



Проблемы освоения месторождений урана Зауралья и пути их решения

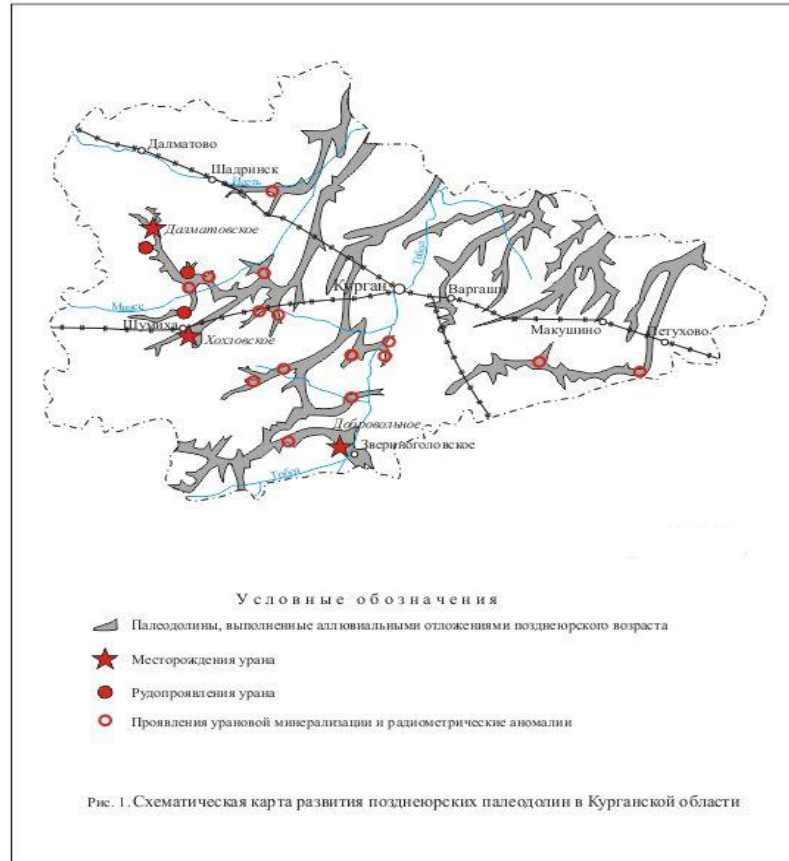
Лаптев Ю.И., главный геолог АО
«Далур»

Ладейщиков А.В., заместитель главного
геолога АО «Далур»

16.05.2024 г. Москва







Зауральский урановорудный район является западным фрагментом Западно-Сибирского урановорудного пояса с экзогенно-эпигенетическим урановым оруденением в палеодолинах средне-верхнеюрского возраста.

В пределах района выявлено три месторождения урана: Далматовское, Хохловское, Добровольное и ряд рудопроявлений.

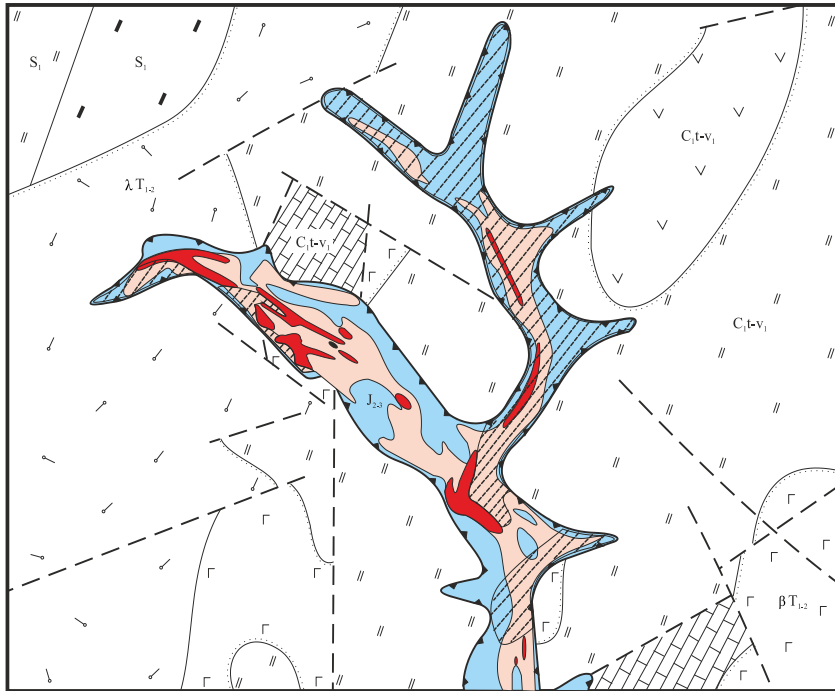
Запасы урана месторождений являются сырьевой базой предприятия АО «Далур».

Далматовское месторождение эксплуатируется с начала 2000-х г.г., в 2019 году завершена вскрыша разведанных балансовых блоков, в 2022 году извлечение урана из руд достигло проектных показателей в целом по месторождению

На Хохловском месторождении в 2017 году завершены разведочные работы, ведется промышленная эксплуатация месторождения.

На Добровольном месторождении в 2019 – 2022 гг. проведена детальная разведка, выполнен оперативный подсчет запасов, построен участок для проведения опытно-промышленных работ.

Опытно – промышленные работы планируется начать в июле 2024 года.



Месторождения однотипны - экзогенные, гидрогенного (песчаникового) типа залегают в аллювиальных отложениях палеодолины верхне-юрского возраста. Урановое оруденение связано с древними эпигенетическими зонами грунтово-пластового окисления. Приурочены к верховьям аллювиальных эрозионных палеодолин, с активной гидродинамикой подземных вод, Расположены в юго-западной краевой части Тобольского артезианского бассейна, глубина залегания 400-600 м.

Палеодолины выполнены слабо литифицированными сероцветными речными отложениями верхнеюрского возраста.

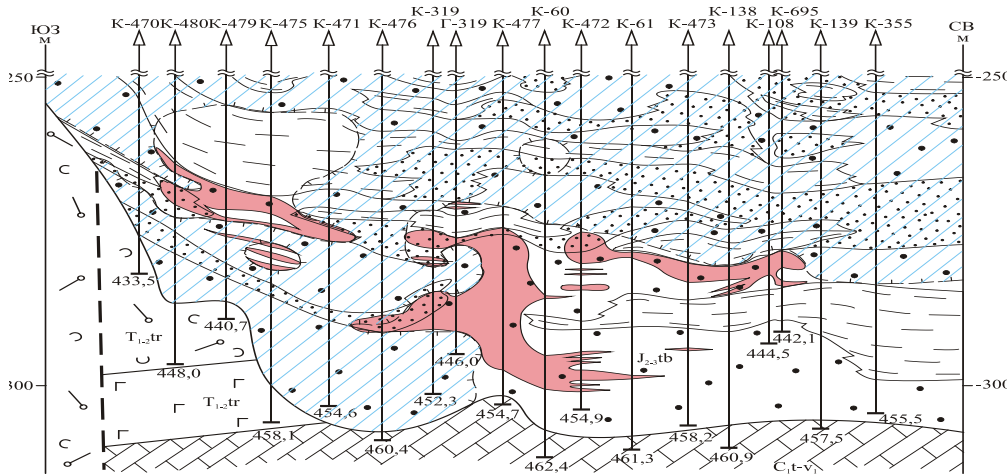
Перекрыты толщей красноцветных глинистых пород, в результате чего установился застойный гидродинамический режим (химический состав вод, радиологические свойства руд).

Рудные поля месторождений протяженностью 10 – 15 км, при ширине первые сотни метров.

Рудные залежи связаны с выклиниванием эпигенетических зон окисления (восстановления), как правило, в прибортовой части долин.

Аллювиальные отложения средне-позднеюрского возраста	Сланцы кварц-серицитовые каменноугольного возраста	Линии тектонических контактов
Липариты туринской серии триасового возраста	Сланцы кварц-серицитовые силурийского возраста	Граница распространения рудовмещающих аллювиальных осадков
Базальты туринской серии триасового возраста	Сланцы углито-кремнистые силурийского возраста	Урановорудные залежи
Эффузивы среднего и кислого состава каменноугольного возраста	Стратиграфические границы и интрузивные контакты	Ореолы распространения концентраций урана более 0,01 %
Известняки каменноугольного возраста	Границы стратиграфически несогласно залегающих толщ	Зоны развития рудоконтролирующих эпигенетических изменений

Геологическая карта Далматовского месторождения урана.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Литология
 Литология аллювиального комплекса
 г, алевролиты,
 стые песчаники
 , песчаники разнозернистые
 ные, галечные,
 то-гравийные отложения
 досреднеюрского фундамента
 липаритовых порфиров
 сты
 гняки
 иэвонитовый
 горизонтальный 1:10 000
 вертикальный 1:1 000

Стратиграфия
 J₂-tb Юрская система. Таборинская свита
 Аллювиальные осадки представленные
 гравийно-галечными отложениями,
 песками, песчаниками, алевролитами,
 глинами
 T₁₋₂-tr Триасовая система. Туринская серия
 Базальты, липариты и их туфы
 C₁-v₁ Каменноугольная система
 Турнейский, визейский ярусы
 Сланцы глинистые, алевролиты,
 аргиллиты, известняки

Прочие обозн:
 Литологические грани
 аллювиальных отложе
 Границы распростран
 разностей в породах ф
 Линии предполагаем
 контактов
 Контурсы урановоруд
 содержанием 0,01 %
 Зоны эпигенетически
 К-355 Разведочные скважин
 глубина забоя в м

Уральское месторождение урана. Геологический разрез по профилю VII

Залежи в плане имеют форму лент, вытянутых вдоль долины, размеры по простиранию достигают несколько километров, при ширине от 50 до 600 м.

В разрезе представляют собой линзы, пласты согласные и секущие напластование пород в зависимости от границы развития рудоформирующего окисления сероцветных толщ.

Мощность рудных тел составляет от первых до 10 метров. Рудные минералы – коффинит и настуран, руды гидрослюдисто-каолинит-кварцевые с содержанием кварца от 70 до 90 %, бескарбонатные с содержанием органического вещества 1-2%..

Среднее содержание урана в рудах 0,035 – 0,050 %. Коэффициент радиоактивного равновесия руд принят 1,0.

Продуктивность залежей во многом зависит: от наличия источников урана, количества восстановителей в осадочной толще, состояния зон разгрузки (трещиноватость пород фундамента, закарстованность известняков).

:

1. Месторождения приурочены к верховьям палеодолин верхне-юрского возраста (таборинская свита), врезанным в складчатые породы фундамента.
2. Палеодолины выполнены слабо литифицированными аллювиальными отложениями таборинской свиты, первично сероцветными, с органических остатков. Мощность отложений достигает 80 - 100 м.
3. Рудовмещающая толща перекрыта мощной (более 100 м) красноцветной толщей глинистых отложений верхнеюрского возраста.
4. В период рудообразования на данной территории существовали аридные климатические условия, способствующие проникновению кислородсодержащих вод с повышенным содержанием урана в толще песков, обогащённых восстановителями.
4. Формирование руд связано с процессом эпигенетического окисления, отложением урановых минералов на геохимическом барьере, последующее восстановление пород.
5. Рудные залежи представлены узкими извилистыми лентами, а в разрезе серией рудных линз и прослоев мощностью от первых десятков сантиметров до первых метров, ширина рудных залежей от 50 до 600 м, протяжённость от первых сотен метров до первых километров.
6. В составе осадочного чехла, перекрывающего рудовмещающий водоносный горизонт, присутствуют четыре надрудных водоносных горизонта, каждый из которых разделён мощной толщей водоупорных пород. Гидравлическая связь в пределах рудных полей между водоносными горизонтами отсутствует.

Далматовское месторождение находится в 50 км к югу от г. Далматово Курганской области. Месторождение экзогенное, водородного (песчаникового) типа залегает в аллювиальных отложениях Песчанской палеодолины верхне-юрского возраста. Урановое оруденение связано с древними эпигенетическими зонами грунтово-пластового окисления.

На начало эксплуатации (2001 г) балансовые запасы урана категорий С1+С2 составляли 10227 т. Вскрытые за период эксплуатации запасы урана с учетом перевода категории С1 в категорию С2 составили 10350 т.

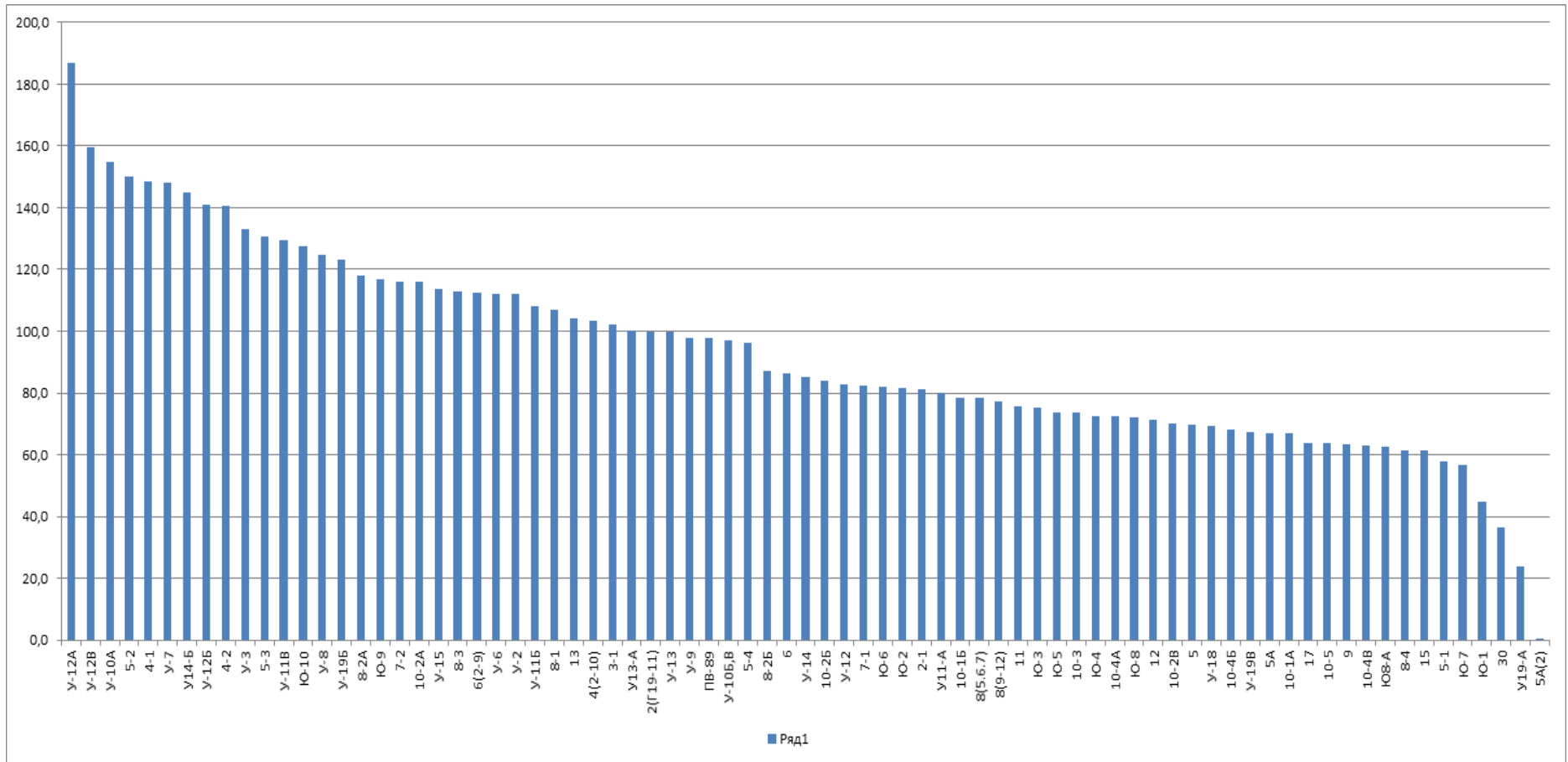
На 01.01.2023 г. месторождении вскрыты все рудные блоки с балансовыми запасами урана категорий С1 и основная часть блоков с запасами С2. В рамках лицензии КУГ 01114 ТЭ АО «Далур» в 2023 году на месторождении велись эксплуатационные работы по добыче урана способом скважинного подземного выщелачивания. Срок действия лицензии 2027 год.

Уровень добычи урана в 2023 году составил 227,7 т. Извлечение урана из недр на 01.01.2024 г в целом по месторождению за весь срок эксплуатации составило 83,7 % от вскрытых запасов. При этом, часть блоков не достигло утвержденного для месторождения проектного извлечения в 80%, а по части блоков отмечается превышение норматива достигает от 5 до 40% от проектного значения. Ни один эксплуатационный блок не выведен из работы.

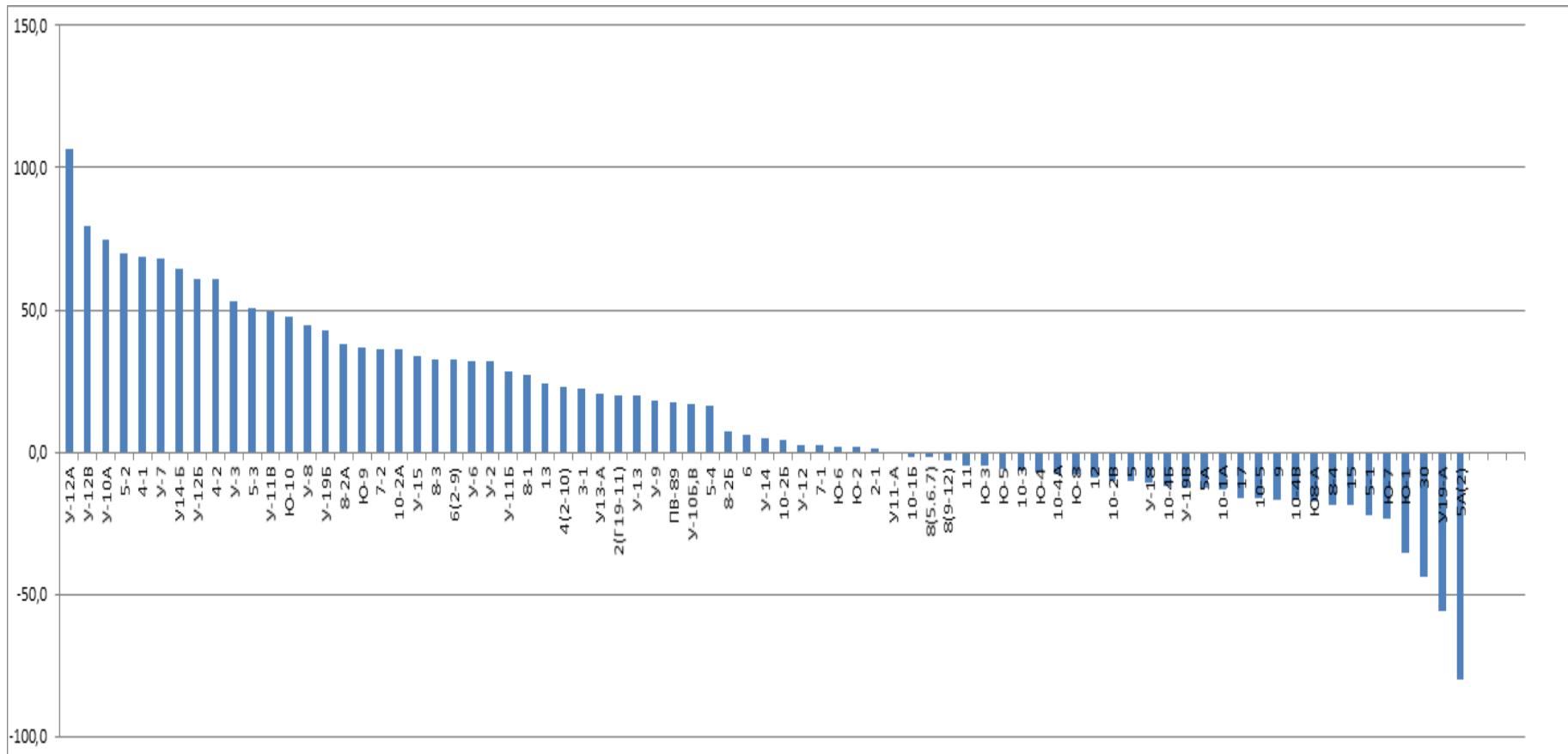
Остаток запасов урана, учтенных Госбалансом на 01.01.2024 г. составляет 689 т балансовых запасов урана категории С2 и 1607 т забалансовых запасов категорий С1+С2.

Отработка запасов категории С2 удаленной от основных коммуникаций Верхне-Уксянской залежи планируется с применением мобильной локальной сорбционной установки.

Извлечение урана по эксплуатационным блокам Далматовского месторождения (% от вскрытых запасов)



Извлечение урана по эксплуатационным блокам Далматовского месторождения (относительно норматива 80%)





1989-92 гг. проведены первые натурные испытания по добыче скандия и РЗМ, доказана принципиальная возможность добычи методом СПВ;

2012-14 годах совместно с ООО «ИнтермиксМет» проведены опытные работы по изучению возможности попутного извлечения скандия и РЗМ из маточных растворов сорбции, получены положительные результаты;

2015 год. Проект «Скандий Далур» прошел одобрение в ГК «Росатом» – на Совете по развитию и глобализации. Получено одобрение на финансирование проекта;

2016 год. Выигран конкурс на право получения гос. субсидий по созданию высокотехнологичного производства алюмо-скандиевой лигатуры, заключён договор с Минобрнаукой и УРФУ на проведение НИОКТР и ОПР;

2017-22гг. Опытно-промышленные работы по попутному извлечению скандия из маточных растворов уранового производства, с получением черного скандиевого концентрата (фторид скандия) и оксида скандия высокой чистоты (99,9%);

С 2023 года производство работ по попутной добыче скандия на промышленной основе.





- На первом этапе, после операций сорбции-десорбции и осаждения, получается первичный продукт - черновой скандиевый концентрат, содержащий до 5 % скандия. Дальнейшая последовательность технологических операций, включающая очистку от примесей, основанную на различной растворимости комплексных фторидных солей скандия и породообразующих элементов, тория, радия, позволяет получать фторид скандия с содержанием (ScF₃ 98-99%) пригодный для прямого изготовления высококачественной лигатуры AlSc₂

С 2023 года на Центральном и Уксянском участке Далматовского месторождения начата промышленная добыча скандия.

Достигнут стабильный выпуск оксида скандия на уровне 500 кг/год.

На сегодняшний день АО «Далур» поставляет оксид скандия высокой чистоты (>99.9%) в адрес российских потребителей, а также ведет работы направленные на расширение продуктовой линейки, за счет фторида скандия и алюминиево-скандиевой лигатуры, производство которых организовано в АО «Далур»



Массовая доля, %

Оксид скандия	99,9
Примеси, в т.ч.	0,1
Оксид железа	0,003
Оксид меди	0,005
Оксиды редкоземельных металлов	0,010
Оксид циркония	0,007
Оксид титана	0,005
Прочие	0,070

Массовая доля, %

Скандий	2,3-1,7
Алюминий	97,35-97,95
Примеси, в т.ч.	0,35
Кремний	0,05
Железо	0,05
Медь	0,01
Марганец	0,01
Магний	0,10
Фтор	0,01
Кальций	0,01
Редкоземельные металлы	0,01
Прочие	0,10

Хохловское месторождение

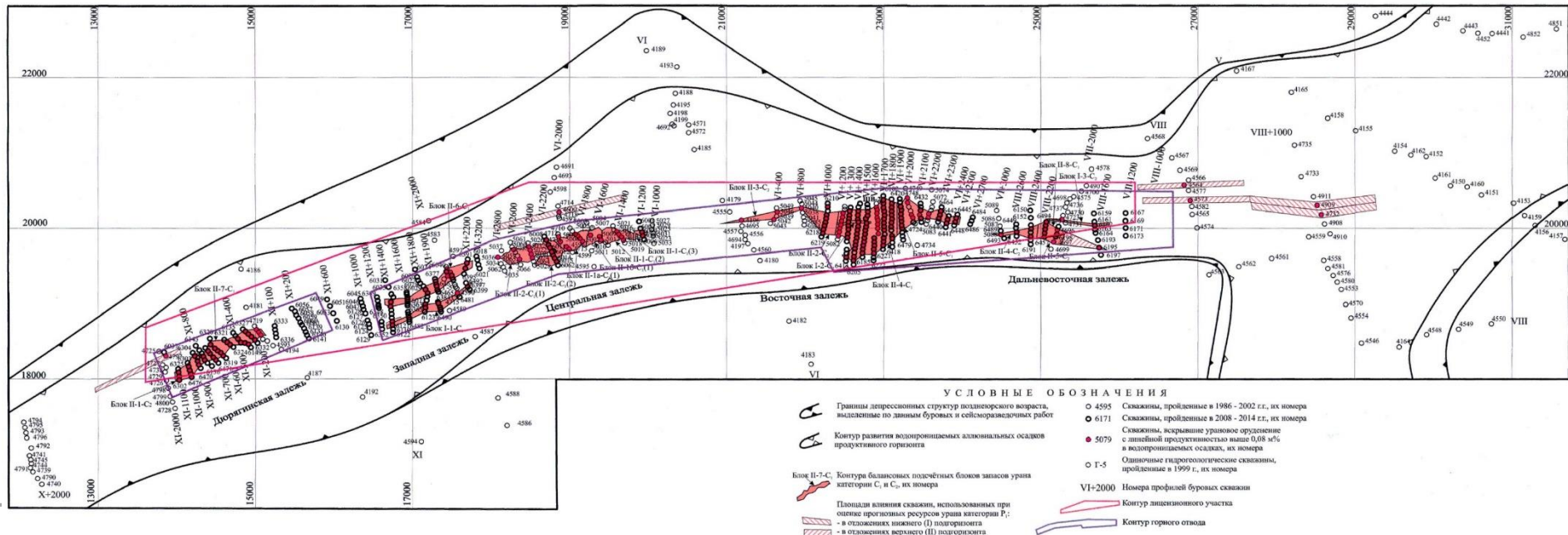
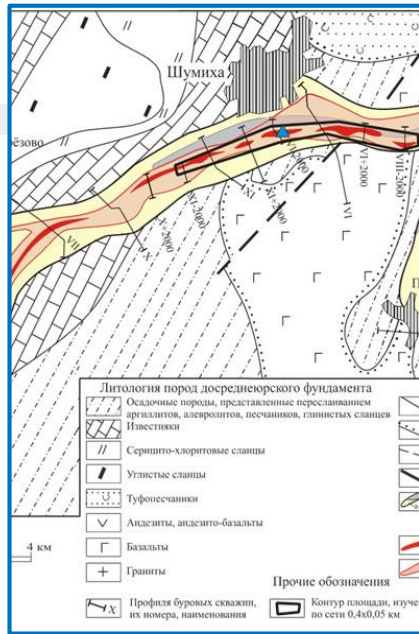
Хохловское месторождение урана находится в 2 км южнее города Шумихи Курганской области, по геологическому строению является аналогом Далматовского месторождения.

Месторождение находится в эксплуатации с 2018 года, опытно-промышленные работы велись в период 2008 - 2017 гг.,

За период отработки погашение запасов урана составило 45% от первоначальных балансовых, составлявших 5107 т по категориям C₁+C₂. Выход на проектную производительность 350 т урана в год – 2024 г.

Численность работников 150 человек.

Окончание срока действия лицензии - 2033 год



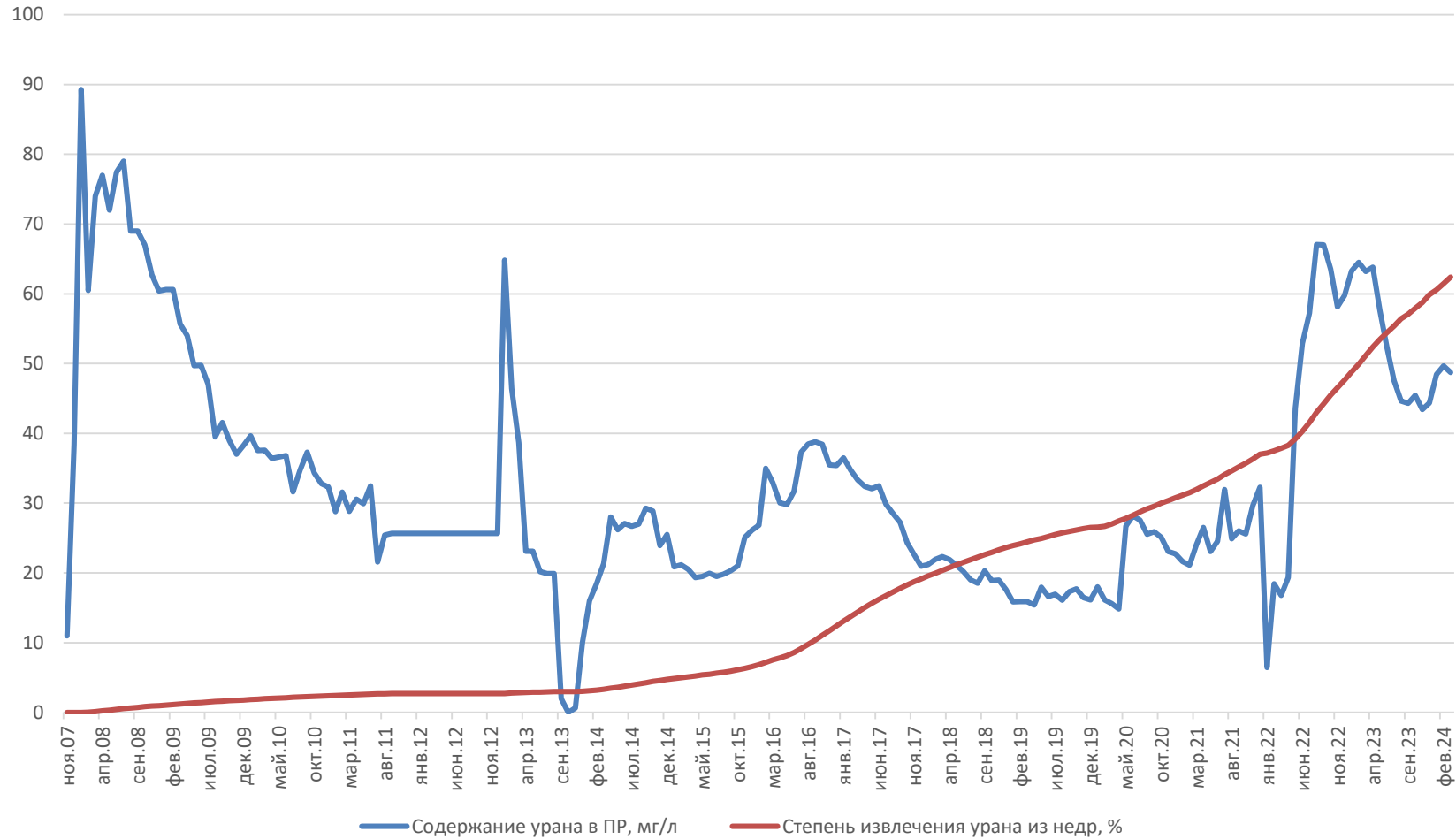


- ▶ Лицензия КУГ 01115 ТЭ имеет срок действия до 15 января 2033 г. с целевым назначением для разведки и добычи урана на Хохловском месторождении в Курганской области;
- ▶ Завершено вскрытие и подготовка запасов на Центральной и Западной залежи, завершаются работы по вовлечению в отработку запасов Восточной залежи;
- ▶ Продолжаются СМР по созданию в полном объеме инфраструктуры добычного полигона на Восточной залежи (1-я и 2-я очереди);
- ▶ Завершаются СМР на ЛСУ-2, объектах Прирельсовой базы, в т. ч. подъездных и внутриплощадочных ж/д путей;
- ▶ На Восточной залежи Хохловского месторождения АО «Далур» в рамках проекта Тиражирование цифровых решений «Умный полигон СПВ» продолжается создание АСУ ТП ПВ на Восточной залежи;
- ▶ С 2023 г. на Хохловском месторождении добывается основной объем готовой продукции, ;

По состоянию на 01.04.2024 г:

- ▶ Вскрыто, подготовлено и вовлечено в отработку 3068,45т запасов урана ;
- ▶ Добыто 1915,9т урана в готовой продукции, среднее содержание урана в ПР 30,3мг/л, степень извлечения из недр 62,4%, при Ж/Т 4,93, удельный расход серной кислоты 41,2 кг/кг, кислотоёмкость 6,32 кг/т.

Содержание урана в продуктивных растворах и степень отработки запасов Хохловского месторождения

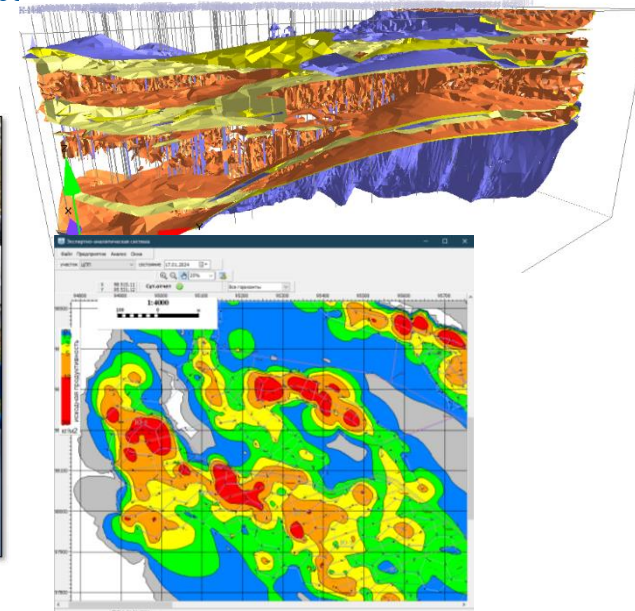


Внедрение цифровых технологий с целью формирования нового технологического уклада:

1. «Умный полигон СПВ» на Восточной залежи Хохловского месторождения - цифровое решение, которое обеспечивает автономную работу участка добычи в оптимальном режиме, при котором достигается баланс закачки/откачки растворов, и как следствие – максимально возможное извлечение урана при минимальных затратах. Принято в качестве основной концепции при освоении новых месторождений.

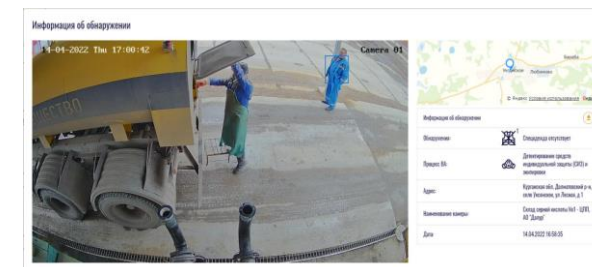
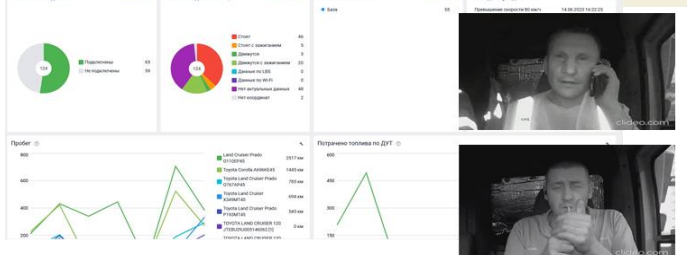
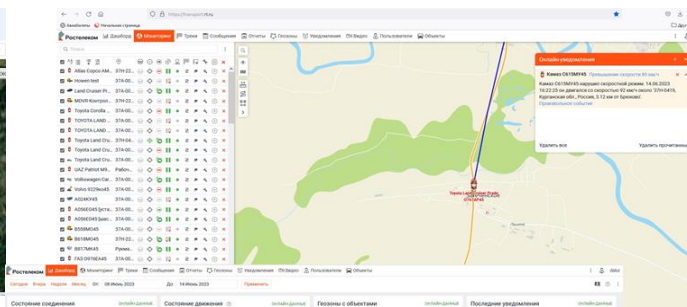
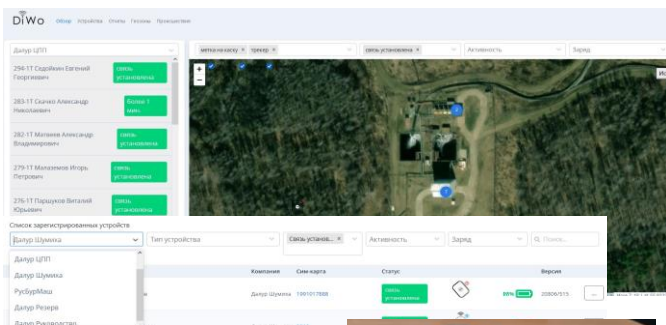
Дополнительные модули «Умного полигона»:

- система дополненной реальности для добычного полигона СПВ,
- система виртуальной реальности для 3D визуализации и анализа данных по добыче ур
- система интеллектуального управления погружными насосными агрегатами

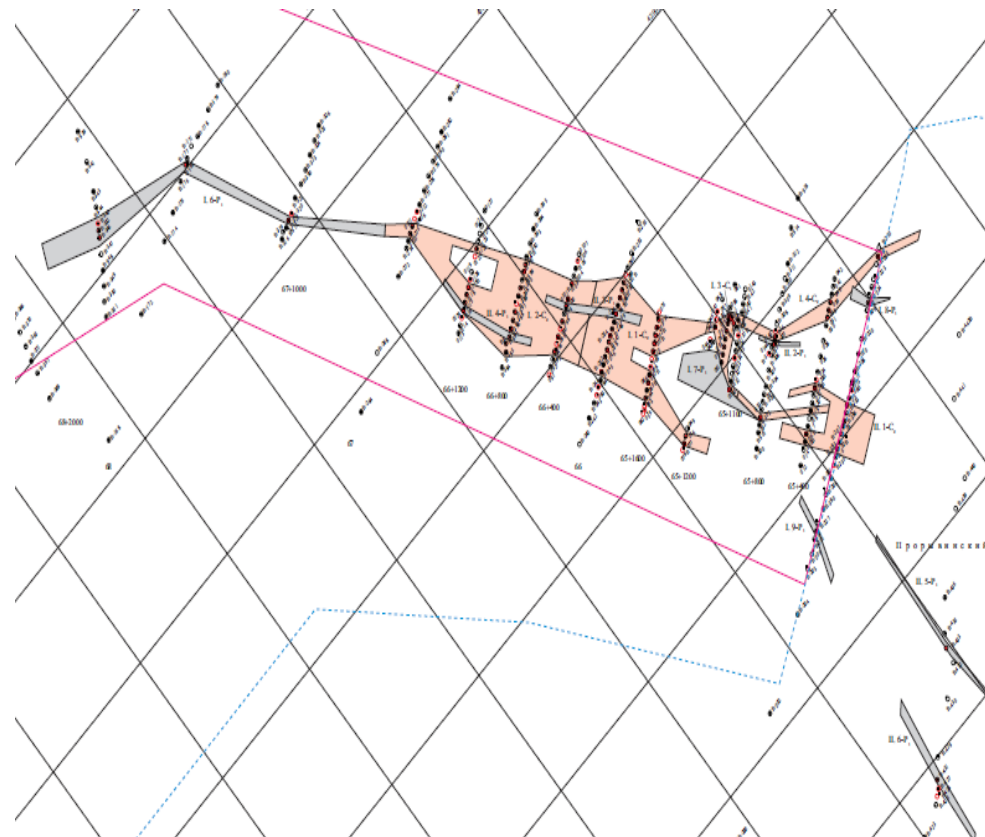


2. Цифровые инструменты мониторинга производственных операций:

- контроль безопасности ведения работ с элементами видеоаналитики;
- контроль применения СИЗ (маски, респираторы, фартуки, перчатки, нарукавники, сапоги) при выполнении разгрузочно-погрузочных работ (система контроля за использованием СИЗ);
- контроль состояния работника при проведении работ, геопозиционирование работника («Умная каска»);
- диспетчеризация производственных процессов (диспетчерский пункт);
- видеомониторинг состояния производства и ведения работ;
- повышение навыков безопасного ведения работ персонала с применением виртуальных тренажеров (внедрили в программу обучения по повышению культуры безопасности с охватом 100% работников).



- Месторождение Добровольное выявлено партией 89 ГПП «Зеленогорскгеология» в 1986 г., в результате проведения поисковых работ на Уйско-Убаганской площади (Южное Зауралье - Северный Казахстан).
- поисково-оценочные работы проведены в 1987-1988 гг.,
- предварительная разведка – в 1989-1994 гг. с проведением опыта натурального выщелачивания в двухскважинном варианте по методике В.А. Грабовникова.
- В 1994 году выполнен «Отчет о результатах предварительной разведки Добровольного рений-редкоземельно-уранового месторождения».
- В 2015 г. в при подготовке месторождения к лицензированию АО «Далур» проведены камеральные работы по пересчету запасов урана.
- В 2017 году разработан проект на проведение разведочных работ на Добровольном месторождении и оценочных работ на его флангах



2017 год - получение лицензии на разведку и добычу урана методом подземного выщелачивания;

2018 год - разработка проекта геологоразведочных работ;

2019 - 2021 гг.– проведение геологоразведочных работ;

2019 год - разработка проекта опытно-промышленных работ;

2021 – 2024 гг – строительство локальной сорбционной установки (ЛСУ),

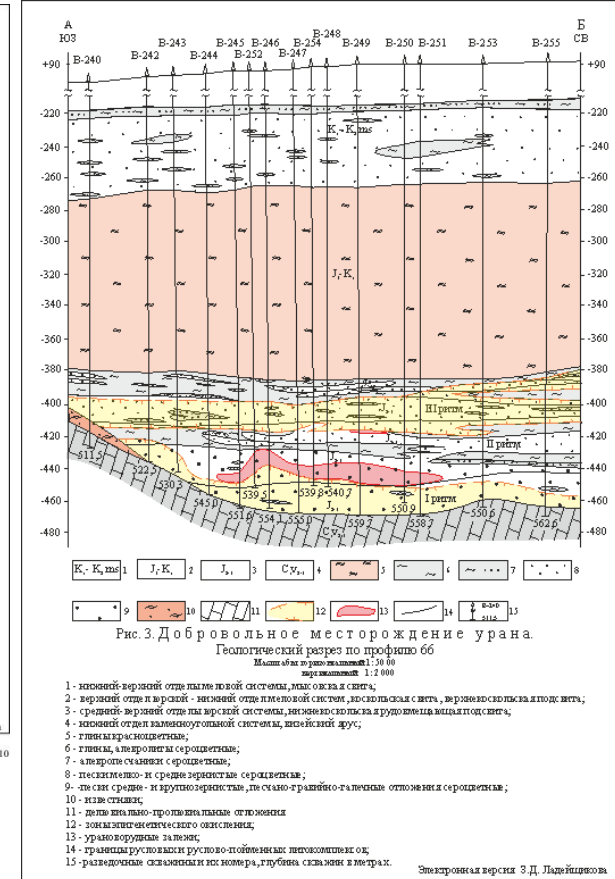
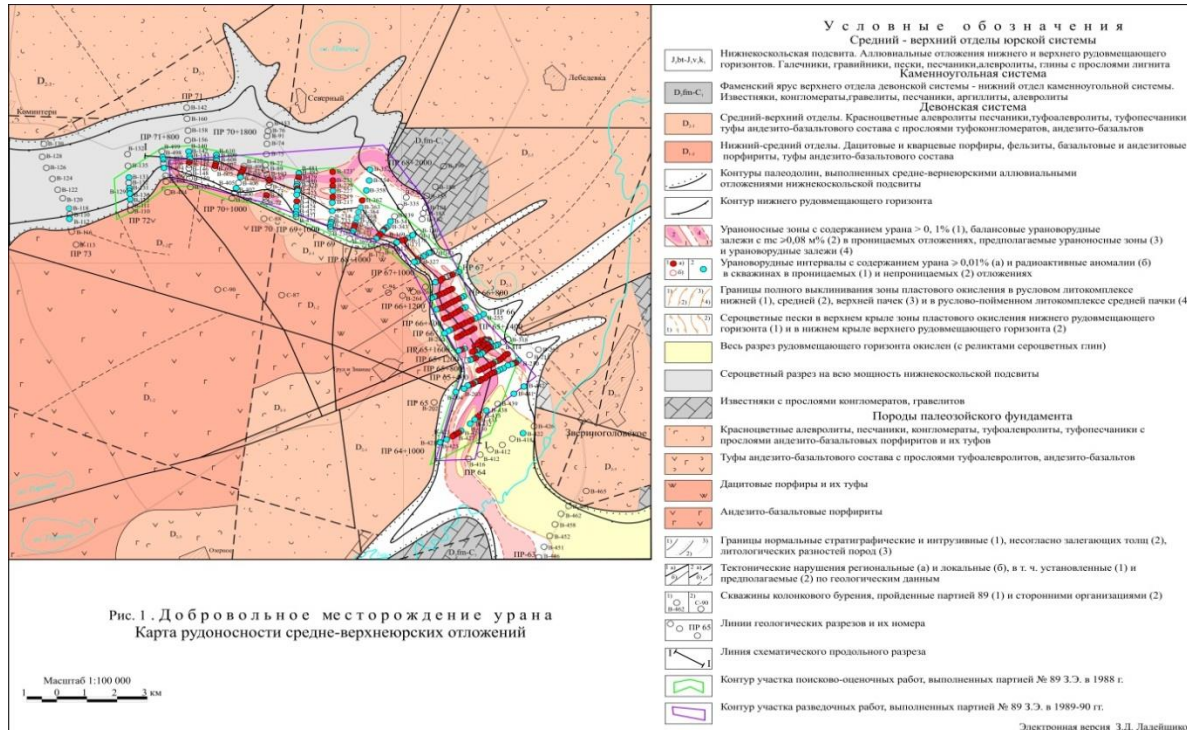
2024 - 2026 гг. проведение опытно-промышленных работ

2027 год составление ТЭО постоянных кондиций, постановка запасов на Госбаланс

2028 - 2029 гг. подготовка и утверждение проектной документации на промышленное освоение месторождения «Добровольное»;

2029 - 2030 гг, - строительство объектов инфраструктуры горнодобывающего предприятия;

2030 год – ввод в эксплуатацию горнодобывающего предприятия, начало промышленного освоения месторождения.



В региональном плане геолого-гидрогеологическая позиция района определяется его положением в южной краевой части Тобольского артезианского бассейна, принадлежащего крупной Западно-Сибирской водонапорной системе. Геологическое строение района является двухъярусным и включает досреднеюрский фундамент и платформенный чехол.

Рудные залежи приурочены к аллювиальным отложениям таборинской свиты верхнеюрского возраста. В пределах рудовмещающей пачки выделено 4 рудных залежи протяженностью от первых километров до 7,5 км при ширине 50-800 м и мощности от 1,5 до 17,5 м. Оруденение прослежено на протяжении 17 км на глубинах от 485 до 690 м от поверхности. Основная часть руд (более 80 %) расположена до глубины 570 м.

Урановые минералы представлены настураном, коффинитом и чернями, локализующимися на границе зоны окислительного эпигенеза. В этой же зоне концентрируются рениевые минералы, представленные его сульфидами и оксидами (?). В рудах отмечается скандий, уранофосфат иттрия, содержащий диспрозий и эрбий.

От вышележащих водоносных горизонтов рудовмещающий надежно изолирован мощной (100-110 м) толщей красноцветных глин коскольской свиты.

Минерализация вод рудоносного горизонта 11,1 – 13,0 г/л. В составе микрокомпонентов преобладают гидрокарбонаты, сульфаты и **хлориды натрия (до 7 г/л)**. Воды слабощелочные: рН колеблется от 7,2 до 7,5. Содержание гидрокарбонат-иона от 190,4 мг/л до 246,5 мг/л. Содержание двухвалентного и трехвалентного железа до 0,1 мг/л. Содержание урана в воде достигает $7,8 \times 10^{-6}$ г/л при фоновых концентрациях в горизонте 1×10^{-6} г/л. Воды высоконапорные. Высота напора над земной поверхностью 41,0 – 48,4 м.

По сложности геологического строения и особенностям распределения урана месторождение отнесено к третьей группе.

По материалам ТЭС, выполненных ВНИПИПромтехнологии и по близкой аналогии с детально разведанным и успешно эксплуатируемым в настоящее время Далматовском месторождением урана, при оперативном подсчете запасов урана Добровольного месторождения приняты кондиции Далматовского месторождения.

Запасы месторождения Добровольное утверждены концерном «Геологоразведка» (протокол от 20.06.1995).

В протоколе от 20.06.1995 определено, что до выполнения технико-экономических расчетов, запасы месторождения считать не получившими балансовой принадлежности. При этом, Государственным балансом по состоянию на 01.01.2015 запасы учитываются как балансовые.

Элементы подсчета	Ед. измер.	Категория запасов	
		C1	C2
Запасы: Руда Уран	тыс.т. т	601 339	13 338 7060
Среднее содержание урана	%	0,056	0,053

Ресурсы категории P_1 попутных компонентов: скандий – 165,1 т при среднем содержании 4,9 г/т, редкие земли + иттрий – 3679 т при среднем содержании 108,3 г/т, рений – 16,2 т при среднем содержании 0,741 г/т.



При геологоразведочных работах:

1. Бурение разведочных скважин в зоне самоизлива подземных вод - получение кондиционного выхода керна.
2. Сложная гидрогеохимическая обстановка – минерализация вод рудовмещающего горизонта 11,2-13 г/л, содержание хлоридов 7 г/л, pH 7,2-7,5 щелочная среда - предполагает сложную радиологическую обстановку, высокую миграционную способность радия, образование радиевых ореолов и требует тщательного радиологического районирования руд месторождения, определение вариаций коэффициента радиоактивного равновесия.
3. Изучение попутных компонентов: рения, скандия и редких земель – требуется изучить положение попутных компонентов в общем ряду рудобразования, минералогический состав, возможность технологического извлечения из руд.



При проведении опытно-промышленных работ:

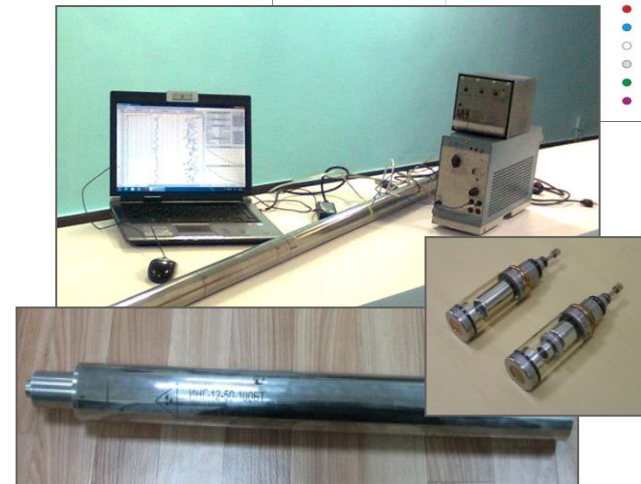
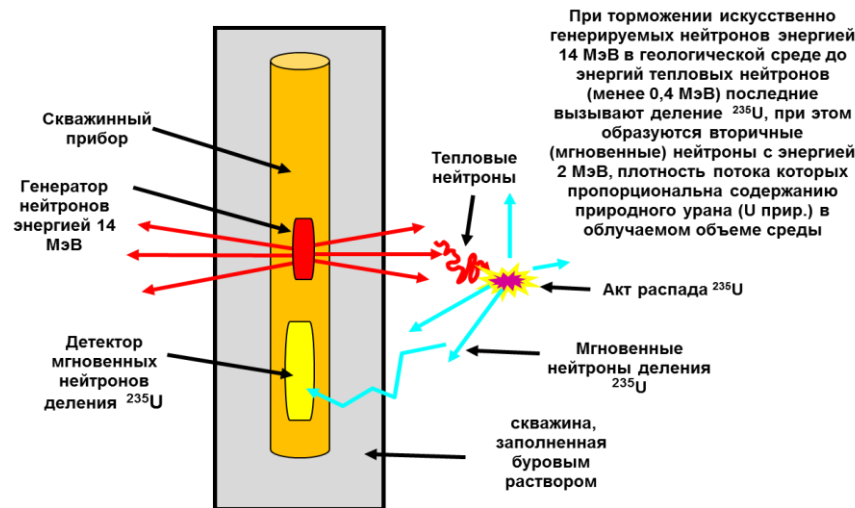
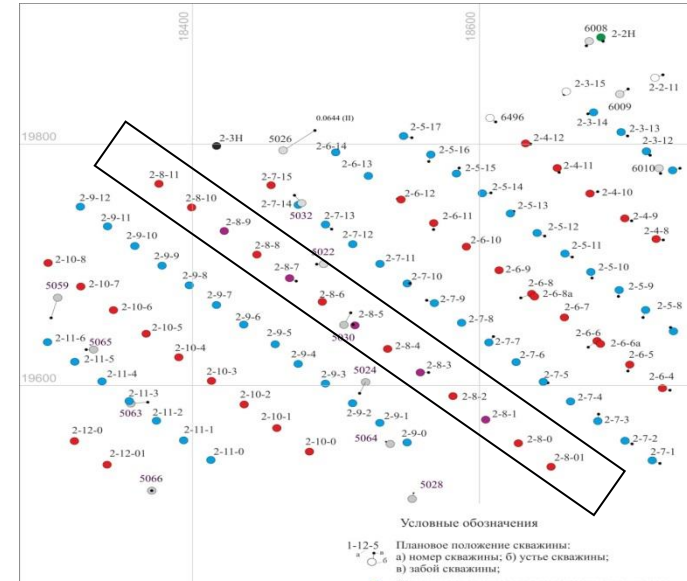
1. Выбор и обоснование оптимальной эксплуатационной сети технологических скважин в условиях отсутствия породного водоупора для предотвращения «провисания» и растекания технологических растворов.
2. Высокая минерализация пластовых вод и высокое содержание хлор-иона снижает сорбционную емкость ионообменных смол.
3. Коррозия оборудования из-за высокого содержания хлора в продуктивных растворах.
4. Напорные воды рудного горизонта осложняют подачу реагентов в рудный пласт.
5. На стадии пуско-наладочных работ произошли кольматационные процессы в закачных скважинах и трубопроводах.

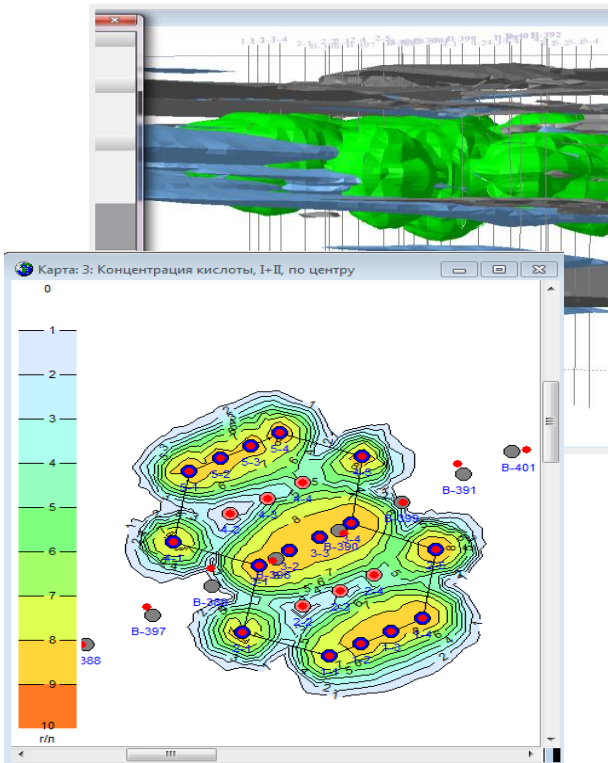
В 2016 г. в качестве опытно-методических работ на Хохловском месторождении была проведена апробация методов КНД-М и ИННК, аппаратура для которых была разработана по заказу Атомредметзолото.

При проведении детальной разведки в 2019-21 гг каротажи методом КНД-М и ИННК были выполнены в 30% скважин.

Учитывая сложную радиохимическую обстановку Добровольного месторождения при ГРП и ОПР использовалась двухзондовая модификация АИНК-49, которая позволяет выполнять «*прямое*» *определения подсчётных параметров рудных интервалов методом каротажа на мгновенных нейтронах деления (КНД-М)* и получать оценку влажности и *литологических характеристик* разреза.

Результаты применения АИНК-49 позволяют рекомендовать его внедрение для решения геологических и геотехнологических задачи на стадии поисков, разведки, эксплуатационной разведки и отработки запасов урана месторождений со сложной радиологической обстановкой.





В сотрудничестве с СТИ НИЯУ МИФИ (г. Северск) выполнено предпроектное моделирование отработки запасов руд участка ОПР с рекомендациями по выбору сети технологических скважин, для получения оптимальных технико-экономических показателей отработки.

Рассмотрено два варианта рядной сети с расстоянием между рядами 40 и 50 м, при расстоянии между скважинами в откачном ряду 30 м, в закачном 25-27 м.

Несмотря на повышенный расход кислоты из-за «провисания» технологических растворов, сеть с межрядным расстоянием 50 м предпочтительней.

Окончательно вопросы подготовки запасов месторождения будут решаться на стадии разработки ТЭО постоянных кондиций с учетом результатов ОПР.

межрядное расстояние	уран извлеченный, т	площадь, тыс. м2	Запасы урана в недрах, т		К извл.	Продуктивность, кг/м2	Расход кислоты, т	удельная кислотоемкость кг/кг	ст-ть кисл, тыс. руб	расходы (б+к), тыс. руб	доход, тыс руб	прибыль, тыс. руб
			98,84	82,9								
50м	66,3	27,9	98,84	82,9	0,80	2,97	15946	241	46387,1	134503,7	242223,7	107719,9
40м	52,9	19,2	67,82	66,1	0,80	3,45	10000	189	29090,8	117207,4	193113,9	75906,5



В связи с высоким содержанием хлор-иона в откачиваемых продуктивных растворах, Техническим заданием на проектирование «Опытно-промышленный участок скважинного подземного выщелачивания урана на Добровольном месторождении» предусматриваются мероприятия по повышению коррозионной стойкости материалов и оборудования и подборе технологического оборудования и материалов с повышенной стойкостью к хлор-иону (полимеры), а так же рассмотреть возможность удаления хлор-иона из ПР до начала сорбционного передела.

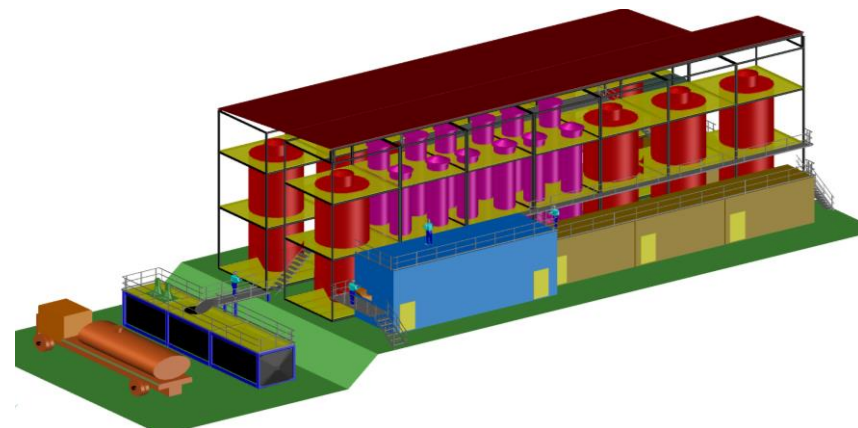
На сегодня участок ОПР построен, ведутся пуско-наладочные работы.

Ввод в эксплуатацию участка ОПР запланирован на сентябрь 2024 г.

1. С целью вовлечения в отработку запасов урана небольших и удаленных залежей месторождений разработана локальная сорбционная установка мобильная (МСУ) производительностью 160 м³/час, которая будет применена на Верхне-Уксянской залежи Далматовского месторождения и на Добровольном месторождении.
2. Для снижения капитальных затрат на строительство новых перерабатывающих мощностей подготовлена концепция мобильной сорбционно-десорбционной установки (МСДУ) **полного цикла**.



Локальная сорбционная установка (МСУ)



Мобильная сорбционно-десорбционная установка (МСДУ)

Благодарю за внимание.

Лаптев Юрий Иванович – главный геолог АО «Далур»