сырья для производства строительных материалов, около 97% процентов алмазосодержащих руд.

Основными технологическими процессами горных работ являются:

- Выемка пустой породы или полезного ископаемого;
- Транспортировка горной массы;
- Складирование руды или пустой породы.

В области транспортировки горных пород и полезного ископаемого в настоящее время ведётся разработка автосамосвалов на дистанционном или автоматическом управлении. За рубежом лидером по разработке данных машин является кампания Volvo, которая в 2017 году представила миру полностью автономный автосамосвал серии «НХ». Первый прототип, НХ01, служил лишь для доказательства возможности концепции. В данный момент Volvo разработали прототип НХ02, который на сегодняшний день проходит испытания. На данный момент, результаты испытания следующие: сокращение выбросов углерода до 95% и общей стоимости владения до 25%.

В нашей стране лидером разработки является «Камаз», разрабатывающий гибридный автоматический погрузчик «Юпитер-30».



Рисунок 1. Автосамосвал Камаз «Юпитер-30»

Автосамосвал оснащён камазовским рядным шестицилиндровым двигателем 910.12-450 рабочим объёмом 11,9 л. Двигатель приводит в действие электрический генератор, который даёт энергию для тягового электродвигателя и заряжает тяговые аккумуляторные батареи. Полный привод при отсутствии раздаточной коробки осуществлён благодаря применению в самосвале двух тяговых электродвигателей – по одному на каждый мост.

Длина самосвала – 8769 мм, ширина – 2709 мм, высота – 3499 мм. Снаряжённая масса шасси – 23 т, оба моста (передний и задний) имеют одинаковую нагрузку – до 25 т каждый. Автомобиль способен перевозить груз весом до 30 т в полностью автоматическом, либо дистанционном режиме. При этом скорость его движения ограничена до 56 км/ч.

Самосвальная платформа с днищем и боковинами из специальной стали увеличенной толщины используется для перевозки добываемой руды или вскрышных пород. Благодаря её обогреву отработавшими газами двигателя решён вопрос с примерзанием мокрого зимнего грунта. Объём самосвальной установки – 21,5 куб. м.

На данный момент испытания автосамосвала «Юпитер-30» ещё ведутся, конечная стоимость одной машины не разглашается.

#### **Инновационные технологии на подземных горных работах**

На данный момент была разработана система автоматического управления погрузо-доставочными машинами (САУ ПДМ).

Основными целями создания СДУ ПДМ являются повышение безопасности ведения горных работ за счет вывода персонала основных профессий из рабочих зон, характеризующимися вредными и опасными условиями труда на поверхность, с созданием безопасных и комфортных рабочих мест, повышение эффективности работы ПДМ, в том числе:

- повышение производительности;
- сокращение эксплуатационных затрат;
- сокращение аварийных простоев;

- повышение срока службы отдельных узлов и агрегатов и оборудования в целом. В САУ ПДМ реализуется:
- Управление в автоматическом, полуавтоматическом и дистанционном режимах ПДМ с удаленного рабочего места оператора
- Непрерывный контроль параметров состояния оборудования
- Передача, обработка, хранение и отображение оперативной информации на рабочем месте оператора
- Визуальный контроль и управление несколькими машинами одновременно
- Оперативное переключение между ПДМ для осуществления операций в ручном режиме

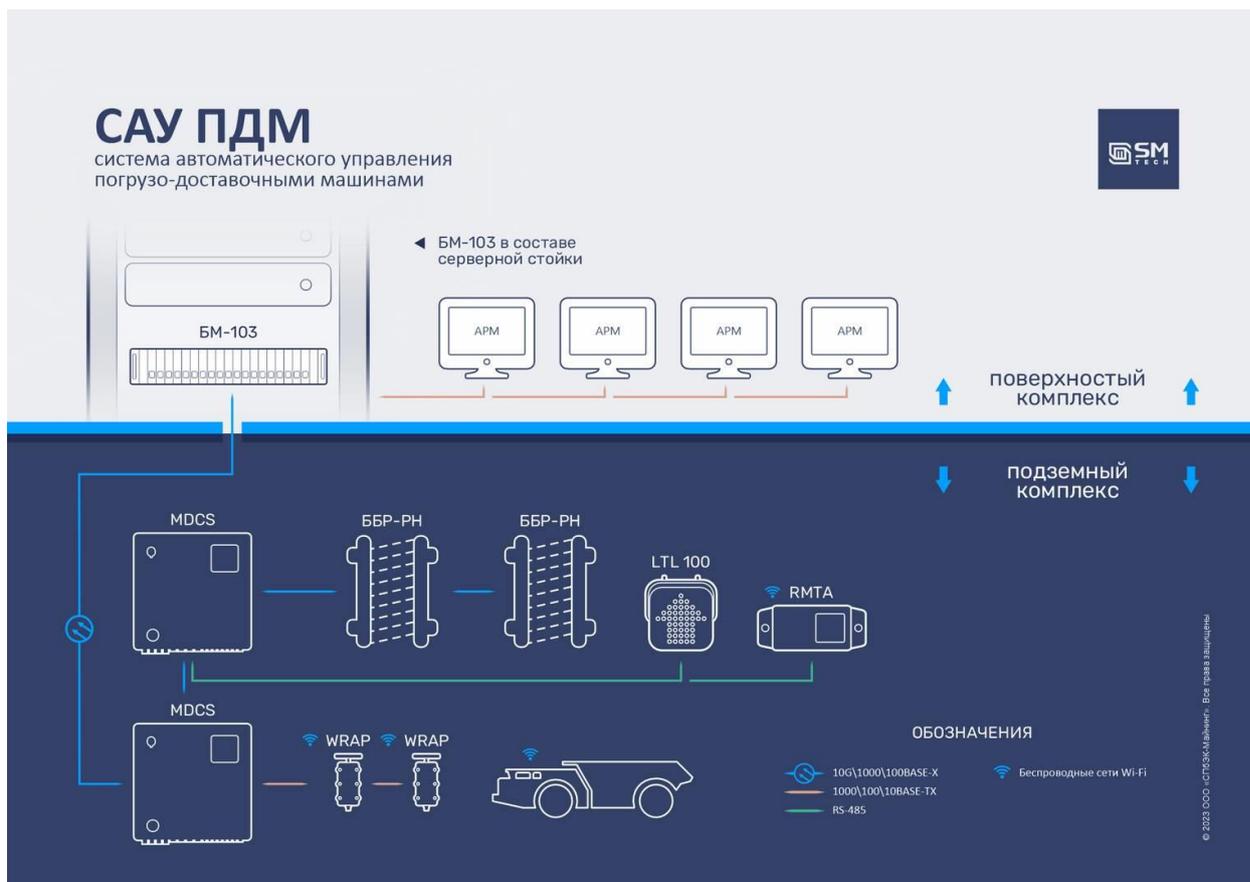


Рисунок 2. Инфраструктура системы

Основными узлами системы являются:

- Центр автоматизации - рабочее место оператора дистанционного управления ПДМ.
- Бортовые комплекты оборудования для реализации функций дистанционного управления и мониторинга ПДМ.
- Оборудование безопасности маршрутов - осуществляет управление системой барьеров и регистрацию ПДМ на блок-участках.
- Оборудование управления трафиком - осуществляет разделение рабочей зоны на управляемые и неуправляемые блок-участки для организации безопасного движения ПДМ.
- Оборудование канала передачи данных - обеспечение беспроводной связи с ДМ на всей рабочей территории выработки.

### **Выводы**

Внедрение автосамосвалов Камаз «Юпитер-30» значительно увеличит эффективность транспортировки полезных ископаемых и вскрышных пород, повысит безопасность ведения открытых горных работ за счёт уменьшения количества персонала, осуществляющего деятельность в процессе транспортировки.

Внедрение системы автоматического управления погрузочно-доставочными машинами позволит повысить производительность процесса транспортировки полезного ископаемого и вскрышных пород, сократит эксплуатационные затраты и аварийные простои, повысит срок службы узлов и агрегатов.

### **Библиография**

1. Основные направления развития механизации открытых и подземных горных работ, А.А. Кулешов, Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006 г.
2. Volvoce.com - Volvo CE unveils the next generation of its electric load carrier concept – [<https://www.volvoce.com/global/en/news-and-events/news-and-stories/2017/conexpo-vegas-2017/volvo-ce-unveils-the-next-generation-of-its-electric-load-carrier-concept/>]
3. Kamaz.ru - Камаз «Юпитер» – новинка в линейке карьерных автосамосвалов - [[https://kamaz.ru/press/releases/kamaz\\_yupiter\\_novinka\\_v\\_lineyke\\_karenykh\\_samosvalov/](https://kamaz.ru/press/releases/kamaz_yupiter_novinka_v_lineyke_karenykh_samosvalov/)]
4. Система автоматического управления погрузочно-доставочными машинами (САУ ПДМ) – [<https://smtech.ru/kompleksnye-resheniya/robotizaciya/distancionnoe-upravlenie-pogruzochnymi-ustrojstvami/>]

*Применение компьютерной системы регистрации свинчивания трубных соединений  
Рожкова Д.С.\* (Тюменский индустриальный университет, [darepok@bk.ru](mailto:darepok@bk.ru)),  
Распопова М.В. (Тюменский индустриальный университет, [raspopovamv@tyuiu.ru](mailto:raspopovamv@tyuiu.ru))*

**Аннотация**

С усложнением условий добычи нефти и газа и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ужесточаются требования к качеству труб, появляется необходимость в разработке новых технологических решений. Продуктивные пласты современных разрабатываемых месторождений располагаются все глубже и во все более сложных геологических условиях. Для повышения нефтеотдачи пласта и сокращения общего количества скважин на проекте строятся горизонтальные скважины. Развитие технологии наклонно-направленного и горизонтального бурения привело не только к появлению нового бурового оборудования (роторно-управляемые системы, телеметрия и т.д.), но и разработке новых резьбовых соединений и подходов их расчета для выбора к проекту с учетом жесткости колонны на изгиб и контактных сил взаимодействия колонны со стенкой скважины

Надежность бурильных, обсадных и насосно-компрессорных (НКТ) труб в значительной степени определяется типом и качеством резьбовых соединений. Качество резьбового соединения обеспечивает работоспособность всей колонны. Изменение условий бурения, а также смещение центров нефтегазодобычи в новые регионы (Восточная Сибирь и в перспективе — шельф) заставили нефтяников и буровиков поновому взглянуть на вопросы, связанные с резьбовыми соединениями труб. Во многом в связи с этим в России постепенно стало развиваться направление премиальных резьбовых соединений, т.е. резьб с повышенными техническими и эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова**

Резьбовое соединение, трубы, свинчивание, компьютерная система, ключ.

**Теория**

Правильный момент свинчивания бурильной и обсадной трубы является одним из важнейших параметров для успешного и безаварийного строительства скважины. Большинство ситуаций, связанных с негерметичностью обсадных колонн и обрывом бурильных труб, возникают из-за несоблюдения оптимального момента свинчивания резьбовых соединений.

Для свинчивания труб с премиальными резьбами используются машинные ключи. Машинный ключ должен иметь регулятор скорости вращения и обеспечивать скорость 1 об/мин на заключительном этапе свинчивания. Ключ должен иметь захваты под конкретный размер труб, чтоб обеспечить большую площадь контакта с поверхностью трубы. В процессе свинчивания должна быть обеспечена возможность постепенного опускания ключа. Оборудование для свинчивания должно обеспечивать крутящий момент, превышающий не менее чем на 30% рекомендуемый максимальный момент свинчивания для избежания рывков при докреплении резьбового соединения. Для обеспечения необходимых параметров при свинчивании-развинчивании соединений, подвесные гидравлические ключи комплектуются автоматизированными системами контроля в реальном времени. Все параметры работы ключа отображаются в виде графиков, что позволяет легко задавать параметры свинчивания, управлять и оценивать его качество [1]. Одна из новейших и перспективных инновационных цифровых разработок – это компьютерная система контроля системы свинчивания «ЦИСЛАБ», предназначенная для регистрации крутящего момента в процессе свинчивания трубных соединений и предотвращения приложения излишнего крутящего момента к трубному соединению [2]. Система состоит из газонепроницаемого компьютерного блока с сенсорным монитором (рис. 1).



Рисунок 1. Компьютерный блок системы ЦИСЛАБ

На монитор выводится вся необходимая информация:

- данные по моментам,
- плечо ключа,
- коэффициент датчика и т.д.

Данные меняются от типа и размера обсадной колонны, а также при смене гидравлического ключа. Посредством подачи сигнала срабатывает электромагнитный клапан и масло не поступает на гидравлический ключ, а перепускается через клапан и поступает обратно в гидравлическую станцию. Во время свинчивания трубы, на датчик действует сила сжатия или растяжения, в зависимости от ключа. Данные с датчика поступают в блок управления, затем сигнал поступает в компьютер, где он отображается на мониторе в виде графика.

Когда черная линия доходит до красной параллельной линии, происходит срабатывание клапана отсекающего, что соответствует достижения оптимального момента свинчивания. На графике видно, что линия идет не равномерно, а имеет просадку, это происходит, когда оператор ключа переключил с повышенной на пониженную передачу (рис. 2).

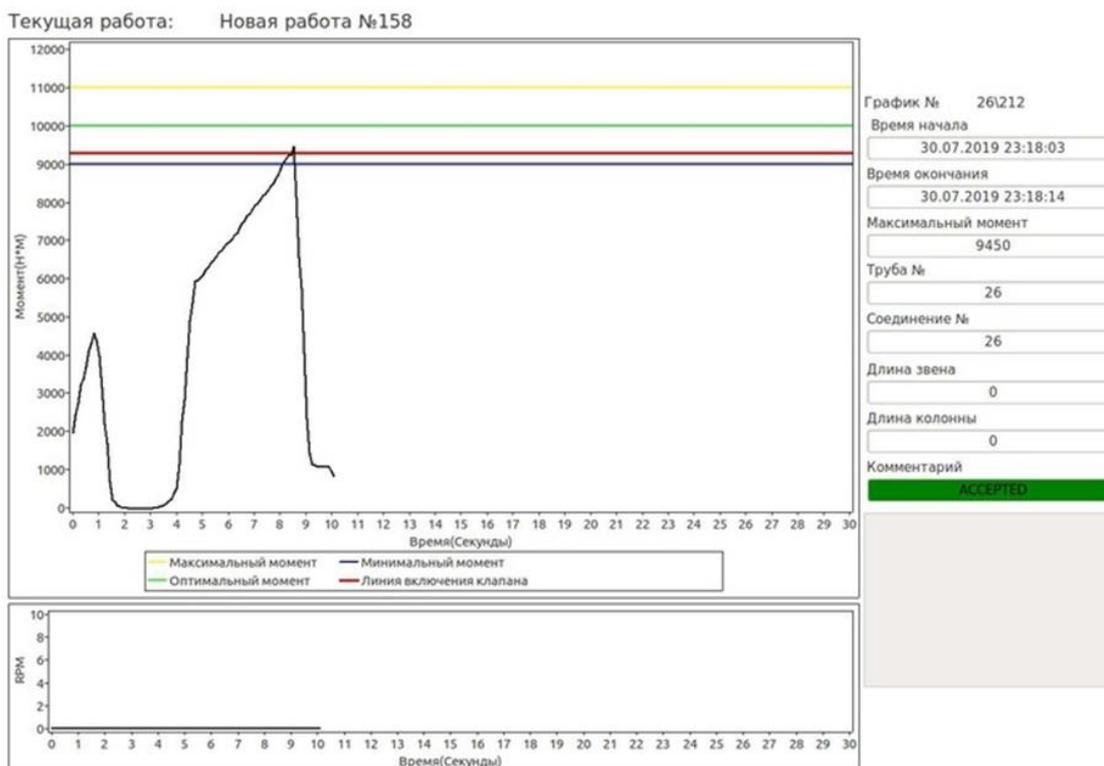


Рисунок 2. График свинчивания резьбовых соединений системы ЦИСЛАБ

### Выводы

Представленный способ передачи данных позволяет создать высокоскоростной, двусторонний канал связи, а также передавать большой объем информации в режиме реального времени [3]. Сборка соединения с использованием системы контроля крутящего момента и оборотов ЦИСЛАБ, и построения графика свинчивания является методом, гарантирующим качественное свинчивание и обеспечивающим заявленные производителем технические характеристики соединения. По характеру изменения кривых и их сравнению делают заключение о сопротивлении усталости резьбового соединения и определяют рациональный момент свинчивания для испытуемого соединения [4].

### Библиография

1. Белов А. С. Управление и контроль свинчиванием трубных соединений // инновационная наука, 2020. - №11. – С. 23-25
2. Система контроля момента свинчивания: [сайт]. - URL: <https://www.cislab.ru/products/torcs/> (дата обращения: 12.03.2024). - Текст : электронный.
3. Дерендяев В. В. Разработка высокоскоростной системы передачи данных при управлении траекторией ствола скважины в процессе бурения. - Текст : непосредственный // бурение и нефть. - 2023. - № 1. - С. 41-43.
4. Песин М. В., Макаров В. Ф., Халтурин О. А. Расчет и моделирование рационального момента затяжки при сборке бурильных труб // Экспозиция Нефть Газ, 2022. - № 7. - С. 50–54. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-7-50-54

**Компоновка заканчивания горизонтальной скважины с малогабаритным хвостовиком  
Рожкова Д.С.\* (Тюменский индустриальный университет, [darenok@bk.ru](mailto:darenok@bk.ru))  
Овчинников В.П. (Тюменский индустриальный университет, [ovchinnikovvp@tyuiu.ru](mailto:ovchinnikovvp@tyuiu.ru))**

**Аннотация**

С целью максимизации извлечения углеводородного сырья из баженовской свиты предлагается бурение на репрессии горизонтальной скважины с длиной горизонтального участка 2000 метров и последующей стимуляцией пласта методом многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП). Увеличение длины горизонтального участка ствола и числа стадий МГРП приводит к повышению начальных дебитов и продуктивности ГС [1], поэтому вопрос разработки компоновки заканчивания горизонтальной скважины стоит достаточно актуально.

**Ключевые слова**

Заканчивание скважин, компоновка, гидроразрыв пласта, проппант, разбуривание, пакер.

**Теория**

Основные требования к компоновке заканчивания:

- Беспроблемная закачка минимум 20 стадий МГРП;
- Гарантированный качественны спуск и активации компоновки;
- Надежное разделение стадий МГРП;
- Максимальный охват пласта стимуляцией для создания проводящего SRV (PSRV)

(простимулированные зоны естественной микротрещиноватости вследствие проведения ГРП).

Для соблюдения требований к компоновке заканчивания предлагается использовать компоновку диаметром 127\*9,2мм, длиной 2000 метров с заколонным разделением стадий с помощью гидромеханических пакеров, компоновка заканчивания нецементируемая с опцией вращения для возможности беспрепятственного прохождения участка максимального угла набора кривизны [2].

Компоновка делится на 2 этапа освоения (стимуляции пласта):

Этап 1 – 1000 метров компоновки хвостовика (от забоя) состоит из 15 фрак-портов ГРП (рис. 1).



Рисунок 1. Схема 1-го этапа освоения (стимуляции пласта) компоновки заканчивания скважины

Принцип действия:

- Фрак-порты устанавливаются в муфтах хвостовика при спуске в скважину;
- После сброса шара и его прокачки, шар ударяется о седло заглушки муфты ГРП, открывает циркуляционное отверстие и перекрывает нижний интервал;
- Производится ГРП, при продавке проппанта бросается следующий шар большего диаметра и операция повторяется;

• После выполнения всех стадий ГРП используемые шары растворяются, что обеспечивает приток скважинного флюида в хвостовик скважины.

Этап 2 – последующие 1000 метров компоновки хвостовика представляет собой целиковую трубу с заколонными гидромеханическими пакерами (рисунок 3).

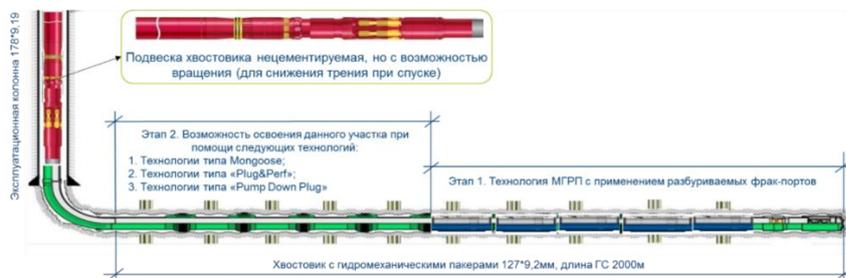


Рисунок 2. Схема 2-го этапа освоения (стимуляции пласта) высокотехнологичной компоновки заканчивания скважины

В процессе эксплуатации продуктивность скважины снижается, в частности, вследствие изменения проводящих характеристик трещин ГРП из-за засорения механическими примесями, поступающими из пласта, и деформации проппантной пачки («вмятие» проппанта). Наиболее эффективным методом восстановления продуктивности скважин с МСГРП представляется проведение повторного ГРП. Эффективность повторных операций ГРП через 3–5 лет после предыдущей стимуляции подтверждена в наклонно-направленных скважинах. Рассматриваемая технология детерминирована реализацией технологических решений, которые в совокупности позволяют реализовывать контролируемую селективную закачку содержащей проппант или кислоту жидкости в избранные интервалы горизонтального ствола скважин. При этом процесс закачки должен характеризоваться последовательностью, периодичностью [3].

Для реализации возможности повторной стимуляции пласта методом проведения повторного ГРП предлагается применить технологию с малогабаритным хвостовиком (рисунок 3).

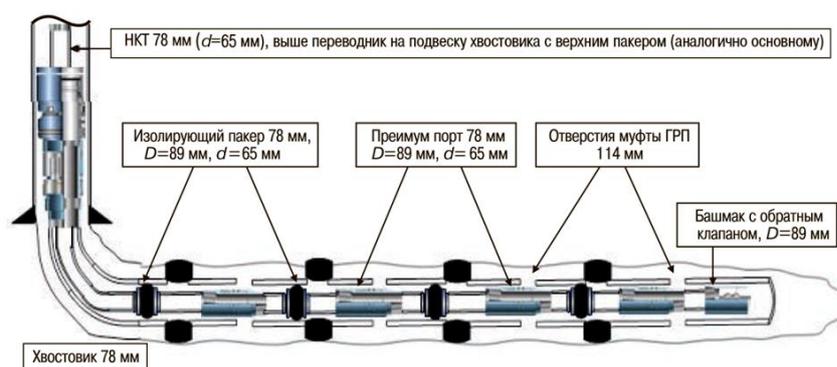


Рисунок 3. Схема компоновки с малогабаритным хвостовиком

Технология предусматривает спуск в горизонтальную часть ствола малогабаритной компоновки. Перед повторной операцией ГРП требуется разбурить все муфты ГРП и шары (на гибких насосно-компрессионных трубах (ГНКТ) или НКТ при бригаде КРС); диаметр фреза

должен быть максимально возможным для использованных муфт ГРП и хвостовика горизонтальной части.

В истечении времени (5-7 суток) набухающие заколонные пакера за счет реакции уплотнительных элементов со скважинным флюидом набухают и плотно прилегают к внутренним стенкам предыдущего хвостовика 127мм чем обеспечивает разобщение интервалов между муфтами ГРП.

### **Выводы**

Данная компоновка заканчивания позволит максимизировать извлечения углеводородного сырья из баженовской свиты на весь период эксплуатации скважины, также компоновка будет рентабельна для компаний осуществляющих промышленную эксплуатацию баженовской свиты за счет своей низкой цены в отличие от более затратных (бурение нового ствола или скважины) или зарубежных аналогов технологий [4].

### **Библиография**

1. Аржиловский, А. В. Опыт применения горизонтальных скважин с многостадийным гидроразрывом пласта в условиях низкопроницаемых отложений тюменской свиты месторождений ООО «РН-Уватнефтегаз» / А. В. Аржиловский, А. С. Грищенко, Д. С. Смирнов, С. А. Корниенко, Р. Р. Байсов, В. В. Овчаров, Р. Р. Зиязев // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 74-76.
2. Павлюков Н.А., Павлов В.А., Лапин К.Г., Волгин Е.Р., Торопов К.В. Технология проведения ГРП в высокопроницаемых и слабосцементированных отложениях // Нефтяная провинция.-2021.-№4(28).-Часть 1.-Спецвыпуск.-С.186-203. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.186-203>
3. Совершенствование технологии освоения скважин после многостадийного ГРП / Г. А. Шлеин, А. Н. Калинин, А. В. Гречкань [и др.]. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 44 (230). — С. 49-51. — URL: <https://moluch.ru/archive/230/53259/> (дата обращения: 14.03.2024).
4. Создан новый способ добычи «тяжелой» нефти : [сайт] <https://sectormedia.ru/news/nauka-neft-i-gaz/sozdan-novyy-sposob-dobychi-tyazheloy-nefti/> 11.02.2021

*Анализ технико-технологических мероприятий, направленных на снижение стоимости  
строительства метаноугольных скважин  
Селезнева В.А.\* (МГРИ, celezneva00@mail.ru),  
Попова Э.А. (МГРИ, popovaea@mgri.ru),  
Тунгусов С.А. (МГРИ, tungusovsa@mgri.ru)*

**Аннотация**

Технологии бурения скважин для добычи метана угольных пластов (МУП) являются важной основой для достижения эффективной эксплуатации МУП. Одна из основных проблем в разработке метаноугольных месторождений – это их низкая экономическая эффективность в сравнении с разработкой традиционных месторождений. В этой работе проанализированы укрупненные стоимости технологий строительства скважин на традиционных месторождениях и предлагаемая технология пневмоударного бурения для добычи метана из угольных пластов, сделаны выводы, что применение пневмоударного бурения позволит получить экономический эффект.

**Ключевые слова**

Метан угольных пластов, укрупненный анализ, технико-технологические решения, экономическая эффективность, пневмоударное бурение, капитальные вложения.

**Теория**

На сегодняшний день в России ресурсы метаноугольных пластов превышают ресурсы газа плотных песчаников и сланцевого газа, что является важным фактором для МУП в развитии добычи газа [1]. Растущая потребность промышленного развития в разработке газосодержащих угольных пластов, возможность получения экономических эффектов в угольной промышленности, а также дополнительных социальных, экологических и научно-технических результатов, актуализируют необходимость поиска новых методических подходов к извлечению и использованию угольного метана.

Рентабельность строительства скважин по добыче метана угольных пластов, как и добыча любого другого полезного ископаемого зависит от следующих основных статей затрат: капитальных вложений, включающих затраты на строительство скважин, обустройство площадок, затраты на линейные объекты и др. и эксплуатационных затрат.

Эксплуатационные затраты являются неотъемлемой частью расчета рентабельности строительства скважин и включают, в том числе, затраты на обслуживание скважинного глубинно-насосного оборудования (ГНО).

В ходе сравнительного анализа эксплуатационных особенностей метаноугольных скважин и обычных газовых скважин были выявлены следующие основные отличия:

- газ в угольном пласте находится в сорбированном состоянии, в отличие от традиционных газовых запасов;
- эксплуатация метаноугольных скважин производится после установки подземного оборудования и осуществляется с помощью механизированных (откачка пластовой жидкости) и фонтанных (транспортировка свободного газа с использованием энергии пласта) методов;
- глубина традиционных газовых скважин может варьироваться в широком диапазоне от 800 м до 4000 м и более, в то время как метаноугольные скважины обычно имеют глубину от 600 до 1000 м, с максимальной глубиной до 1300 м по вертикали;
- дебит традиционных газовых скважин может достигать до 2 млн м<sup>3</sup>/сут и выше, в среднем составляя 130–150 тыс. м<sup>3</sup>/сутки в зависимости от месторождения, стадии эксплуатации, технологического режима эксплуатации и других факторов. Дебит метаноугольных скважин обычно намного ниже и составляет около 1-10 тыс. м<sup>3</sup>/сут [4] и зависит от размеров угольного пласта, степени его насыщенности газом и других факторов;

- давление на устье традиционных газовых скважин может быть очень высоким, достигая 35 МПа и выше, что значительно превышает давление в метаноугольных скважинах, где оно составляет от 0,05 до 0,5 МПа;
- в традиционных газовых скважинах проведение работ по увеличению дебита газа вызвано различными факторами, такими как ФЕС, риск прорыва ГВК, экономическая целесообразность и другие. В метаноугольных скважинах увеличение дебита газа обязательно. Исключение может быть только в случае, если скважина пробурена через угольный пласт или проницаемость угольного пласта настолько высока, что нет необходимости в технологиях увеличения дебита газа;
- в традиционных газовых скважинах недопустимо взаимовлияние между ними, а для эффективной добычи метана важно создать единую депрессионную воронку с помощью скважин, осваивающих один и тот же объект. При этом расстояние между стволами скважин, добывающих метан, не должно быть слишком маленьким и не должно превышать двух радиусов зоны влияния скважины, которую можно представить, как усеченный конус, равной интервалу освоения угольных пластов и с радиусом, равным радиусу влияния скважины;
- освоение традиционных газовых скважин отличается от освоения метаноугольных скважин как технологическим процессом, так и по времени. Освоение традиционных скважин должно занимать до 4 суток, освоение скважин для добычи МУП занимает в среднем не менее 90 суток.

В результате проводимого исследования вариантов технологии бурения метаноугольных скважин предложено технико-технологическое решение по ударно-вращательному бурению, в том числе, строительство скважин с начальным зенитным углом. Данный подход позволяет располагать требуемое количество скважин на кустовой площадке и осваивать метаноугольное месторождение вертикальными и наклонными прямолинейными скважинами с интенсификацией методом ГРП, что позволит сократить затраты на строительство скважин на метаноугольных месторождениях.

Экономическая целесообразность строительства скважин с применением ударно-вращательного способа с продувкой на метаноугольных месторождениях подтверждена проведенным «Укрупненным технико-экономическим анализом стоимости строительства скважин с различными конструкциями» (Рис. 1).

Проанализировав процентное соотношение затрат, предусмотренных в главах сводного сметного расчета [2] можно сделать вывод о том, что глава 2 «строительство вышки и монтаж оборудования», глава 3 «бурение и крепление скважин», глава 5 «промыслово-геофизические работы», глава 7 «транспортировка грузов и вахт до буровой» наиболее объемны по затратам и включают в себя более 70% стоимости строительства. Стоит отметить, что затраты глав 2, 3, 7 напрямую зависят от комплекса бурового оборудования.



Рисунок 1. Укрупненный технико-экономический анализ стоимости строительства скважин с различными конструкциями на метаноугольных месторождениях

В результате укрупненной оценки [3] применения предложенных технико-технологических решений по строительству вертикальных и наклонно направленных скважин удастся снизить стоимость строительства:

- Стоимость вертикальной скважины по ранее разработанной проектной документации строительства на Нарыкско - Осташкинском метаноугольном месторождении Кузбасса составляет 68 598,6 тыс. руб. В свою очередь стоимость строительства вертикальной скважины по рассмотренному пневмоударному способу бурения составит 19 941,6 тыс. руб. Таким образом стоимость строительства вертикальной скважины снижается на 70,93 %.

- Стоимость наклонно-направленной скважины по ранее разработанной проектной документации строительства на Талдинском метаноугольном месторождении Кузбасса составляет 60 701,14 тыс. руб. В свою очередь стоимость строительства наклонно-направленной скважины по рассмотренному пневмоударному способу бурения составит 20 492,09 тыс. руб. Таким образом стоимость строительства вертикальной скважины снижается на 66,24 %.

Высокий процент снижения затрат связан с различным составом применяемого оборудования при ударно-вращательном бурении (пневмоударном способе) и бурении скважин с менее грузоподъемной установкой в сравнении с аналогичными скважинами, проектируемыми ранее.

### **Выводы**

Проведенный в работе укрупненный технико-экономический анализ укрупненной стоимости показал, что пневмоударное бурение позволяет сократить стоимость строительства скважин на 66,24% – 70,93%. Особенностью технологии извлечения газа из метаноугольных месторождений является срок эксплуатации скважин. Традиционные газовые скважины могут эксплуатироваться на протяжении нескольких десятилетий, в то время как метаноугольные скважины имеют более короткий срок эксплуатации из-за ограниченности угольного пласта и его газонефтепроницаемости. Таким образом, в расчетах экономической эффективности добычи метана из угольных пластов время эксплуатации должно рассматриваться как ограничивающий фактор.

### **Библиография**

1. Пармузин П.Н., Определение экономической эффективности проектов дегазации угольных шахт для государства и компаний-участников// Бизнес. Образование. Право. 2024;
2. Сборник элементных сметных норм на строительство скважин на нефть и газ в ПАО «Газпром», г. Санкт-Петербург 2022;
3. Селезнева В.А., Васильев А.Н., Тунгусов С.А., Шишляев В.В., Пути оптимизации строительства метаноугольных скважин с учетом укрупненной оценки технико-экономических показателей// Тезисы докладов. X научно-практическая конференция молодых специалистов и работников ООО "Газпром добыча Кузнецк". Кемерово, 2023;
4. Deli Gao, Yansen Bi & Bao'an Xian, Technical advances in well type and drilling & completion for high-development of coalbed methane in China// Natural Gas Industry B 9 (2022) 561–577.

***Оптимизация потерь промывочной жидкости за счет применения современных  
технических средств при бурении скважин  
Тухватуллин Б.Ф.\* (МГРИ, [tbf@mgri.ru](mailto:tbf@mgri.ru)),  
Богданов П.В. (МГРИ, [bogdanovpv@mgri.ru](mailto:bogdanovpv@mgri.ru))***

**Аннотация**

В ходе процесса бурения скважин часто возникают различные проблемы, и одной из наиболее распространенных является катастрофическое поглощение промывочной жидкости. Она используется как основной агент для очистки забоя скважины от бурового шлама. Во многих буровых компаниях затраты времени на устранение последствий этого поглощения достигают до 30% от общего рабочего времени на бурение скважин.

Основная причина поглощения промывочной жидкости в процессе бурения скважин заключается в возникновении перепада давления в системе "массив-скважина". Это происходит, когда давление столба промывочной жидкости в скважине превышает давление в массиве, что запускает процесс поглощения [1].

**Ключевые слова**

Гидротранспорт, загрузочные аппараты вихревого пульпоприготовления.

**Теория**

Все мероприятия, направленные на устранение поглощения промывочной жидкости в процессе бурения скважин, сосредотачиваются на снижении или предотвращении перепада давления в системе "поглощающий массив - скважина". Для этого используются два основных подхода: изменение характеристик промывочной жидкости или изоляция поглощающих пор и трещин.

В первом случае методы обычно приводят к положительным результатам только при малой раскрытости трещин и низкой проницаемости массива. Однако при высокой интенсивности поглощения требуется использовать метод, основанный на изоляции путей проникновения промывочной жидкости [2].

В настоящее время для введения тампонажных растворов в скважины с целью изоляции путей потери промывочной жидкости используются гидравлические и механические средства. Гидравлическими средствами являются цементировочные агрегаты. Однако у них есть свои недостатки, такие как короткий срок службы, ограниченная производительность и возможность перекачки только однородных смесей.

Механическими средствами доставки являются тампонажные устройства. Несмотря на их простую конструкцию и некоторые преимущества, их применение ограничено из-за снижения эффективности и надежности при работе с высокой интенсивностью поглощения [3].

Одним из перспективных технических средств для доставки тампонажных материалов в поглощающие интервалы являются загрузочные аппараты, которые представляют собой технические устройства, которые широко используются в промышленности для транспортировки сыпучих материалов по гидравлическим системам. Они способны эффективно и надежно доставлять материалы на большие расстояния и в различные места назначения. В контексте бурения скважин загрузочные аппараты применяются для введения тампонажных растворов в зоны поглощения, где они выполняют роль изоляционного материала, предотвращая проникновение промывочной жидкости в окружающие пористые образования.

Среди различных конструкций загрузочных аппаратов выделяется устройство, разработанное в МГРИ. Оно основано на действии спутно-закрученных потоков, что позволяет обеспечить непрерывную подачу тампонажной смеси с большим количеством твердых частиц различного размера. Этот метод обеспечивает эффективное заполнение поглощающих

интервалов и создание надежного барьера, который предотвращает проникновение промывочной жидкости в зоны поглощения [4].

Важным преимуществом данного аппарата является возможность регулирования плотности смеси путем изменения подачи напорной воды. Это позволяет адаптировать процесс подачи материалов к конкретным условиям скважины и обеспечивает гибкость в решении задач по ликвидации поглощений.

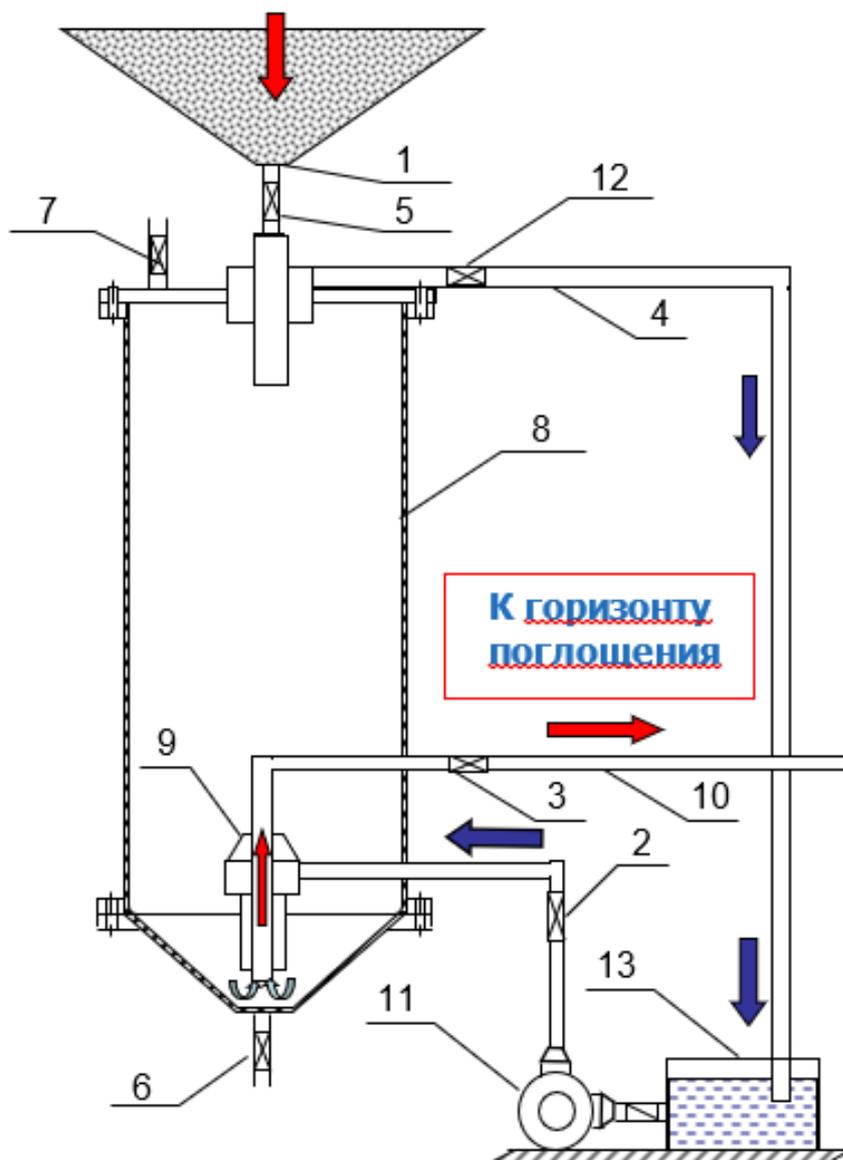


Рисунок 1. Технологическая схема загрузочного аппарата с вихревым пульпоприготовлением для напорной подачи материала в скважину в зону поглощения: 1 – шиберная заслонка; 2, 3, 4 – задвижка (клапан); 5 – задвижка для загрузки твердого; 6 – задвижка для слива; 7 – предохранительный клапан с патрубком; 8 – рабочая емкость; 9 – узел создания закрученного потока; 10 – пульповод; 11 – водяной насос; 12 – сливной трубопровод; 13 – накопительная емкость

Таким образом, разработанный в МГРИ загрузочный аппарат представляет собой перспективное техническое средство для решения проблем, связанных с поглощением

промывочной жидкости в процессе бурения скважин. Его возможности непрерывной подачи высоконасыщенной смеси с твердыми частицами и регулирование ее плотности делают его эффективным инструментом для обеспечения надежной изоляции поглощающих интервалов.

### **Выводы**

Для успешной борьбы с поглощением промывочной жидкости в процессе бурения скважин необходимо применять эффективные методы управления давлением в системе. Это включает в себя регулирование давления промывочной жидкости и обеспечение стабильности параметров внутри скважины. Кроме того, современные технические средства доставки тампонажных материалов играют ключевую роль в предотвращении поглощений. Они способны эффективно и точно доставлять материалы в нужные участки скважины, обеспечивая создание защитного барьера.

Разработка новых устройств, таких как загрузочные аппараты с вихревым пульпоприготовлением, является важным шагом в повышении эффективности и надежности работ по ликвидации поглощений в скважинах. Эти устройства обладают передовыми технологиями, которые позволяют обеспечить оптимальную подачу тампонажных материалов и точно регулировать их параметры. Такие инновационные подходы способствуют более эффективной защите скважин от поглощений и снижению вероятности возникновения проблемных ситуаций в процессе бурения.

### **Библиография**

1. Дробаденко В.П., Салахов И.Н. Особенности определения расходно-напорных характеристик грунтонасосов при работе на гидросмесях различных плотности и грансостава // Недропользование XXI век. 2020. № 6 (89). С. 122-131
2. Нурок Г. А. // Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ // М.: Недра, 1985. -471 с
3. Воробьев А. Е. Основные проблемы кучного выщелачивания золота из техногенного минерального сырья // ГИАБ. 2000.
4. Фазлуллин М. И. Кучное выщелачивание благородных металлов // -М.: Издательство Академии горных наук, 2001. -647 с.

***Разработка параметров наклонно-направленной добывающей скважины в зоне аномально  
высоких пластовых давлений с использованием геомеханических моделей***

*Ходяев И.А.\* (МГРИ, ivkhodyayev@mail.ru),  
Вайнерман Б.П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)*

**Аннотация**

Нефтегазоносные бассейны с наличием аномально высокого пластового давления (АВПД) представляют широкое распространение в современной практике. Примерами таких месторождений являются Западная Сибирь, Южный Каспий, Волго-Уральские территории, Персидский и Мексиканский заливы, и другие. Непредвиденные последствия вскрытия пласта с неучтенным АВПД могут включать выбросы, фонтанирование и даже полную потерю скважины и буровой установки.

Одним из признаков АВПД является отклонение порового давления от гидростатического. Однако на сегодняшний день нет прибора, который позволял бы непрерывно измерять пластовое давление. Измерения во время бурения возможны только в ограниченных точках [2].

Информация о распределении порового давления по глубине позволяет выбрать оптимальную конструкцию скважины, технологию бурения и цементирования, что способствует безопасному проведению бурения без осложнений и аварий.

**Ключевые слова**

Месторождение, скважина, наклонно-направленное бурение, геомеханические модели.

**Теория**

1D – или скважинное моделирование является базовым для геомеханического моделирования. 1D – геомеханическая модель — это численное представление Механических Свойств, Давлений и Напряжений (МСДН) горной породы вдоль траектории скважины. Такая модель должна достоверно описывать поведение горного массива с точки зрения деформаций и разрушений [4].

В результате построения модели в каждой точке траектории скважины определяются градиенты обвалообразования, порового давления, поглощения и разрыва по всему разрезу, вскрываемого скважиной.

Процесс моделирования можно разбить на несколько этапов:

- **Сбор и аудит данных.** На этом этапе мы собираем и анализируем информацию по исследуемой и соседним скважинам. Анализируются данные ГИС и сейсморазведки, история бурения, результаты исследований керна, геологические и петрофизические модели [4].

Минимальный набор исходных данных, необходимый для построения 1D – геомеханической модели (Рис.3):

- Суточные сводки
- Гамма – каротаж
- Акустический каротаж (скорости р- и s- волн)
- Плотностной каротаж
- Петрофизическая интерпретация разреза
- Результаты прямых замеров давления (LOT, FIT, MDT и т. д.)

Анализ данных — это кропотливая и важная работа – от качества данных будет зависеть прогнозная сила модели. На этом этапе много ручной работы. Необходимо просмотреть все суточные сводки и выявить важные моменты в истории строительства соседних скважин, понять геологические особенности разреза, проанализировать и привести к единому формату каротажные данные [1].

По мере выполнения этапа в специализированном программном обеспечении создается единый цифровой проект, содержащий всю исходную информацию.

- **Расчет параметров модели опорных скважин (Рис.1).** На основании исходных данных производится расчет параметров модели для каждой опорной скважины: модуля Юнга, коэффициента Пуассона, угла внутреннего трения породы, порового давления, значений и направлений основных напряжений. Для определения каждого параметра существует множество методов, поэтому важно выбрать тот, который лучше всего соответствует данным геологическим условиям и дает наилучший результат.
- **Калибровка.** Результаты расчетов калибруются по фактически измеренным данным скважинных и керновых исследований. Часто, для получения достаточной сходимости расчетных и измеренных значений необходимо вернуться на предыдущий этап и внести изменения в расчеты. Моделирование – это итерационный процесс, требующий понимания физического смысла каждого параметра, навыка работы с большим объемом каротажных данных, знания методов расчета.
- **Перенос параметров модели на исследуемую скважину.** Производя межскважинную корреляцию и используя наработанные зависимости рассчитываются необходимые параметры вдоль траектории исследуемой скважины.
- **Построение окна совмещенных градиентов (Рис.1).** Результатом расчета является окно совмещенных градиентов обвалообразования, порового давления, поглощения и разрыва, выраженных в размерности объемной плотности. Такое представление позволяет наглядно сравнивать результаты моделирования с такими важными технологическими параметрами как удельный вес бурового раствора и эквивалентная-циркуляционная плотность.
- **Анализ чувствительности модели к изменению параметров.** Построив модель, можно произвести анализ чувствительности, то есть определить, как меняется результат расчета при изменении любого входного параметра. [4]

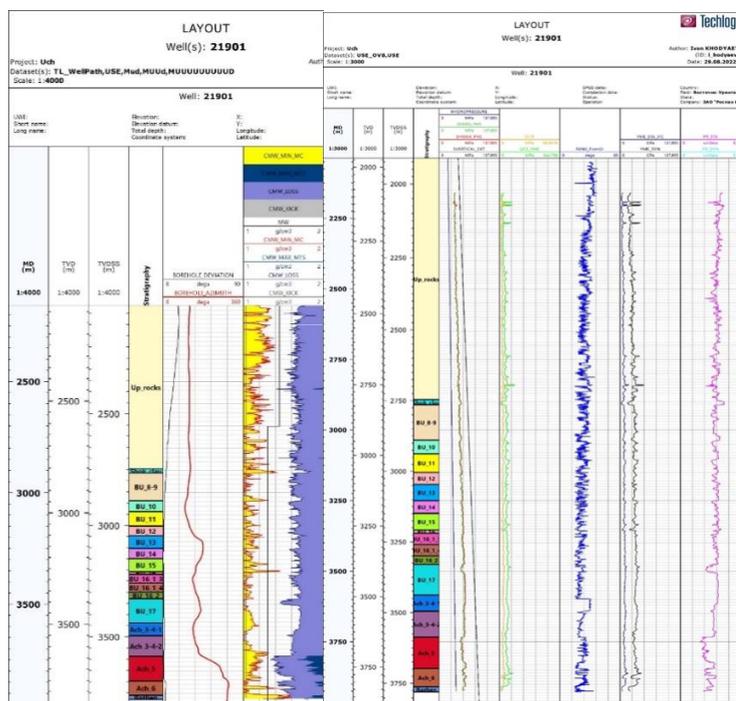


Рисунок 1. Расчет устойчивости ствола скважины и модель механической свойств скважины

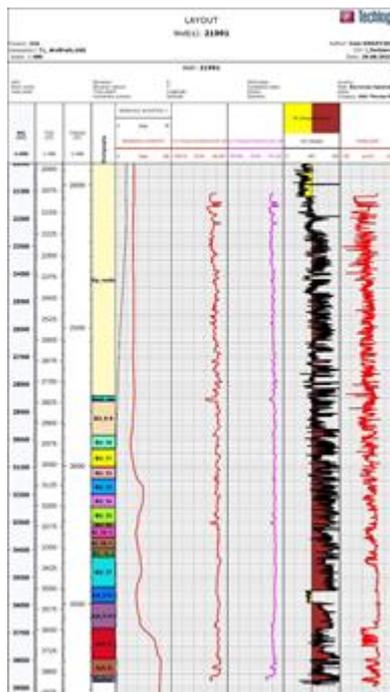


Рисунок 2. Исходные данные ГИС для построения 1D-геомеханической модели

### **Выводы**

Нефтегазоносные бассейны с АВПД на сегодняшний день широко распространены. Примерами могут служить месторождения Западной-Сибири, Южного-Каспия, Волга-Уральских территорий, Персидского и Мексиканского заливов и др. Последствиями вскрытия разреза с неучтенным АВПД являются выбросы, открытое фонтанирование, и зачастую полная потеря скважины и буровой установки.

Признаками АВПД является отклонение величины порового давления от гидростатического. При этом на сегодняшний день не существует прибора, позволяющего проводить непрерывную запись пластового (порового) давления. Проведение измерений во время бурения возможно лишь в отдельных точках.

Поэтому прогноз порового давления производится путем 1D-геомеханического моделирования на основе каротажных данных (гамма, акустика, сопротивление и тд.), поверхностной и скважинной сейсморазведки. Также возможно проведение оценок и в режиме реального времени за счет пересчета данных в пробуренных интервалах и уточнения прогноза под забоем. [4]

Также возможен расчет поровых давлений на базе 3D-геомеханической модели с использованием калибровок по 1D моделям и прямым замерам. Это позволяет восстановить распределение АВПД по всему моделируемому объему.

Знание распределения порового давления в породах по глубине позволяет выбрать оптимальную конструкцию скважины, технологию бурения и цементирования, что позволяет провести бурение без осложнений и аварий.

Таким образом оценка АВПД является необходимым условием для успешного осуществления бурения при поисках и разработке УВ, а также обеспечения надежной последующей эксплуатации скважины.

### **Библиография**

1. М.Б.Нурпеисова, М.А.Иофис, И.В.Милетенко Н. ГЕОМЕХАНИКА: Учебник для вузов. - Алматы: КазНТУ, 2014.-275 с

2. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. - М.: Недра, 1996. - 447 с : ил.  
ISBN 5-247-03675-

3. Певзнер М.Е. Геомеханика: Учебник для вузов. — 2-е изд., стер. / М.Е. Певзнер,  
М.А. Иофис, В.Н. Попов. - Москва : Горная книга (МГГУ), 2008. - 438 с. - ISBN 978-5-7418-0528-  
2.

4. Нефтегазовая геомеханика)Учебное пособие / М. М. Алиев, А. А. Лугфуллин, З. Ф.  
Исмагилова. - Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. - 160 с.