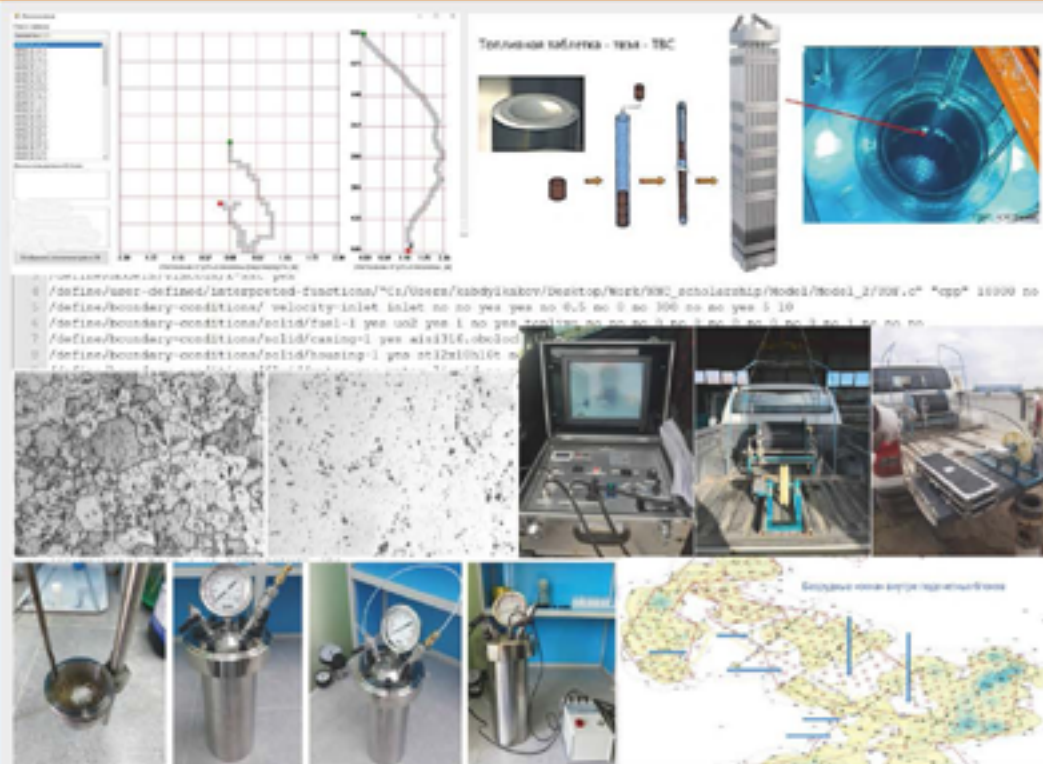




# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

выпуск 17





# ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА

сборник докладов 18-ого молодежного семинара  
молодых специалистов предприятий  
ядерной отрасли Республики Казахстан

Астана  
2022

ЯДЕРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАХСТАНА: Сборник докладов, выпуск 17, 2022 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». — Астана, 2022, 95 стр.

Семинары «Ядерный потенциал Казахстана» организуются ассоциацией «Ядерное общество Казахстана» ежегодно для молодых специалистов ядерных предприятий с привлечением международных экспертов. Каждый семинар проходит на базе разных предприятий ядерной отрасли Республики Казахстан.

Цели и задачи:

- активизация творческой деятельности и поддержка научного и технического творчества молодых ученых и специалистов ядерных предприятий;
- содействие профессиональному росту молодежи, развитию молодежных научных инициатив и закреплению молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК;
- представление, защита и реализация профессиональных, интеллектуальных, юридических интересов и прав молодых ученых и специалистов на ядерных предприятиях РК.

На семинарах обсуждаются проблемы уранодобывающей промышленности; производства ядерного топлива; атомной энергии; ядерной физики, радиоэкологии, геофизики; юридические, макроэкономические и образовательные аспекты в ядерной отрасли.

В семинарах ежегодно принимают участие представители организаций ядерного профиля: Казатомпром, УМЗ, НЯЦ РК, ИАЭ НЯЦ РК, ИРБЭ НЯЦ РК, ИЯФ РК, ИГИ, Волговгеология, ИВТ, уранодобывающих предприятий, а также студенты ВУЗов.

СЕКЦИЯ:  
«ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ,  
ГЕОФИЗИКИ»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ $^3\text{H}$ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОТОКОВ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН»

**Ермакова Р.Г., Айдарханова А.К., Тлеуканова Ж.Е., Мамырбаева А.С.**

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Основная масса загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты, адсорбируется на минеральных и органических частицах, оседает на дно и накапливается в донных отложениях [1]. Следовательно, одним из главных источников информации о состоянии водных экосистем может служить загрязненность донных отложений. В связи с этим исследования радионуклидного загрязнения водных объектов считается неполным без анализа донных отложений. Опасность попадания радионуклидов в поверхностные воды также связана с возможностью миграции радионуклидного загрязнения по всему руслу водотока, что может приводить к загрязнению территорий, расположенных на значительном расстоянии от места его поступления [2].

Испытательная площадка «Дегелен» расположена в южной части территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), где проводились подземные ядерные взрывы в горизонтальных горных выработках-штольнях. Мониторинговые исследования показывают, что вынос радионуклидов водным путем, т.е. с водотоками штолен, в зоне влияния которых они находятся, продолжается и в настоящее время. Считалось, что радиоактивное загрязнение объектов окружающей среды на площадке «Дегелен» сосредоточено в руслах водотоков ручьев и генетически связанными с ними водотоках из штолен. Но последние исследования показали, что существует вынос радионуклидов с водами ручьев за пределы площадки [3].

Основное загрязнение площадки «Дегелен» связано с радионуклидом  $^3\text{H}$ , концентрации которого в поверхностных водах площадки достигают десятков кБк/кг, что значительно превышает допустимые уровни вмешательства [4]. Для проведения исследований распространения  $^3\text{H}$  по компонентам природной среды выбраны водотоки площадки «Дегелен», характеризующиеся высоким содержанием  $^3\text{H}$  в воде – ручьи Узынбулак, Байтлес, Токтакушык и Карабулак. Содержание  $^3\text{H}$  в водах руч. Узынбулак составляет  $35\ 000 \pm 4\ 000$  Бк/кг, руч. Байтлес –  $51\ 000 \pm 5\ 000$  Бк/кг, руч. Токтакушык –  $60\ 000 \pm 6\ 000$  Бк/кг [5], что превышает уровень вмешательства с водой ( $\text{УВ} = 7600$  Бк/кг) для данного радионуклида [4], а в воде руч. Карабулак –  $2\ 400 \pm 200$  Бк/кг [5], что, соответственно, ниже УВ.

В целях детального изучения перераспределения  $^3\text{H}$  произведен отбор донных отложений представленных ручьев. Для исследования вертикального распределения  $^3\text{H}$  донные отложения отбирали в виде ненарушенных колонок цилиндрическим пробоотборником, выполненным в виде двух половин, которые можно легко развернуть и извлечь пробы. Отбор донных отложений был произведен на каждом ручье на границах испытательной площадки. Высота отобранных колонок составляла до 10-13 см. Разделение колонок донных отложений на слои проводили сразу на местах отбора. Толщина одного слоя составляла 10-12 мм, масса

– 0,030-0,035 кг. До начала проведения анализов отобранные пробы хранили в герметичной таре для исключения обмена  $^3\text{H}$  с окружающей средой.

Проводимые в настоящее время исследования  $^3\text{H}$  в донных отложениях поверхностных вод СИП заключались в определении содержания  $^3\text{H}$  в форме свободной воды и кристаллически связанной (прочносвязанной) форме. Для определения  $^3\text{H}$  в форме свободной воды проводилась дистилляция отобранных образцов донных отложений в специально подготовленной установке, состоящей из колбонагревателя, обратного холодильника, трехгорлой круглодонной колбы, служащей в качестве реактора. В одно из горл колбы для контроля температуры устанавливался термометр. Процесс дистилляции донных отложений проводился при температуре  $105^\circ\text{C}$  до полного прекращения образования дистиллята. При этом первая порция дистиллята отбрасывалась, так как содержание в ней  $^3\text{H}$  характеризует воду ручьев. Для анализа отбиралась вторая порция, характеризующая содержание  $^3\text{H}$  в свободной воде донных отложений. По окончании процесса дистилляции замерялся объем полученного дистиллята и масса сухой почвы после ее полного охлаждения. После проведения процесса дистилляции образец пробы использовался для определения прочносвязанного  $^3\text{H}$  методом автоклавного разложения. Принцип метода автоклавного разложения заключается в разложении почвенных образцов (с разрушением матрицы) под воздействием температуры и давления в герметично замкнутом объеме. Автоклавное разложение проводилось следующим образом. Из сухой и просеянной пробы почвы (1 мм) отбиралась навеска массой 2 г, которая количественно переносилась в тefлоновую реакционную камеру (внутренний вкладыш автоклава), где обрабатывалась концентрированными азотной и плавиковой кислотами в соотношении 1:2. Тefлоновая реакционная камера помещалась во внешний корпус автоклава. Для надежной фиксации автоклавы устанавливались в стальное зажимное устройство (станину). Автоклавы выдерживались порядка 2,5 часов в сушильном шкафу при температуре  $160 \pm 5^\circ\text{C}$ . По окончании автоклавирования, полученный образец, представляющий собой смесь кислот, вынимали из сушильного шкафа, выдерживали для охлаждения до комнатной температуры, нейтрализовали 50% раствором гидроксида натрия до  $\text{pH}=7-8$  и далее проводилась дистилляция. Полученный дистиллят использовался в качестве образца, который измерялся жидкосцинтилляционным методом при помощи  $\beta$ -радиометра «TRI-CARB 2900 TR».

На основании полученных данных содержания  $^3\text{H}$  в образцах донных отложений построены гистограммы, описывающие распределение радионуклида по вертикали. Результаты исследований представлены на рисунках 1-2. Количество слоев соответствует количеству образцов для каждого объекта исследования.

Для сравнительного анализа вертикального распределения в донных отложениях  $^3\text{H}$  в двух формах был выбран руч. Узынбулак (рисунок 1).

Согласно полученным результатам содержание  $^3\text{H}$  в форме свободной воды варьирует в пределах от  $6\ 400 \pm 600$  Бк/кг до  $21\ 000 \pm 2\ 000$  Бк/кг. Максимальное содержание зафиксировано на глубине 6 см. Содержание  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме достигает уровня  $4\ 500 \pm 500$  Бк/кг, с максимальным содержанием на глубине 5-6 см.

Из-за высокой миграционной способности  $^3\text{H}$  в форме свободной воды в донных отложениях остальных исследуемых ручьев данная форма не рассматривалась.

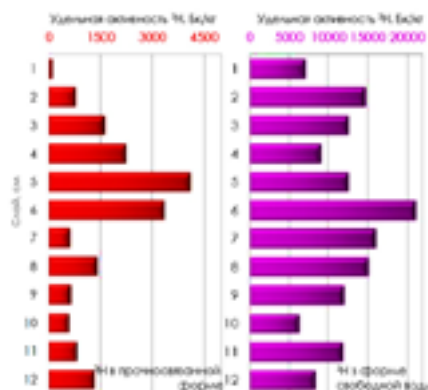


Рисунок 1. Вертикальное распределение  $^3\text{H}$  (в форме свободной воды и прочносвязанной форме) в донных отложениях руч. Узынбулак

Результаты послойного распределения радионуклида  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме в донных отложениях исследованных ручьев представлены на рисунке (рисунок 2).

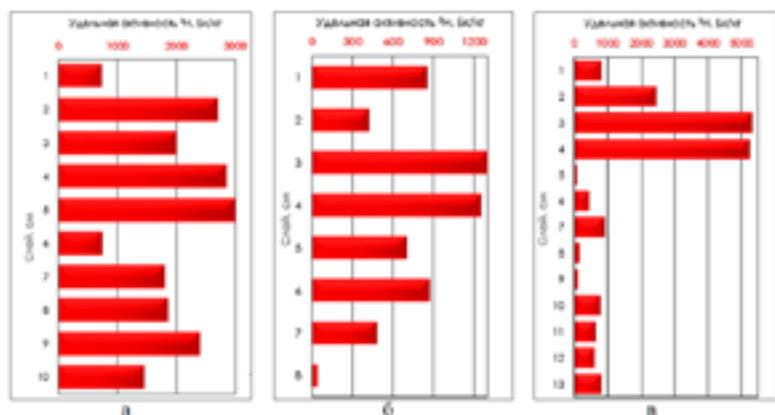


Рисунок 2. Вертикальное распределение  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме в донных отложениях ручьев: а) Байтлес; б) Токтакушык; в) Карабулак

Численные значения удельной активности радионуклида  $^3\text{H}$  в донных отложениях руч. Байтлес достигают  $3\,000 \pm 300$  Бк/кг, максимальное содержание зафиксировано на глубине 4-5 см. Максимальная концентрация  $^3\text{H}$  в донных отложениях руч. Токтакушык зафиксирована на глубине 3-4 см и составляет порядка  $1\,300 \pm 200$  Бк/кг, руч. Карабулак – на глубине 3-4 см и составляет порядка  $5\,300 \pm 600$  Бк/кг. Вертикальное распределение  $^3\text{H}$  в донных отложениях всех исследованных ручьев наблюдается по всей глубине. Максимальная концентрация радионуклида в основном сосредоточена в слое 3-5 см. На представленных гистограммах видно, что в вертикальном распределении  $^3\text{H}$  в донных

отложениях ручьев Байтлес и Токтакушык после слоев с максимальным содержанием данного радионуклида не наблюдается последующего резкого снижения, как, например, в профиле вертикального распределения  $^3\text{H}$  в донных отложениях руч. Карабулак.

Таким образом, в результате проведенных работ установлено, что  $^3\text{H}$  в форме свободной воды в донных отложениях руч. Узынбулак имеет максимальное значение на глубине 6 см на уровне  $21\,000 \pm 2\,100$  Бк/кг, в прочносвязанной форме – на глубине 5 см и равен  $4\,500 \pm 500$  Бк/кг, что в 4 раза меньше значения содержания в форме свободной воды. Распределение  $^3\text{H}$  в донных отложениях для двух форм имеет разный характер. В свободной воде максимум удельной активности  $^3\text{H}$  менее ярко выражен, чем в прочносвязанной форме. Вертикальное распределение  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме в донных отложениях ручьев Байтлес, Токтакушык и Карабулак показало, что максимальные значения зафиксированы на глубине 3-5 см. При этом содержание  $^3\text{H}$  в воде ручьев площадки «Дегелен» уменьшается в ряду руч. Токтакушык > руч. Байтлес > руч. Узынбулак > руч. Карабулак, а содержание  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме донных отложений имеет обратный порядок руч. Карабулак > руч. Узынбулак > руч. Байтлес > руч. Токтакушык.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках научного гранта АР14869391 «Исследование перераспределения трития в основных компонентах степных экосистем аридных условий Казахстана».

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Айдарханова А.К. Современные уровни загрязнения и характер распределения радионуклидов в системе «вода–донные отложения» водных объектов территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих территорий / А.К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко // Радиационная биология. Радиозология. – 2017 г, том 57. – №3 – с 286-296.
- 2 Жиров А.А. Радионуклидное загрязнение пресных водных объектов вследствие сбросов радиоактивных отходов и радиационных аварий // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014 г. – с 54-60.
- 3 Сержанова З.Б. Оптимизация методов исследования тритиевого загрязнения почв с учетом особенностей СИП / Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Ляхова О.Н., Койшыбаев Р.А. // Вестник НЯЦ РК. – 2018. Вып.4. – С. 49–52.
- 4 Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности»: утв. приказом министра национальной экономики Республики Казахстан от 02 августа 2022 г., № ҚР ДСМ-71.
- 5 Subbotin, S.B. Radioactive contamination of water of the Degelen mountain massif // Subbotin, S.B., Dubasov, Yu.V., Radiochemistry. 55, 647–654. – 2013 <https://dx.doi.org/10.1134/S1066362213060155>.

## ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ КИСЛОРОДНОГО СОСУДА СГОРАНИЯ 1121 (BOMB PARR)

**Марченко О.О., Мамырбаева А.С., Айдарханова А.К., Тимонова Л.В.**

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Тритий ( $^3\text{H}$ ) – бета-излучатель, в силу своих радиохимических свойств, легко растворяется в жидкостях, попадает в организм человека, нанося ущерб здоровью, в том числе на генетическом уровне. Радиационное воздействие  $^3\text{H}$  является следствием потребления человеком продуктов питания и питьевой воды, загрязненных  $^3\text{H}$ , а также, при вдыхании, через кожный покров. При наличии  $^3\text{H}$ , весь человеческий организм подвергается воздействию бета-излучения [1].

Период полураспада  $^3\text{H}$  – 12,26 года. Образуясь в атмосфере, литосфере и гидросфере  $^3\text{H}$  участвует в круговороте воды в природе. Газообразный тритий (НТ), вступая во взаимодействие с почвой, растительностью и атмосферным воздухом, становится составной частью воды (НТО) и органического вещества биологических объектов.  $^3\text{H}$ , в виде этих соединений, за счет ингаляции и по пищевым цепочкам поступает в организм человека. Опасность  $^3\text{H}$  в качестве источника внутреннего облучения определяется возможностью его присутствия в любых тканях в биологическом объекте, включая генетический материал клетки [2].

$^3\text{H}$ , входящий в состав органических веществ, называется органически-связанный тритий (ОСТ). ОСТ представляет более серьезные факторы риска, чем НТО при одинаковом количестве поглощения  $^3\text{H}$  по двум основным причинам.

Во-первых, химическая форма влияет на вероятность проникновения  $^3\text{H}$  в состав ДНК или другие биомолекулы. Поскольку бета-частицы малой энергии  $^3\text{H}$  не распространяются на большие расстояния, то разница в повреждениях, нанесенных  $^3\text{H}$ , который сконцентрирован в ядре клетки (где находится ДНК), и тем, который находится в цитоплазме, будет велика. Например, ОСТ, попадающий в организм с пищей, более вероятно войдет в состав биомолекул, чем  $^3\text{H}$ , который проникает в организм с питьевой тритиевой водой.

Второй причиной более опасного влияния ОСТ является то, что по сравнению с НТО он, как правило, дольше задерживается в организме. Исследования людей показывают, что половина НТО выходит из организма каждые 10 дней, при этом удаление половины ОСТ из организма занимает от 21 до 76 дней. Для некоторых молекул с очень медленной скоростью перехода это время может увеличиться до 280-550 дней.

### Кислородный сосуд сгорания 1121 (BOMB PARR)

BOMB PARR позволяет преобразовывать твердые образцы в растворимые формы с целью дальнейшего анализа их на ОСТ. Его преимуществом является быстрое разложение увеличенных навесок медленногорящих образцов с полным

сохранением всех аналитических компонентов, что повышает статистическую значимость полученных данных.

С помощью BOMB PARR проводят подготовку образцов объектов окружающей среды для дальнейшего исследования содержания в них ОСТ. Технологическая схема изображена на рисунке (Рисунок 1).

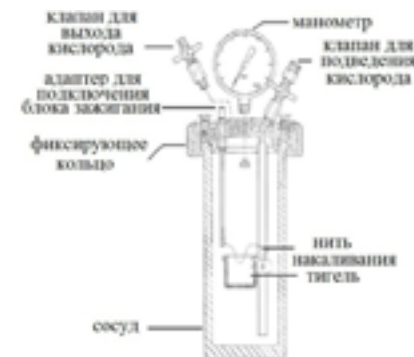


Рисунок 1. Технологическая схема BOMB PARR

Для пробоподготовки с помощью BOMB PARR необходимо выполнить определенный алгоритм действий (Рисунок 2). В первую очередь в сосуд добавляется необходимый объем дистиллированной воды. Далее в тигель помещается образец для сжигания, сверху которого добавляется бензойная кислота. Следующий шаг – установка нити накаливания на электродах так, чтобы она касалась образца, но не самого тигля. После этого необходимо собрать всю установку, плотно закрутив винты, одев фиксирующее кольцо. Далее подсоединить шланг для заполнения сосуда кислородом, подать кислород до



а) образец, помещенный в тигель      б) сосуд в собранном виде      в) заполнение сосуда кислородом      г) сжигание образца

Рисунок 2. Этапы подготовки образца с помощью BOMB PARR

требуемого давления 20 бар. Достигнув данного значения, обязательно спустить давление в линии газопровода. После подсоединить блок зажигания, обеспечивающий необходимый электрический ток для запуска кислородного

сосуда от линии и произвести сжигание образца, нажав кнопку запуска. Время горения образца длится 30 секунд.

В качестве образцов для сжигания на первых этапах использована растительность. Результаты пробных запусков показали образование черного налета и черных кусочков на стенках кюветы, что является доказательством того, что сгорание было полным. Полученные оксиды образовались в результате химической реакции под действием высокого давления и температуры.

### Подбор оптимальных условий для проведения запусков BOMB PARR

Отработка методики была разделена на несколько этапов. В процессе первого были подобраны оптимальные параметры запуска установки. К ним относятся: вид бензойной кислоты ( $C_7H_6O_2$ ) (таблетированная, порошкообразная), оптимальная масса навески растительности, необходимый объем дистиллированной воды для добавления в сосуд с учетом потерь при сгорании, выбор подходящего сцинтиллятора для проведения измерений, время выдержки перед сбросом давления из сосуда.

Во время второго этапа подготовлены образцы растений, отобранные на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), с учетом выявленных оптимальных параметров.

Для полного сгорания образца, согласно рекомендациям, необходимо использование  $C_7H_6O_2$ .  $C_7H_6O_2$  имеет известную температуру воспламенения, поэтому ее используют в качестве эталона для калибровки калориметров, кислородных сосудов сгорания, так как условия опытов по калибровке калориметров и по сжиганию веществ очень близки[1]. Возможно использование двух видов в виде порошка или таблетки, которая укладывается или посыпается на исследуемый образец. Экспериментальным путем выявлено, что таблетированная  $C_7H_6O_2$  неудобна в использовании – требуется больше времени для установки нити накаливания из-за формы таблетки (выпуклая, гладкая), по сравнению с кислотой в виде порошка.

При определении необходимой массы  $C_7H_6O_2$  установлено что, чем больше объем образца – тем меньше масса кислоты.

К примеру, при сжигании фильтра «синяя лента» добавляли 0,5 г.  $C_7H_6O_2$ . А при подготовке образцов растительности, которые занимали половину объема тигля, – 0,3 г.  $C_7H_6O_2$ .

При добавлении больше необходимого объема  $C_7H_6O_2$  после сжигания на стенках сосуда образуется черный налет и крупные куски сажи, что может повлиять на результаты анализа (Рисунок 3).

Согласно принципу работы BOMB PARR, при подготовке проб в сосуд добавляется дистиллированная вода. В данном случае она выступает в качестве поглотительного раствора для  $^3H$ . Необходимо учитывать возможные потери воды при сжигании. На практике и с помощью расчетов выявлено, что потери составляют 10 % от начального объема.



Рисунок 3. Образование черного налета и сажи на стенках сосуда при неправильном подборе массы бензойной кислоты

После проведения запуска дистиллированная вода собиралась в вials в полном объеме. Далее к полученному образцу добавлялась сцинтилляционная жидкость, в соотношении 5:15 соответственно. В лаборатории, где проходили данные исследования, имеются в доступе два вида сцинтилляционной жидкости – Ultima Gold и Ultima Gold LLT.

Для подбора необходимого сцинтиллятора были подготовлены 10 образцов с помощью BOMB PARR (Рисунок 4). В первые 5 вials добавлен Ultima Gold, но после смешивания отмечено, что в нескольких образцах образовалась взвесь белого цвета (№4 и №5), что не допускается. Поэтому в последующие добавлен сцинтиллятор Ultima Gold LLT. Полученные сцинтилляционные коктейли не имели белой взвеси и были прозрачны.



Рисунок 4. Счетные образцы с добавлением разных видов сцинтилляторов Ultima Gold (образцы №1-5), Ultima Gold LLT (образцы №6-10)

Подготовленные образцы анализировались при помощи жидкосцинтилляционного бета-спектрометра «TRI-CARB 2900». Время измерения одного образца составляет 2 часа[3].

Один из немало важных параметров – время выдержки перед сбросом давления из сосуда после сжигания образца. Согласно руководству использования оно составляет 3 минуты. Однако, как показали результаты данного времени недостаточно для полного оседания ОСТ на дистиллированную воду.

В подтверждении этого приведены результаты сжигания фильтров, на который наносился источник ОСТ известной активности. Полученные активности счетных образцов показали расхождение в сходимости полученных результатов (Таблица 1).

**Таблица 1. Результаты проб, подготовленных с помощью BOMB PARR**

№ п/п	Вид пробы	Активность (полученная), Бк/кг	Активность (теоретическая), Бк/кг
1	фильтр	$2,5 \cdot 10^6 \pm 0,3 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7 \pm 0,2 \cdot 10^7$
2	фильтр	$3,0 \cdot 10^4 \pm 0,3 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^5 \pm 0,4 \cdot 10^5$
3	фильтр	$4,4 \cdot 10^3 \pm 0,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$
4	фильтр	$1,4 \cdot 10^4 \pm 0,1 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$

Значения результатов, полученные после сжигания, значительно меньше, следовательно, что вовремя пробоподготовки происходят большие потери ОСТ.

Предположительно, что при проведении сброса давления через трубку вместе с газом поднимаются и пары с  $^3\text{H}$ .

Экспериментальным путем выяснено, что оптимальное время выдержки для полного поглощения, выделенного ОСТ из образца дистиллированной водой составляет период не менее 6 часов (Таблица 2).

**Таблица 2. Результаты проб, подготовленных с помощью BOMB PARR, при времени выдержки 6 часов**

№ п/п	Вид пробы	Активность (полученная), Бк/кг	Активность (теоретическая), Бк/кг
1	фильтр	$4,8 \cdot 10^6 \pm 0,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7 \pm 0,2 \cdot 10^7$
2	фильтр	$5,0 \cdot 10^6 \pm 0,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^7 \pm 0,2 \cdot 10^7$
3	фильтр	$1,4 \cdot 10^5 \pm 0,1 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^5 \pm 0,4 \cdot 10^5$
4	фильтр	$1,7 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4 \pm 0,4 \cdot 10^4$

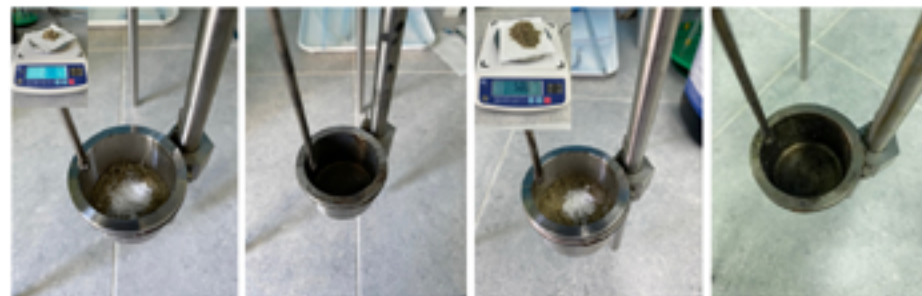
Как видно из результатов, потери ОСТ сократились при данном времени выдержки.

Определение содержания ОСТ в растениях, отобранных на Семипалатинском испытательном полигоне. В качестве образцов для исследования были выбраны пробы растений с известной активностью, отобранные ранее на площадке «Балапан», подготовленные на PerkinElmer Sample Oxidizer и в дальнейшем проанализированные с помощью спектрометра Quantulus 1220.

Подготовка проб проводилась стандартными методами (сушка и измельчение).

Высушивание проб проводилось до постоянного веса, при температуре  $90^\circ\text{C}$  (данный этап позволяет избавиться от  $^3\text{H}$  в виде НТО в образцах). Измельчение проводилось до размера частиц 500 микрон, что уменьшает объем навески и позволяет добиться меньшего заполнения объема тигля образцом.

В первую очередь для проверки полного сгорания подготовлены образцы растений с разной массой (от 1 до 5 г с шагом в 1 г) (Рисунок 5).



*Рисунок 5. Сжигание растительности разной массы образца*

Следует отметить, что в следствие сжигания некоторых образцов массой 5 г, на стенках сосуда обнаружены крупные куски сажи, а цвет полученной пробы имел желтый оттенок. Данные факторы могут повлиять на результаты измерений счетного образца, поэтому рекомендованная масса для сжигания растительности с помощью BOMB PARR не более 5 г.

Проведен сравнительный анализ полученных данных на Oxidizer и BOMB PARR. Для этого взяты результаты сжигания образцов растительности массой 2 г (Таблица 3).

**Таблица 3. Результаты проб, подготовленных с помощью BOMB PARR и Oxidizer**

№ п/п	№ пробы	Удельная активность ОСТ (BOMB PARR)	Удельная активность ОСТ (Oxidizer)
1	163202 (1)	$5,0 \cdot 10^3 \pm 0,5 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$
2	163202 (2)	$1,3 \cdot 10^4 \pm 0,1 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4 \pm 0,3 \cdot 10^4$
3	163183	$4,0 \cdot 10^3 \pm 0,4 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^4 \pm 0,3 \cdot 10^4$

Из представленных результатов видно, что удельная активность растений после сжигания на BOMB PARR ниже, в сравнении с Oxidizer. После полученной разницы в результатах, было решено провести расчет активности с последующим учетом навески образца и полученного объема дистиллированной воды по формулам:

$$A1 = \frac{(CPM - CPM\phi) \cdot 1000}{60 \cdot Eff \cdot m_{обп}} \quad (1)$$

$$A2 = \frac{A1 \cdot m \pi \rho}{m_{обп}} \quad (2)$$



где:

A1 – активность образца без пересчета, Бк/кг;  
 СРМ – количество импульсов в минуту;  
 СРМф – количество импульсов в минуту фонового образца;  
 тобр – масса образца для сжигания, г;  
 Eff – эффективность измерений;  
 A2 – активность с учетом массы полученной пробы после сжигания, Бк/кг;  
 mпр – масса пробы полученной после сжигания, г.

Было подготовлено 4 образца растений (№163202(1), №163183 повторно, два дополнительно). Результаты измерений представлены в таблице (Таблица 4).

**Таблица 4. Результаты удельной активности ОСТ проб растительности с учетом пересчета**

№ п/п	№ пробы	Удельная активность ОСТ (BOMB PARR)	Удельная активность ОСТ (Oxidizer)
1	163183	$2,5 \cdot 10^4 \pm 0,3 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4 \pm 0,3 \cdot 10^4$
2	163202 (1)	$2,7 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4 \pm 0,2 \cdot 10^4$
3	163187	$6,0 \cdot 10^4 \pm 0,6 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^4 \pm 0,9 \cdot 10^4$
4	163194	$4,0 \cdot 10^4 \pm 0,4 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4 \pm 0,4 \cdot 10^4$

Согласно полученным значениям удельных активностей с учетом пересчета сходимость составляет 80%.

Выводы. В результате проведенных работ установлены оптимальные параметры для запуска установки. К ним относятся: объем дистиллированной воды, масса и вид бензойной кислоты, вид сцинтиллятора, время полного поглощения ЗН, оптимальная масса навески растительности.

Сходимость результатов измерения и подготовки образцов подготовленных с помощью BOMB PARR и Oxidizer составила 80%.

Отработанную методику можно использовать для совершенствования технологии подготовки проб при изучении радиоактивного загрязнения  $^3\text{H}$  в окружающей среде.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тритий – это опасно // Центр поддержки гражданских инициатив; под. ред. В.А. Батурина. – Челябинск, 2001. – 58 с.
2. Salbu B., Burkitbayev M. et.al. Tritium in streams, well waters and Atomic lakes at the Semipalatinsk Nuclear Test Site: present status and future respective. Nuclear risk in Central Asia book series. NATO Science for peace and Security Series C – Environmental Security The Netherlands. – 2008. – P.41-60.
3. Качество воды. Тритий. Метод определения активности с помощью жидко-сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 9698:2019 (E). – Введ. 2019-12-01. – Москва: ВЦП НТЛИД, 2019. – 17с. – Инв. № Т-1008.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЫВШЕГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА «АЗГИР» С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2022 ГОДУ

<sup>1</sup>Севериненко М.А., <sup>1,2</sup>Ахметжанова Д.С., <sup>1</sup>Сляднева В.Н.,  
<sup>1</sup>Аристов П.А., <sup>1</sup>Болатбек Е.Ж.

<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты исследования подземных вод первого водоносного горизонта бывшего испытательного полигона «Азгир», с учетом новых данных об их микроэлементном и радионуклидном составе, полученных после бурения новых наблюдательных скважин в 2021-2022 году. Показано, что в настоящее время процессы миграции радионуклидов из подземных полостей, отсутствуют. Залегание подземных вод характеризуется отдельными разрозненными линзами, а также наличием локального бассейна, расположенного между соляными куполами Западный и Восточный Азгир.

#### ВВЕДЕНИЕ

Полигон Азгир расположен в Курмангазинском районе Атырауской области в Западном Казахстане и является одним из радиационно опасных объектов Казахстана. В период 1966-1979 г. на 10 технологических площадках полигона было проведено 17 мирных подземных ядерных взрывов для нужд народного хозяйства. После закрытия полигон получил статус радиационно-опасного объекта и стал являться объектом радиоэкологических исследований [1-4]. Институт ядерной физики с 1999 г. осуществляет работы по обеспечению радиационной безопасности на полигоне и прилегающих территориях. За прошедшее время специалистами Института выполнены три этапа комплексных исследований, а также работы по ликвидации локальных пятен радиоактивного загрязнения с захоронением загрязненного металлолома и грунта, оставшегося на полигоне после проведения испытаний. С 2001 г. на полигоне и прилегающих территориях функционирует и постоянно совершенствуется система комплексного радиоэкологического мониторинга, целью которого является контроль параметров, характеризующих текущую радиоэкологическую обстановку на наблюдаемой территории.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Миграция радионуклидов из полостей ядерных взрывов с подземными водами рассматривается как один из основных механизмов потенциальной радиоэкологической опасности. Возможными путями миграции радионуклидов из полостей в вышележащие водоносные горизонты и, в конечном итоге, в окружающую среду являются рабочие и технологические скважины и макроструктура трещин после взрыва, которая может активизироваться и связать центральную зону полости с находящимся в ней радиоактивным рассолом с вышележащими водоносными горизонтами. Появлению трещин в солевом массиве, окружающем полость, может способствовать продолжающаяся активность геологи-

ческих процессов. Для своевременного обнаружения и предотвращения данной угрозы система радиоэкологического мониторинга полигона и прилегающих территорий до 2021 года включала парк из 10 гидрогеологических наблюдательных скважин и 5 колодцев (скважины: С-2001, С-2002, С-2003, С-2004, С-2005, С-2006, С-1064, С-1081, С-1084, С-2; колодцы: Азгир1, Азгир2, Азгир4, Жартык, Булак). В 2021-2022 гг. для усовершенствования системы мониторинга подземных вод было пробурено 12 новых наблюдательных скважин (С-2007, С-2008, С-2009, С-2010, С-2011, С-2012, С-2013, С-2014, С-2015, С-2016, С-2017, С-2018), расположение которых было тщательно продумано заранее.

На основе предварительного изучения архивной информации (рисунок 1) о гидрогеологических условиях полигона, было известно о предполагаемых условиях залегания подземных вод. Исследуемая площадь в геологическом отношении характеризуется широким распространением двух соляных куполов:

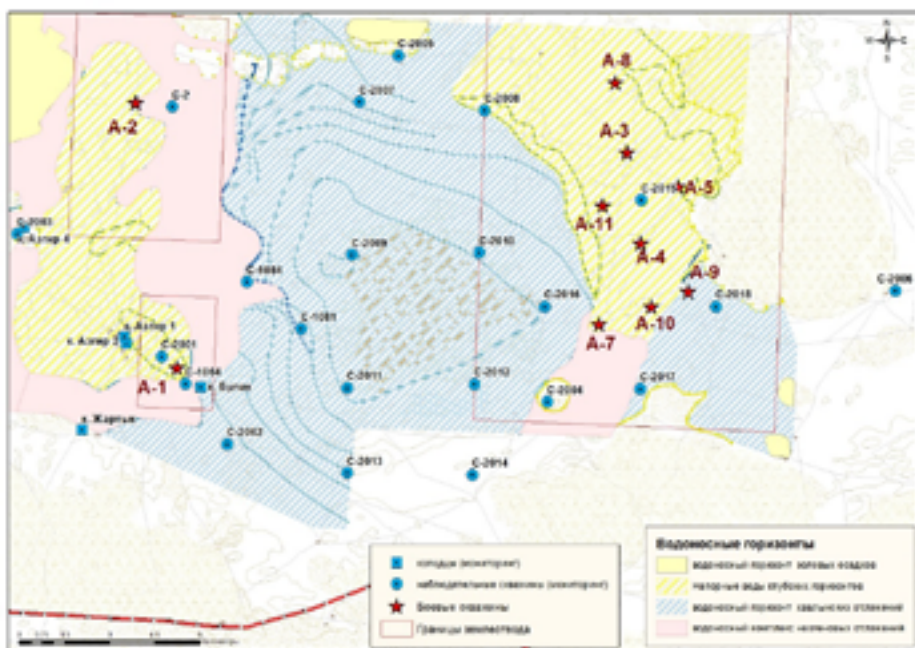


Рисунок 1. Карта расположения водоносных комплексов и наблюдательных скважин и колодцев полигона «Азгир»

Западный и Восточный Азгир. В этих геологических структурах расположены созданные в результате подземных ядерных взрывов полости полигона «Азгир». Соляные купола разделены достаточно большой компенсационной мульдой «Ужантатор», которая на дневной поверхности представляет собой естественное понижение рельефа. В гидрогеологическом отношении мульда может представлять собой локальный артезианский бассейн и в системе миграции играть роль локального сборника передвигающихся вод и содержащихся в них

примесей (а при нарушении полостей технологических скважин – возможно, радионуклидов).

Подземные водоносные горизонты изучаемой территории представлены, преимущественно, водоносными горизонтами эоловых и хазарский отложений (рисунок 1), напорные и безнапорные. В результатах мониторинга, проводимого в предыдущие годы, указывалось о постоянстве и сильной дифференциации подземных вод из разных скважин по химическому составу (макро-и микро-элементному, и солевому составу и общей минерализации), представлялось заключение о преимущественном залегании подземных вод в виде локальных подземных линз, а также абсолютной непригодности подземных вод для хозяйственно-бытового использования и питья [6-9].

На существующее положение, система комплексного радиоэкологического мониторинга включает в себя парк из 22 наблюдательных гидрогеологических скважин и 5 колодцев, рассредоточенных по территории полигона следующим образом (рисунок 1):

1. Скважины С-2001, С-2002, С-2003, С-2004, С-2005, С-2006, С-1064, С-1081, С-1084, С-2 расположены преимущественно вблизи мест размещения боевых скважин, в основном на куполе Западный Азгир, для контроля процессов миграции радионуклидов из боевых скважин, расположенных в этой части полигона.
2. Скважины С-2007, С-2008, С-2009, С-2010, С-2011, С-2012, С-2013, С-2014 расположены в районе расположения т.н. мульды «Ужантатор», для исследования преимущественного направления возможных процессов миграции радионуклидов из подземных полостей полигона.
3. Скважины С-2015, С-2016, С-2017, С-2018 расположены на Восточном куполе, для контроля возможных процессов миграции из боевых скважин в восточную сторону.
4. В систему мониторинга также входят колодцы, расположенные близко или на территории прилегающих к полигону населенных пунктов (к.Жартык, к.Булак, к.Азгир-1, к.Азгир-2, к.Азгир-4).

Имеющиеся и новые наблюдательные скважины пробурены на среднюю глубину около 20 м.

После бурения новых скважин получена дополнительная информация о радионуклидном, макро-, микроэлементном и солевом составе подземных вод. С точки зрения радиационной безопасности, важнейшее значение имеют данные об уровнях содержания радионуклидов (особенно техногенных и  $^3\text{H}$ ) в подземных водах из новых скважин, как свидетелей наличия или отсутствия процессов миграции из подземных полостей полигона. Кроме этого, после получения новых данных, научный интерес стало представлять подтверждение информации о характере залегания подземных вод полигона на глубине до 20 м. Ожидалось, что попытка установления связи между химическим составом воды из существующих ранее и новых наблюдательных скважин может дать ответ на вопрос: имеется ли общий водоносный горизонт в районе расположения мульды «Ужантатор» и получить дополнительное подтверждение о преиму-

щественном залегании подземных вод в виде локальных разрозненных линз. Полученная информация позволит определить возможные направления миграции радионуклидов, в случае если такой процесс начнется.

Для целей представленного исследования выбраны результаты мониторинга подземных вод полигона «Азгир» и прилегающих территорий, полученные в 2022 году (средние за весенний и осенний периоды). Изучен состав подземных вод по таким показателям как суммарная альфа- и бета-активность, уровни удельной активности природных и техногенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ), микроэлементный (Na, Mg, K, Ca, V, Cu, Se, As, U, Hg, Cd, Ni, Pb, Al, Co, Cr, Mn, Fe, Ba, Zn, Sr, Li, Mo, Be) состав, общая минерализация, содержания хлорид и сульфат ионов. Отсюда и далее совокупность данных о микроэлементном составе, общей минерализации, содержания хлорид и сульфат ионов подземных вод авторы будут называть «химический состав».

Результаты радионуклидного анализа проб подземных вод представляют собой прямую информацию об уровнях содержания природных и искусственных радионуклидов для определения радиационной безопасности изучаемых водоносных горизонтов на текущее положение.

Для определения возможных направлений миграции радионуклидов из подземных полостей в водоносные горизонты наиболее презентативную картину можно увидеть в результате сопоставления данных о химическом составе подземных вод из существующих и новых наблюдательных скважин (и колодцев) полигона. Предполагалось, что один и тот же водный горизонт имеет схожий элементный состав; обратное может свидетельствовать о его отсутствии. Для анализа совокупности данных о химическом составе подземных вод применялся кластерный и, для проверки результатов, факторный анализ взаимосвязи переменных (состав воды) с применением аппарата математической статистики STATISTICA, а также MS Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Радиационная характеристика подземных вод*

Результаты радионуклидного анализа проб воды представлены в таблице 1. Из представленных данных видно, что значения удельных активностей большинства изученных техногенных радионуклидов в воде всех скважин и колодцев находятся значительно ниже уровня вмешательства (УВ), регламентированного гигиеническим нормативом Республики Казахстан [5], что свидетельствует об отсутствии радиационного загрязнения подземных вод. Среднее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  не превышает 0,19 Бк/л,  $^{239+240}\text{Pu}$  – 0,27 мБк/л, многократно ниже нормируемых показателей и соответствует результатам мониторинга за предыдущие годы [6-9]. Отсутствие в воде наиболее миграционного радионуклида  $^3\text{H}$  (14 Бк/л) свидетельствует об отсутствии процессов миграции из подземных полостей полигона в настоящее время.

**Таблица 1. Средние (за весну и осень) значения удельной активности естественных и техногенных радионуклидов в пробах подземных вод за 2022 г.**

Скважина / колодец	226Ra, Бк/л	232Th, Бк/л	40K, Бк/л	3H, Бк/л	239+240Pu, мБк/л	90Sr, мБк/л	137Cs, Бк/л
C-2001	0,48	0,34	12	10	0,23	14,1	0,18
C-2002	0,41	0,38	13	10	0,17	15,6	0,18
C-2003	0,53	0,49	12	11	0,16	14,4	0,19
C-2004	0,44	0,28	12	9	0,21	18,0	0,18
C-2005	0,45	0,28	13	6	0,22	13,6	0,17
C-2006	0,44	0,48	13	9	0,22	14,0	0,19
C-1084	0,46	0,48	12	7	0,16	15,6	0,18
C-1081	0,41	0,28	12	7	0,21	15,8	0,17
C-1064	0,41	0,39	12	7	0,27	114,7	0,17
Скв. С-2	0,47	0,43	13	7	0,16	14,2	0,19
к.Жартык	0,45	0,30	13	10	0,19	14,6	0,18
к.Булак	0,66	0,45	13	9	0,19	13,5	0,19
к.Азгир-1	0,40	0,56	11	6	0,20	13,4	0,17
к.Азгир-2	0,40	0,53	12	7	0,18	17,8	0,14
к.Азгир-4	0,45	0,28	12	7	0,27	14,0	0,19
C-2007	0,43	0,29	13	10	0,17	13,8	0,18
C-2008	0,40	0,30	12	8	0,19	14,2	0,17
C-2009	0,40	0,27	12	9	0,17	15,4	0,16
C-2010	0,44	0,28	12	9	0,18	16,2	0,18
C-2011	0,42	0,28	12	10	0,18	14,9	0,17
C-2012	0,63	0,29	12	7	0,20	16,8	0,16
C-2013	0,52	0,29	13	10	0,19	19,4	0,010
C-2014	0,44	0,29	13	8	0,17	18,5	0,013
C-2015	0,45	0,45	13	11	0,26	16,1	0,012
C-2016	0,45	0,30	12	11	0,26	14,4	0,010
C-2017	0,45	0,30	13	7	0,23	13,8	0,010
C-2018	0,42	0,32	12	8	0,16	17,7	0,010
Ср.знач за 2021 г.	0,42	0,35	12	7	0,20	27,1	0,3
УВ (ГН СЭТОРБ)	0,49	0,60	-	7600	1100	4900	11

Средняя суммарная  $\sum\alpha$  активность проб (рисунок 2а) воды находится в пределах 0,02-0,9 Бк/л. Повышенные значений  $\sum\alpha$  в пробах воды отдельных скважин обусловлено присутствием в них природного  $^{226}\text{Ra}$ , соответствует результатам мониторинга за предыдущие годы и характерно для подземных вод Западного Казахстана. Значения  $\sum\beta$  активности (рисунок 2б) повсеместно находится в пределах ДУ.

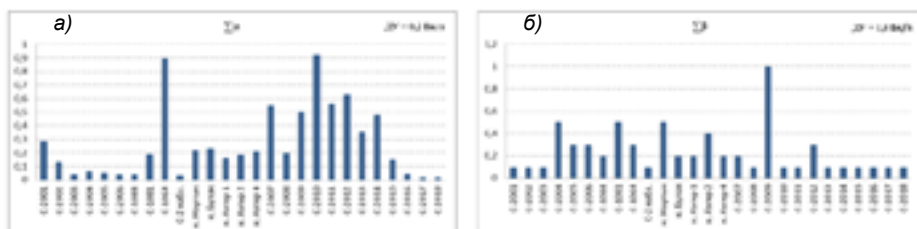


Рисунок 2. Средняя суммарная а) альфа- и б) бета-активности в пробах подземных вод за 2022 г.

### Характеристика подземных вод по химическому составу

Для установления связи между химическим составом воды исследуемых скважин и колодцев, совокупность данных о химическом составе воды описана с помощью метода главных компонент (PCA анализ), в результате которого получены две главные компоненты, описывающие 61% данных (рисунок 3).

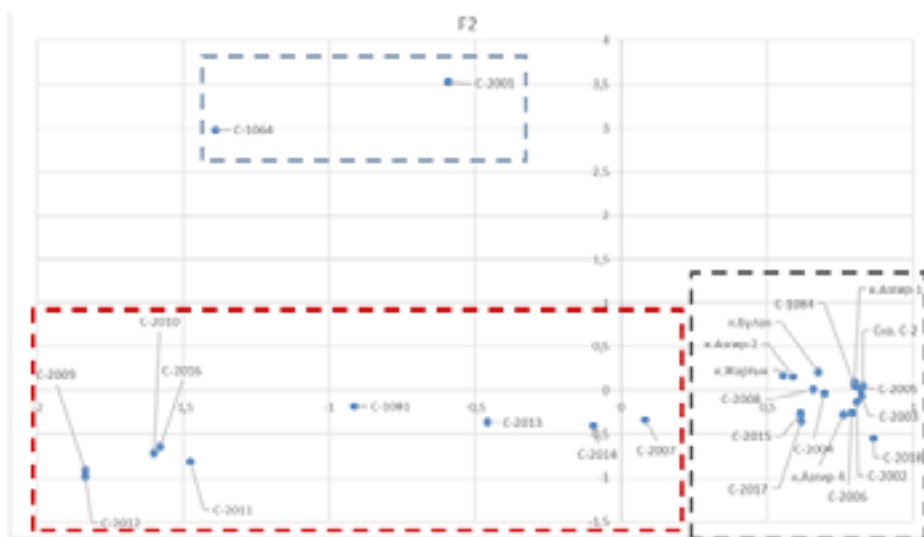


Рисунок 3. Результаты многомерного факторного анализа по данным элементного состава водных проб из существующих и новых наблюдательных скважин

Две главные компоненты, визуализированные на рисунке 3 показывают, что по близости химического состава воды можно выделить три группы, наблюдательных скважин. Первая: скважины C-1064, C-2001; вторая: скважины C-2009, C-2012, C-2010, C-2016, C-2011, C-1081, C-2013, C-2014, C-2017; третья: скважины C-1084, C-2, C-2018, C-2015, C-2017, C-2004, C-2006, C-2002, C-2018, C-2003, C-2005, колодцы Жартык, Булак, Азгир 1, 2, 4.

Контроль полученных результатов, проведенный с применением кластерного анализа, представленный в виде дендрограммы на рисунке 4, подтверждает по-

лученный результат и выглядит следующим образом: наиболее различимыми оказались кластеры (C-1064, C-2001); (C-2009, C-2012, C-2010, C-2016, C-2011, C-1081, C-2013, C-2014, C-2017) и (C-1084, C-2, C-2018, C-2015, C-2017, C-2004, C-2006, C-2002, C-2018, C-2003, C-2005, колодцы Жартык, Булак, Азгир 1, 2, 4).

Таким образом из рисунков 3, 4 видно, что наиболее отличимыми по химическому

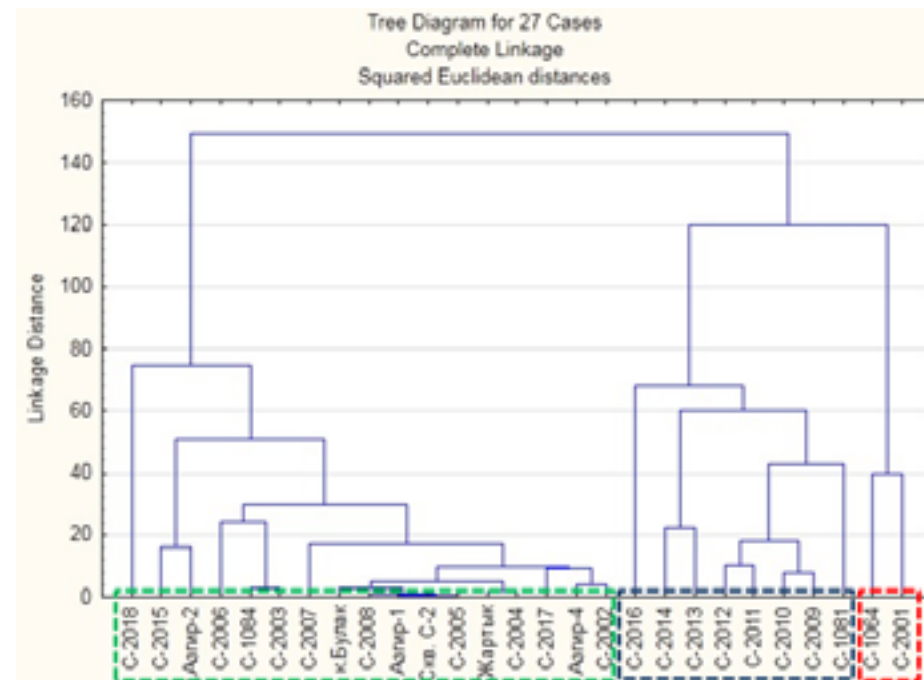


Рисунок 4. Результаты многомерного кластерного анализа по данным элементного состава водных проб из существующих и новых наблюдательных скважин

составу воды являются две группы наблюдательных скважин: C-1064, C-2001 и C-2009, C-2012, C-2010, C-2016, C-2011, C-1081, C-2013, C-2014, C-2017. Третья группа скважин имеет состав воды отличающихся по микроэлементному составу и общей минерализации от двух вышеперечисленных групп и характеризуются некоторой индивидуальностью химического состава воды. Поскольку главные компоненты описывают (PCA анализ) чуть больше половины набора данных, можно говорить о том, что вода из этих скважин не имеет схожего химического состава по сравнению с другими.

Сопоставляя результаты статистического анализа и архивных материалов (рисунок 1) подтверждаются предположения о том, что подземные воды в районе расположения соляных куполов Западный и Восточный Азгир представлены в гидрогеологическом отношении, в виде отдельных разрозненных линз, характеризующихся высокой дифференциацией химического состава. Наибольшие отличия от воды из всех остальных скважин имеют подземные воды из скважин C-1064 и C-2001. Между соляными куполами, следуя сложившимся геологиче-

ским условиям, в месте расположения мульды «Ужантатор» имеется локальный артезианский бассейн, предположительно являющийся зоной разгрузки подземных вод полигона. Скважины С-2009, С-2012, С-2010, С-2016, С-2011, С-1081, С-2013, С-2014, С-2017 расположены по условной границе этого водоносного горизонта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования подземных вод показано, что подземные воды первого водоносного горизонта не имеют признаков радиоактивного загрязнения. Отсутствие трития, как одного из наиболее миграционно-активных радионуклидов, также указывает на отсутствие, на сегодняшний день, процессов миграции радионуклидов из подземных ядерных полостей.

Анализ данных химического состава воды из существующих и новых скважин подтвердил, что в районе расположения Восточного и Западного соляных куполов подземные воды первого водоносного горизонта представлены преимущественно в виде отдельных разрозненных линз и характеризуются сильной дифференциацией по химическому составу. А в месте расположения мульды «Ужантатор», на глубине около 20 м, имеется локальный артезианский бассейн.

Залегание подземных вод в виде локальных линз и локального бассейна является положительным радиозоологическим фактором в зоне расположения такого объекта, как подземные ядерные полости полигона «Азгир». В случае непреднамеренного выхода радионуклидов из подземных полостей, загрязнение будет локализовано в отдельных изолированных гидрогеологических образованиях, без выхода и миграции в крупные водоносные горизонты.

Работа выполнена в рамках республиканской бюджетной программы 036 «Развитие атомных и энергетических проектов», мероприятие «Комплексный мониторинг бывшего полигона «Азгир» и прилегающих территорий» Министерства энергетики Республики Казахстан.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основные характеристики радиационной обстановки после завершения подземных ядерных взрывов на площадке «Галит»: отчет НПО «Радиовый институт им. В. Хлопина». – С.-П., 1991.
2. Полешко А.Н., Лукашенко С.Н., Глуценко В.Н., Ахметов Е.З., Мухамбетжанов Б.Т. Севериненко М.А. Ликвидация последствий ядерных испытаний на полигоне Азгир и современная радиационная обстановка // Актуальные вопросы радиозоологии Казахстана. [Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г.]. Курчатова. – 2011. – Вып.3, т.2. – С.201-247.
3. Полешко А.Н., Глуценко В.Н., Харкин П.В., Левашов М.А., Глуценко Г.М., Матиенко Л.Д., Позняк В.Л. Оценка вклада полигонов «Азгир» и «Капустин Яр» в формирование радиозоологической обстановки населенных пунктов, прилегающих к полигонам // Тезисы докладов X международной конференции «Ядерная и радиационная физика». – Курчатова, 2015. – С.150-151.

4. Глуценко В.Н., Макарова В.А., Нугманов Д.К., Севериненко М.А., Аристов П.А., Ахметжанова Д.С. История радиозоологических исследований на полигоне «Азгир». Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.15, 2020 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Нур-Султан, 2020. ISBN 9965-32-597-9. С. 21-27.
5. Об утверждении гигиенических нормативов к обеспечению радиационной безопасности. Приказ Министра здравоохранения РК от 2 августа 2022 года № ҚР ДСМ-71. Зарег. в Мин. юстиции РК 3 августа 2022 года № 29012.
6. Глуценко В.Н., Макарова В.А., Севериненко М.А., Ахметжанова Д.С., Нугманов Д.К. Оценка возможности использования в питьевых целях вод из колодцев поселков, прилегающих к полигону «Азгир». Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов, вып.15, 2020 / Ассоциация «Ядерное общество Казахстана». – Нур-Султан, 2020. ISBN 9965-32-597-9. С. 13-20.
7. Глуценко В.Н., Полешко А.Н., Моренко В.С. и др. Комплексный мониторинг полигона «Азгир» и прилегающих территорий. Тезисы II международного научного форума «Ядерная наука и технологии». Алматы, РГП «Институт ядерной физики», 2019. С.174
8. Глуценко В.Н., Севериненко М.А., Макарова В.А., Нугманов Д.К., Ахметжанова Д.С., Аристов П.А., Сляднева В.Н., Харкин П.В., Ленник С.Г. Современная радиозоологическая обстановка на бывшем испытательном полигоне «Азгир». Материалы VIII Республиканской научно-практической конференции «Медико-биологические и экологические проблемы в уранодобывающих регионах с международным участием». Нур-Султан, 2021 г., С.38-39.
9. Севериненко М.А., Ахметжанова Д.С., Кошжанов А.Т., Матиенко Л.Д. Результаты комплексного радиозоологического мониторинга бывшего полигона «Азгир» за 2020 год. Материалы I Международной научной школы-конференции «Атом. Наука. Технологии». – Алматы, 2021. ISBN 978-601-08-0927-7. – С.53

## АНАЛИЗ И МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ГРУППЫ КОМПАНИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» ДО 2060 ГОДА

**Садырбаев Ж.А., Шуриев Т.Х., Беккулиев А.Б.**

АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

Последние мировые события обусловили повышенное внимание к энергетической безопасности и диверсификации источников генерации энергии, что позволило ядерной энергетике выйти на первый план в качестве незаменимой базовой альтернативы ископаемому топливу. На фоне глобального обсуждения вызовов, связанных с изменением климата и преимуществ развития ESG политики наблюдается растущий интерес к атомной отрасли со стороны мирового сообщества.

Сегодня декарбонизация — это не только средство решить экологические и климатические задачи, но и способ обеспечить дифференциацию своей продукции и ее конкурентоспособность в глобальном масштабе. Так, например, крупные мировые компании по производству урана (Cameco, АРМЗ Росатом, Orano, CNNC и др.) уже заявили о своих целях по сокращению выбросов ПГ и достижению углеродной нейтральности.

Казатомпром планирует сыграть существенную роль в реализации усилий по энергопереходу, сохраняя приверженность своей стратегии создания долгосрочной стоимости, при этом соблюдая высокие стандарты производства и экологической безопасности.

Принимая во внимание описанные выше тренды и обязательства страны, Казатомпром понимает, что может внести существенный вклад в достижение целей и задач страны. В связи с чем Казатомпром принял решение о разработке и реализации корпоративной Стратегии декарбонизации и достижению углеродной нейтральности (далее – «Стратегия»), которая включает в себя определение климатических амбиций Компании, систематизацию основных подходов и понимание текущего уровня выбросов ПГ, а также определение мер в области снижения углеродного следа.

Казатомпром в октябре 2022 года разработал и утвердил Стратегию декарбонизации и достижения углеродной нейтральности до 2060 года.

Компания приняла решение по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 году до 10% от показателей 2021 года (охват 1,2) и к 2060 году планирует достигнуть полной углеродной нейтральности.

Казахстан является одним из крупных эмиттеров источников парниковых газов (ПГ) в мире – страна входит в топ-30 стран и юрисдикций по объему выбросов ПГ, и находится на 11 месте в мировом рейтинге стран по углеродоемкости ВВП, а также в топ-15 стран по выбросам CO<sub>2</sub> на душу населения.

В 2020 году общие выбросы парниковых газов (ПГ) в Казахстане без учета ЗИЗЛХ (землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство) составили 342,868 млн. тCO<sub>2</sub>-эквивалента.

Казатомпром входит в группу компаний АО «Самрук-Казына» (далее – Фонд), где в группу компаний Фонда входят предприятия нефтегазового и транспортно-логистического секторов, химической и атомной промышленности, горно-металлургического комплекса, энергетики и недвижимости. Углеродный след (прямые и косвенные выбросы CO<sub>2</sub>) группы Фонда по итогам 2021 года оценивается в 57,8 млн тонн CO<sub>2</sub> (прямые – 47,0 млн.тонн CO<sub>2</sub>, косвенные – 10,8 млн.тонн CO<sub>2</sub>).

Однако, исходя из специфики деятельности и данных ежегодной инвентаризации выбросов ПГ Казатомпром, преобладающими являются косвенные выбросы от Охвата 2. Основными группами потребителей энергии и источниками прямых выбросов парниковых газов, которые связаны со сжиганием ископаемого топлива, являются котельные установки, передвижные компрессорные станции с дизельным двигателем и автотранспортные средства. Ниже представлена структура источников выбросов ПГ за 2019-2021 гг. или 13% от общего углеродного следа по Охватам 1 и 2.



График 1. Суммарные прямые и косвенные выбросы ПГ за 2019-2021годы, (тыс. тCO<sub>2</sub>-эке).



График 2. Структура выбросов ПГ Охвата 1 по сегментам деятельности, 2021 г.

Суммарные косвенные выбросы парниковых газов Компании за 2021 год составили 87% (836 тыс. тCO<sub>2</sub>-эке) от общих выбросов. Образование выбросов Охвата 2 напрямую связано с закупом энергетических ресурсов на собственные нужды путем рыночного метода.



График 3. Структура границ ДЗО КАП, Структура ДЗО КАП, входящих в периметр Стратегии



График 4. Структура выбросов ПГ (прямые) по направлениям деятельности 2018-2021гг.

Согласно отчету международного энергетического агентства, в 2020 году на атомную энергетику приходилось около 10% мирового производства электроэнергии. Атомная энергетика по-прежнему является вторым по величине источником электроэнергии с низким уровнем выбросов ПГ после гидроэнергетики.

Без участия АЭС общие выбросы от производства электроэнергии были бы почти на 20% выше, а общие выбросы, связанные с энергетикой — на 6% выше за этот период. На страны с развитой экономикой приходилось более 85% этих предотвращенных выбросов. Без участия АЭС общие выбросы от производства электроэнергии были бы почти на 20% выше, а общие выбросы, связанные с энергетикой — на 6% выше за этот период. На страны с развитой экономикой приходилось более 85% этих предотвращенных выбросов.

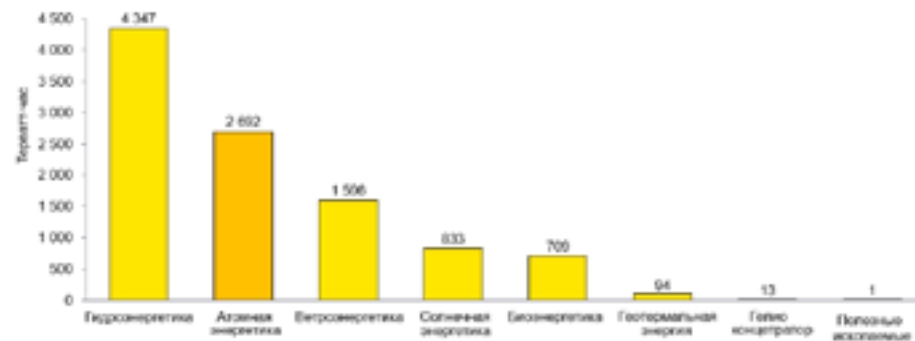


График 5. Производство электроэнергии среди возобновляемых и альтернативных источников энергии

Согласно МЭА к 2040 году 85% мировой электроэнергии будет производиться из чистых источников, по сравнению с 36% сегодня.

Учитывая значимость и контекст климатической повестки, международные уранодобывающие компании формируют собственные цели по декарбонизации различной амбициозности. Во многих случаях уровень долгосрочных амбиций совпадает со странами целями по снижению выбросов ПГ в регионах присутствия компаний.

Компании-аналоги активно устанавливают цели по декарбонизации и разрабатывают долгосрочные стратегии

Сценарий развития	Заявленная цель по снижению выбросов ПГ	Описание и список мер
Базовый сценарий	-5% к 2030	Несмотря на то, что многие из технологий в настоящее время неэкономичны, со временем они станут более эффективными и доступными, что позволит компаниям добиться дальнейшего сокращения выбросов. Улучшение управления энергопотреблением.
Сценарий низкоуглеродного развития	-40% к 2025	Замена оборудования более эффективной технологией, в которой не используются охлаждающие жидкости, содержащие гидрофторуглероды, оптимизация потребления ископаемого топлива или программы по повышению осведомленности сотрудников.
Сценарий достижения углеродной нейтральности	100% к 2030	Краткосрочной целью компании является сокращение выбросов ПГ на 30% к 2030 году. Но в то же время в долгосрочной перспективе, компания ставит цель достижения углеродной нейтральности и сокращения выбросов с нулевым уровнем выбросов ПГ, в том числе переходом топлива на морские суда.
Сценарий достижения углеродной нейтральности	100% к 2050	Балансировка выбросов CO2 путем посадки деревьев, экономии энергии, сокращения выбросов и т. д.

В рамках текущей стратегии достижения углеродной нейтральности КАП определяет для себя два основных сценария развития Компании, и один базовый сценарий в рамках инерционного развития бизнеса (business as usual):

Сценарии декарбонизации предполагают два основных направления по пути снижения углеродного следа компании:

**Органическое снижение выбросов** достигается за счет реализации мер повышения операционной эффективности и реконструкции производственных объектов ДЗО с учетом дальнейших планов по наращиванию или сокращению объемов производства.

**Неорганическое снижение** – за счет новых объектов, реализуемых на общекорпоративном уровне и способствующих снижению углеродного следа Компании в целом. В данном направлении предполагаются:

- оптимизационные решения и капитальные мероприятия по энергоэффективности,
- увеличение доли потребления энергии от ВИЭ
- мероприятия по поглощению и секвестрированию углерода.

Инструментами в реализации предварительных климатических амбиций КАП являются:

- Ресурсосбережение и повышение операционной и энергоэффективности в рамках существующих программ увеличения амбициозности проектов ДЗО по снижению на 10% выбросов по направлениям органического и неорганического снижения;
- Вовлечение возобновляемой энергетики в общий энергобаланс на уровне КЦ и распространения лучших практик по ДЗО для обеспечения устойчивого снижения ПГ согласно целям Компании.

СЕКЦИЯ:  
«РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

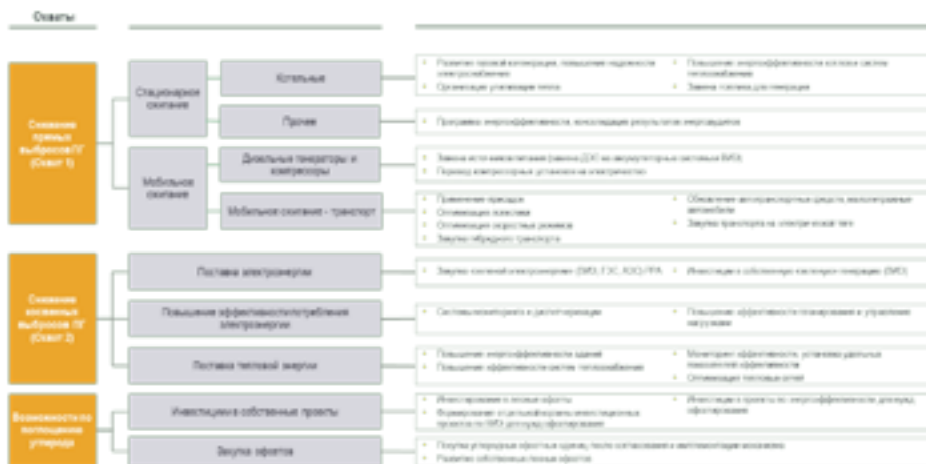


График 6. Основные рычаги декарбонизации по типам выбросов Компании и потенциальные инструменты механизма офсетирования

На основании вышеизложенного, Казатомпром на текущий момент ставит перед собой целью снижения выбросов (score 1 и 2) к 2030 году до 10% от показателей 2021 года (при реалистичном сценарии) и 15% (при оптимистическом сценарии). К 2060 году достичь углеродной нейтральности.



## ПРИМЕНЕНИЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ

**Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А.**

ОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

Республика Казахстан занимает лидирующие позиции по производству урана в мире. Добыча урана на месторождениях пластово-инфильтрационного типа производится методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Метод ПСВ предусматривает подачу выщелачивающего раствора через сеть нагнетательных скважин и подъем урансодержащего раствора на поверхность через откачные скважины для последующего извлечения.

Основная цель современной разработки месторождений полезных ископаемых направлена на наиболее полное извлечение извлекаемых запасов при максимальной экономической рентабельности. Полнота и качество отработки запасов полезных ископаемых имеет важнейшее значение, поскольку является одним из главных резервов повышения экономической эффективности горных предприятий.

Одним из ключевых направлений по оптимизации процесса ПСВ является компьютерное моделирование производственных и добычных процессов. Понимание процессов, протекающих в недрах, становится наиболее достоверным при модельных построениях. Для добывающих предприятий моделирование процесса ПСВ на настоящий момент является наиболее совершенным методом прогнозирования технологических свойств блоков и предоставляет такие возможности, как построение моделей, анализ, прогнозирование и управление процессом добычи урана. В целом, применение моделирующих программ целесообразно в двух случаях: на новых участках и при планировании или нештатной отработке сложных в геолого-технологическом отношении блоков. Опыт отработки, компьютерное моделирование текущего процесса и построение прогнозов развития производственных и геотехнологических процессов позволяют повысить эффективность отработки урановых месторождений.

В данной работе рассмотрены возможности 3D моделирования с помощью программного комплекса (ПК) для изучения процесса добычи урана методом ПСВ.

Программный комплекс для изучения процесса добычи урана методом ПСВ состоит из трех вычислительных и одного информационного модуля: геологический модуль, гидродинамический модуль, модуль химической кинетики и модуль подключения к базе данных «Атомгео» информационной системы «Рудник» для импорта исходных данных (ввод данных также возможен и с текстового формата установленного шаблона).

Построение моделей состоит из следующих этапов: загрузка и формирование входных данных; создание расчетной сетки; построение геологической модели; построение гидродинамической модели на основе интерполированных филь-

трационных данных и данных о дебитах/приемистости; построение модели кинетики выщелачивания на основе данных о кислотности растворов.

При помощи модуля импорта осуществляется загрузка данных по скважинам: наименование скважины, тип скважины (закачная/откачная), координаты с учетом инклинометрии, глубина скважины, расположение фильтров (от/до), производительность скважин в зависимости от типа скважины (дебит/приемистость с соответствующей концентрацией кислоты), фильтрационные и минералогические свойства породы (литологический тип, коэффициент фильтрации и концентрация урана), литологические и рудные интервалы (от/до); по заданным координатам осуществляется создание структурированной, регулярной трехмерной расчетной сетки. Входными данными, в том числе, служат коэффициенты, специфичные для необходимых вычислений (коэффициенты скоростей реакций, вариограммы, граничные условия и т.д.). Также есть возможность экспорта данных для хранения полученных результатов с возможностью дальнейшего их экспорта в распространенных форматах.

Все численные вычисления производятся в узлах расчетной сетки, покрывающей интересующий пласт с учетом инклинометрии.

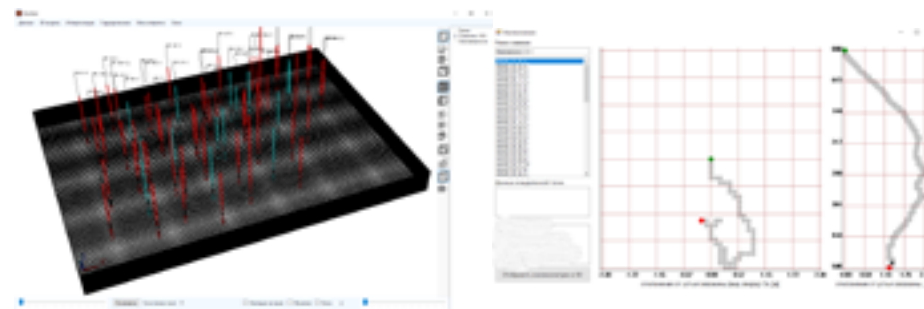


Рисунок 1. Расчетная сетка, покрывающая интересующий пласт с учетом инклинометрии

При помощи геологического модуля производится интерполяция скважинных данных для определения фильтрационных свойств и распределения концентрации урана в межскважинном пространстве блока. Для интерполяции используются методы геостатистики: кригинг и обратных взвешенных расстояний. Модуль геологии позволяет по скважинным данным определить фильтрационные свойства, геометрическое распределение руды и литологические свойства породы в межскважинном пространстве.

В Программном комплексе также есть возможность для импортирования данных геологической модели, построенных в других программных продуктах (например, Micromine) в виде значений блочной модели в текстовом формате для дальнейшего построения моделей гидродинамики и кинетики в ПК.

На примере моделирования исследуемого технологического блока (рис.2) показано как выглядят результаты 3D визуализации по моделированию геологии.

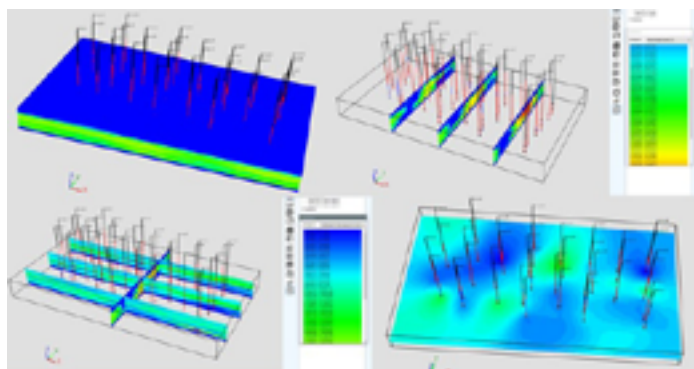


Рисунок 2. Визуализация геологической модели (слева направо и сверху вниз): схема расположения скважин на фоне геологической модели по урану; геологические 3D-модели в виде разрезов по содержанию урана, по коэффициентам фильтрации и урану, по коэффициентам фильтрации в плане.

Есть возможность построения разреза между любыми скважинами, который визуализируется в двумерной форме. В окне криволинейного среза пользователь может поменять отображаемое свойство (уран, проницаемость), отобразить легенду с расшифровкой цветовых значений и увидеть глубину узла, на которую наведен курсор мыши. При этом на картинке отображены скважины, глубина забоя в соответствии с входными данными и вертикальное расположение фильтров (рис. 3).

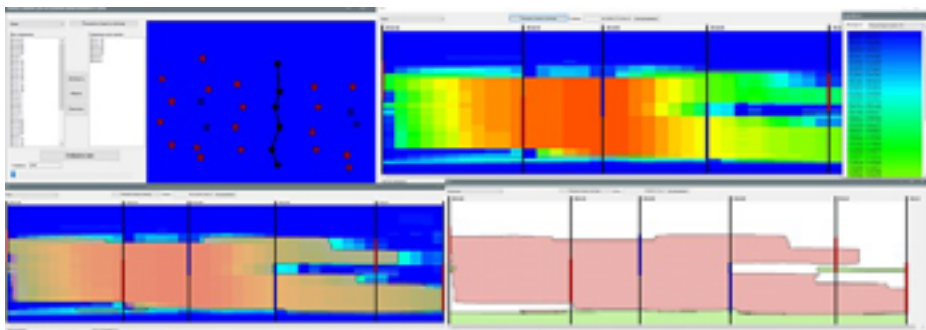


Рисунок 3. Построение разреза (слева направо и сверху вниз): выбор разреза вдоль скважин; отображение разреза вдоль выбранных скважин по содержанию урана в руде согласно легенде; наложенные изолинии со значением по урану выше 0,04 %; дополнительно наложенные изолинии по коэффициенту фильтрации ниже 1.

Далее, при помощи гидродинамического модуля вычисляется распределение давления в пласте на основе интерполированных геологическим модулем фильтрационных данных и данных о производительности скважин. На основе распределения давления строятся потоки технологических растворов при отработке блоков за любой интервал процесса добычи). Моделирование гидродинамики процесса добычи урана методом ПСВ с использованием программного комплекса

позволяет получить модели потоков технологических растворов для эксплуатационных блоков, которые позволяют потенциально выявить зоны закисления, наряду с застойными зонами. Гидродинамика визуализируется в виде распределения линий тока (рис. 4).

Данный модуль может помочь при решении следующих технологических задач: обоснование местоположения технологических скважин и посадки фильтра, определение застойных и неотработанных зон, оценка интенсивности проработки горнорудной массы.

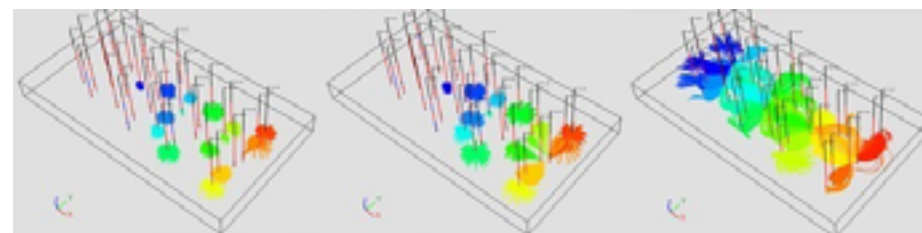


Рисунок 4. Линии тока при заданных дебитах на начало эксплуатации блока (30 и 90 дней) и в середине эксплуатации блока, при всех включённых скважинах

С помощью модуля кинетики химических процессов в 3D вычисляется динамика распределения концентрации урана в ПР, концентрации кислоты в ВР и содержание остаточного урана в руде в зависимости от времени; результаты вычислений визуализируются на горизонтальных или вертикальных срезах. При вычислении можно выбрать несколько временных промежутков для получения результатов и отслеживать изменение на построенных срезах (рис. 5-7). Значения по извлечению урана в ПР, полученные в результате вычислений модуля химической кинетики, используются для отображения графиков.

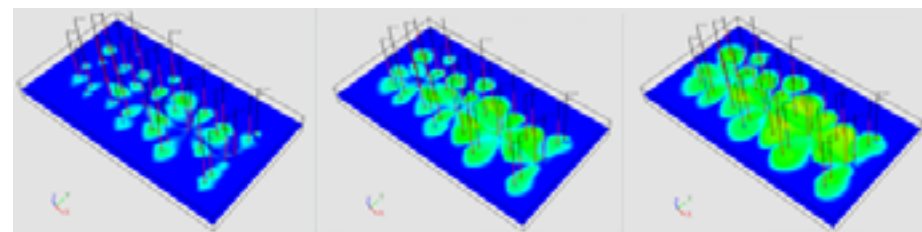


Рисунок 5. Распределение ВР, г/л через 100, 200, 300 дней

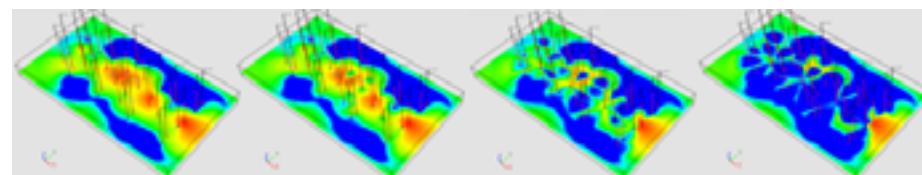


Рисунок 6. Распределение остаточного урана в руде, % через 1, 100, 200 дней

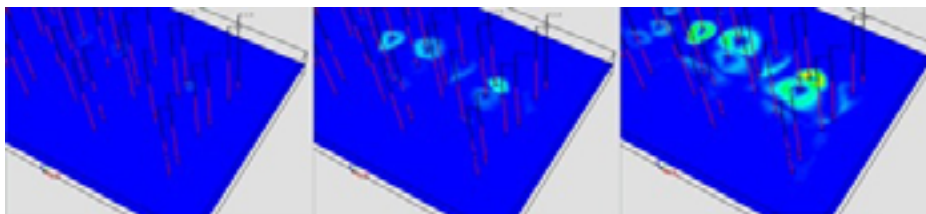


Рисунок 7. Распределение урана в ПР, мг/л через 30, 60, 90 дней

На фоне построенных разрезов, визуализирующих оруденение, есть возможность отображать проработку выбранного участка выщелачивающим раствором (ВР), распределение продуктивного раствора (ПР) и отработку оруденения по времени (рис. 8-11).



Рисунок 8. Распределение ВР на 160 день работы блока с минимальной концентрацией ВР 3 г/л (оранжевый). Поверх наложены контур минерала с содержанием выше 0,01% (кирпичный) и коэффициент фильтрации  $K_f$  ниже 1 м/сутки (зеленый)

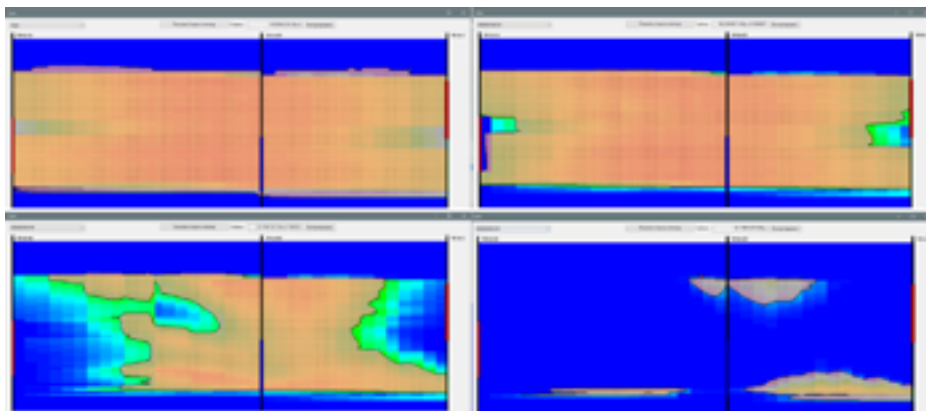


Рисунок 9. Изменение контура по содержанию остаточного урана в руде через 1, 100, 200, 400 дней работы (слева направо и сверху вниз)

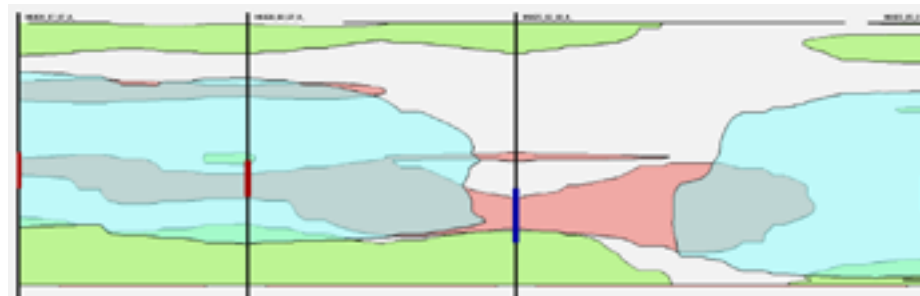


Рисунок 10. Пример визуализации по распределению ВР с концентрацией от 3 до 25 г/л на конец отработки блока

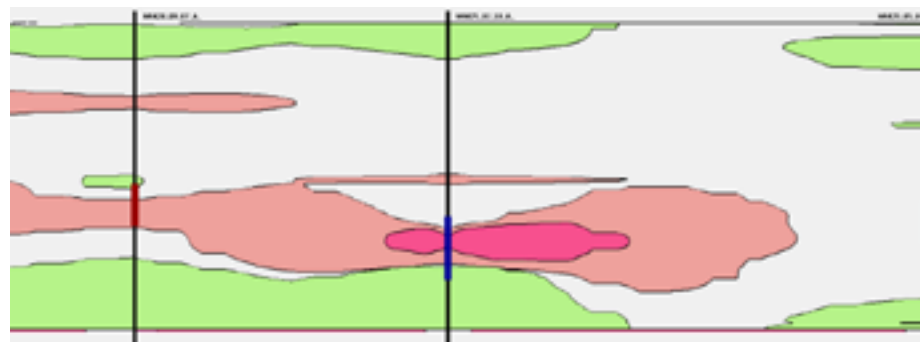


Рисунок 11. Распределение остаточного урана (выше 0,008 %) в конце отработки блока

Видно, что есть участок, непроработанный ВР и при рассмотрении этого же участка с отображением остаточного урана в руде наблюдается его концентрация выше 0,008 % в конце отработки блока (рис. 11). При визуализации в программном комплексе видно, что расстояние между откачной и закачной скважинами составляет порядка 65 м, что может повлиять на скорость и интенсивность распределения ВР. Также над одной из закачных скважин наблюдается пониженный  $K_f$ , что может повлиять на скорость распределения ВР из этой скважины.

Также геологический модуль оснащен функционалом для вычисления следующих параметров в активной мощности: закисляемого объема рудовмещающих пород; средневзвешенного содержания урана по скважинам; подсчета запасов урана геостатистическими методами.

После проведения расчета массопереноса, можно определить и визуализировать закисляемый объем. В данном случае, под закисляемым объемом подразумевается некий объем в расчетном блоке, содержащий концентрацию ВР выше заданного предела в г/литр на заданное время работы блока.

Дополнительно реализован функционал по отображению трехмерных изоповерхностей по выбранному параметру с возможностью анимации по выбранным временным интервалам.

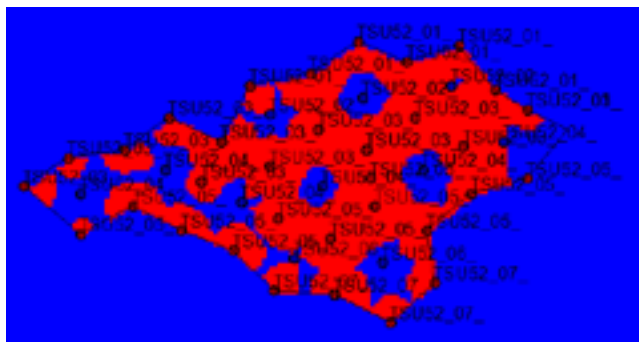


Рисунок 12. Закисляемый объем на конец отработки на уровне глубины начала фильтров

Движение фронта выщелачивающего раствора в виде изоповерхностей показаны на рисунке 13.

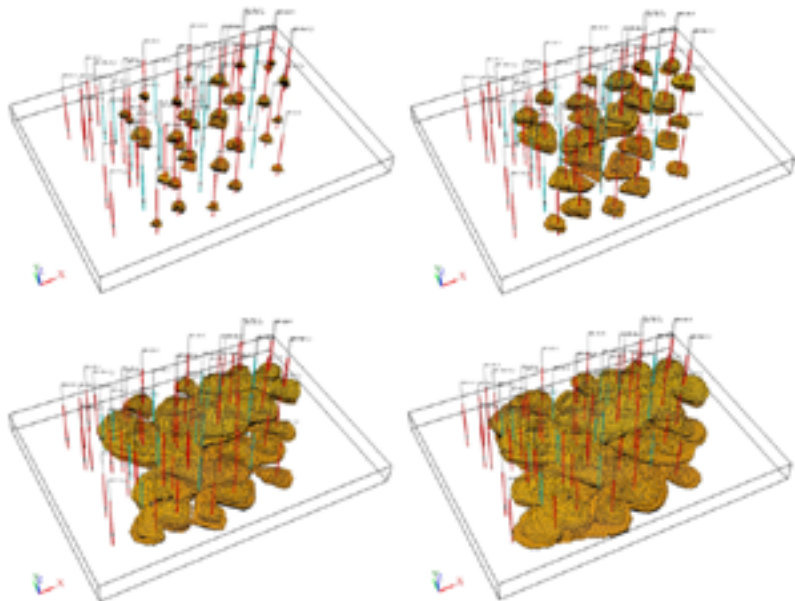


Рисунок 13. Изменение фронта выщелачивающего раствора на 5, 80, 120, 300 дней поле начала отработки

Также в ПК есть возможность для построения плана-карты блока в 2D:

- 1) измерение дистанции между двумя точками;
- 2) измерение периметра выделенного контура;
- 3) построение контура через произвольные точки или через конкретные координаты скважин.

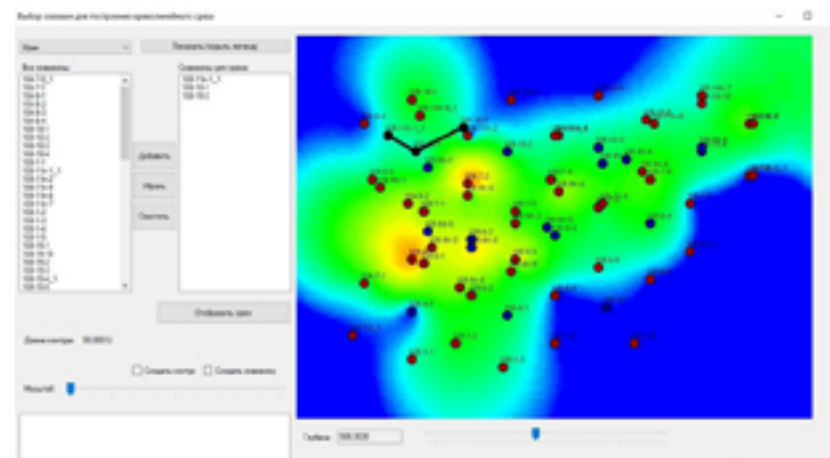


Рисунок 14. Окно отображения 2D карты по содержанию урана на заданной глубине

При построении 2D срезов в области 3D визуализации реализованы возможности:

- 1) построения изолиний с соответствующими значениями;
- 2) отображение значений по выбранному параметру на срезе как среднее значение и как сумма значений от заданной глубины и интервала (вверх и вниз) от нее.

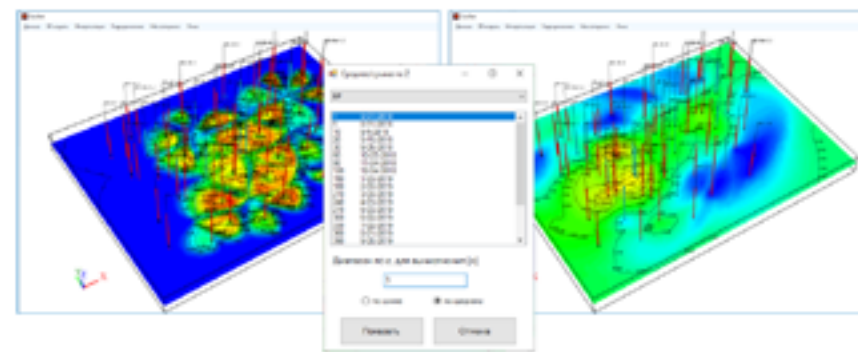


Рисунок 15. Построение изолиний по усредненным/суммированным срезам

Также есть возможность расчета затрат на реагент (серную кислоту) с учетом его расхода. Расход учитывает реагент, введенный в пласт по указанным дебитам и концентрации кислоты в ВР за заданное время моделирования. В окне расчета затрат на реагент вводится стоимость реагента в необходимой валюте и получает затраты в денежном эквиваленте.

Программный комплекс апробирован на нескольких предприятиях, в результате чего показаны различные варианты использования ПК: для моделирования планируемых изменений в исходных данных; для сравнения результатов модели-

рования с фактическими данными по отработке с целью дальнейшего прогноза отработки, а также для 3D визуализации динамики геотехнологических процессов и анализа работы блоков, выявления недостатков в управлении режимами.

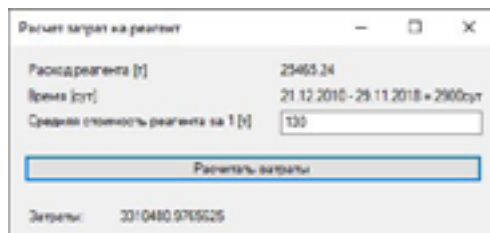


Рисунок 16. Окно расчета затрат на реагент, введенный в пласт

Таким образом, моделирование гидродинамики ПСВ может позволить оптимизировать следующие процессы: выбор оптимального расположения скважин; мониторинг образования застойных зон и растекания раствора за пределы блока; прогнозирование, контроль и управление процессом добычи урана регулированием содержания серной кислоты в выщелачивающем растворе, регулированием давления на скважинах и реверсированием потоков в рудном горизонте.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. «Анализ извлекаемости руд проблемных блоков месторождения «Инкай». Отчет по проекту № 4262 от 01.08.2017 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2017.
2. «Оптимизация процесса добычи урана методом ПСВ с учетом внедрения и апробации Программного комплекса для изучения процесса добычи урана методом ПСВ». Отчет по проекту № 84-ТОО-19 от 15.04.2019 г., ТОО «ИВТ», Алматы, 2019.
3. «Подземное выщелачивание полиэлементных руд.»/ Под ред. Н.П. Лаверова. - М.: Издательство Академии горных наук, 1998. - 446 с. ил. - ISBN 5-7892-0026-5
4. «Программный комплекс для изучения добычи урана методом ПСВ с получением Симулятора версии 3.0». Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом, № 10493 от 2 июня 2020 года.

## ПРОВЕДЕНИЕ ВИДЕОКАРОТАЖА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ ХАРАСАН УЧАСТКА «ХОРАСАН-1»

Мадиханов Д.В., Касымов А.Д., Сатыбалдиев М.К.

ТОО «Кызылкум», Казахстан

**Видеокаротаж** - это исследование строения и конструкции скважины с помощью скважинных приборов, оборудованных специальными камерами (одной или несколькими), которое проводится с целью оценить техническое состояние новых или эксплуатируемых скважин.



Фото Видеокаротажа компании «Шэньжэнь Flexi Electronic Co., Ltd», используемая на месторождении Северный Хорасан

Решаемые задачи видеокаротажа:

- Выявление и определение характера дефекта в обсадных колоннах.
- Контроль за состоянием фильтровой части скважины (характер и степень кольматации или зашламованности).
- Определение характера образованных пробок (не допуски до забоя скважин) в скважинах.

### ВИДЕОКАРОТАЖ НА ПРОБЛЕМНОЙ СКВАЖИНЕ 119-4-5

Проблема в данной откачной скважине заключалась в образовании за трубной течи раствора с выходом на поверхность.

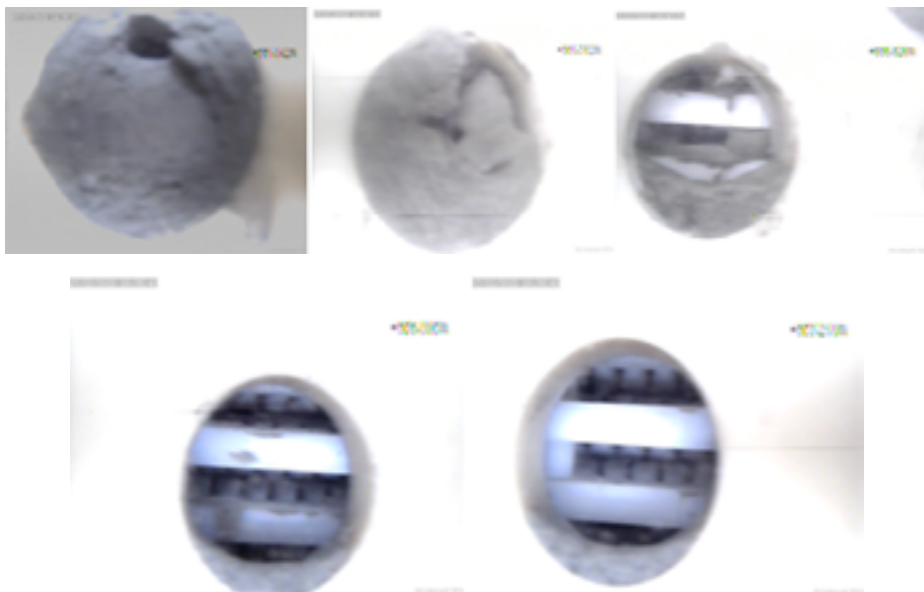
По результатам токового каротажа не выявлены никакие дефекты в обсадной колонне, что сопутствовала бы образованию течи раствора.

Дальнейшей задачей было проведение видеокаротажа для определения причины. В результате обнаружены слабые соединения (стыковые части) нескольких труб. Для решения данной проблемы провели затрубную цементацию в интервале от 0,0 до 50,0м.

### КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ФИЛЬТРА СКВАЖИНЫ

Ниже приводятся фото отчеты фильтровой части.

По результатам видеокаротажа четко наблюдается, забитые фильтра и нормальные с открытыми щелями фильтра.



### ВИДЕОКАРОТАЖ ДО И ПОСЛЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ (РВР)

Для контроля качество выполнения РВР проводим видеокаротажи до и после РВР.

Ниже приводим фото отчеты по выполненным работам по скважине 80-4-3.



*До прокачки компрессором*

*После прокачки компрессором*

Короткая информация скважины 80-4-3:

На откачной скважине 27.07.2022г. провели токовый каротаж, в результате был забит весь фильтровой интервал.

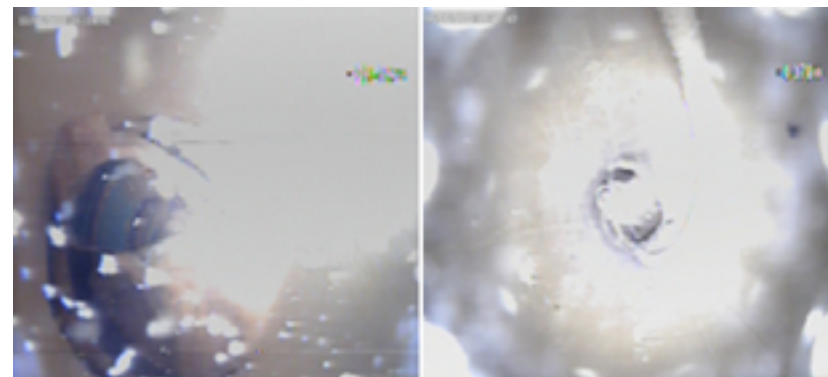
30.07.2022г. был проведен видеокаротаж до прокачки компрессором (XRVS), в результате наблюдается частично забитые щели фильтров.

31.07.2022г. был проведен видеокаротаж после прокачки компрессором (XRVS). В результате также наблюдается частично забитые щели фильтров.

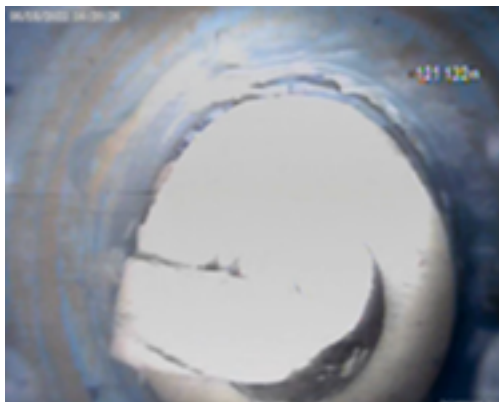
### ВИДЕОКАРОТАЖ НА ПРОБЛЕМНЫХ СКВАЖИНАХ С НЕ ДОПУСКАМИ ДО ЗАБОЯ

Для уточнения причин не допусков на технологических скважинах и для выбора метода РВР по устранению проблем проводим видеокаротаж.

Ниже фото отчеты выполненных работ.



На фото видны части кабеля скважинного насоса.



На фото наблюдается застрявший наголовник бурового снаряда на переходе (120м) откачной скважины.

### ВЫВОД

Видеокоротаж на сегодняшний день, является самым эффективным видом коротажа, для выявления физических воздействий на технологическую скважину, а так же помогает при аварийных ситуациях, для определения места и причины не допуска, как на вновь сооруженной скважине, так и на эксплуатируемой.

## НЕПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗАПАСОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВСКРЫТИИ РУДНЫХ ТЕЛ НА УЧАСТКЕ №1 МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЗАРЕЧНОЕ»

*Курочкин В.О., Седышев С.А., Поповцев Н.А.*  
АО «СП ЗАРЕЧНОЕ», Казахстан

Представленный доклад опирается на опыт, полученный при эксплуатации урановых месторождений Заречное и Канжуган.

Схема пространственного расположения месторождения урана Заречное, расположенного на территории Отрарского района Туркестанской области, на левом берегу реки Сырдарья, в 90 км к западу от п. Шаульдер представлен на рисунке 1.

Кроме месторождения Заречное, в обрамлении поднятия Карактау, известны и с различной степенью детальности изучены на юго-востоке – уран-ванадиевое месторождение Жауткан; рудопроявление урана Южное; на северо-востоке от поднятия – месторождение урана Асарчик; на северо-западе – урановое месторождение Южное Заречное. Месторождение Заречное гидрогенного (пластово-инфильтрационного) типа, сформировано в 3-х стратиграфических горизонтах верхнемелового водоносного комплекса Сырдарьинского артезианского бассейна, в напорных условиях. Разведка данного участка проходила в 1977 по 1991 год экспедицией № 81 ПГО (производственное геологическое объединение) «Краснохолмскгеология».



Рисунок 1. Геологическая карта месторождения ЗАРЕЧНОЕ

Урановое оруденение пространственно контролируется границей выклинивания ЗПО, развивающейся в проницаемых песчаных отложениях верхней части сантона, двух ритмов кампана и маастрихта.

На сегодняшний день можно выделить следующие **4 актуальные проблемы неподтверждения балансовых запасов при вскрытии**:

**1. Выбранное направление** разведочных профилей не всегда вскрывали рудные тела в крест простирания ЗПО – основное направление буровых профилей под углом 45 градусов (СВ направления), при проведении разведки в крест простирания (направления) рудоконтролирующей ЗПО, оказалось ошибочным, поскольку установленное в процессе вскрытия и подготовки запасов к добыче направление потока оказалось на 90 градусов юго-западнее и вероятно, сформировалось под влиянием местных областей питания подземных вод в горах Каратау и Карақтау – 45 град. ЮЗ (рисунок 2).

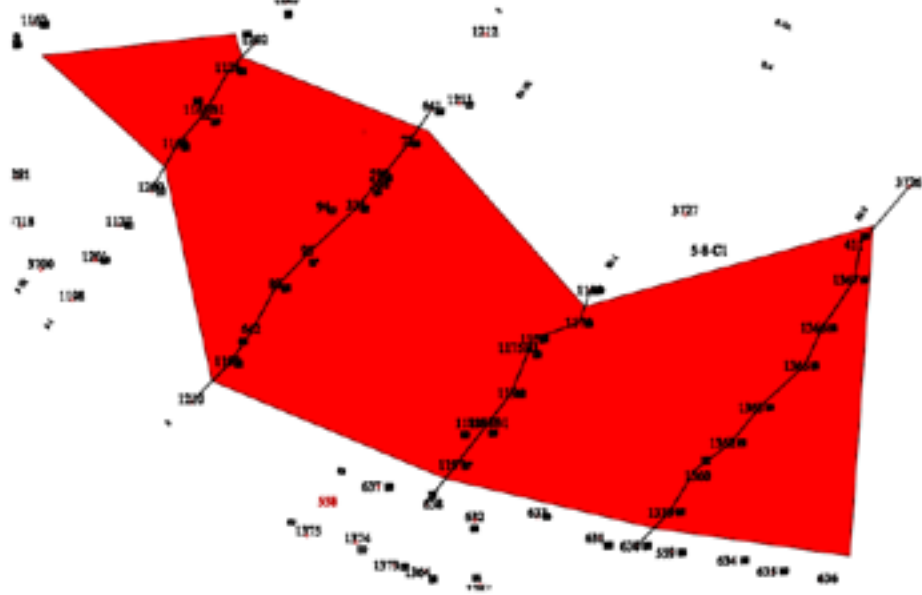


Рисунок 2. Схема блокировки геологического блока при ГРП с профилями под углом 45%

Разведочные профили, заложенные под углом 45 град. СВ направления оказались субпараллельны направлению ЗПО и все профильные пересечения вскрывали рудные залежи под острыми углами встреч, либо проходили параллельно их простиранию, что значительно искажало истинную ширину рудных залежей в плане (рисунок 3).

Результаты вскрытия по технологическим скважинам: контур балансовых руд залежи по  $m_c=0,080m\%$ , искажение истинной ширины рудного тела представлены на рисунке 4;

**2. Вторая причина** на момент проведения разведки и подсчета запасов, месторождение отнесено ко 2 группе сложности по геологическим условиям;



Рисунок 3. Результаты разведки залежи при ГРП с профилями под углом 45%

Подсчет запасов месторождения Заречное выполнен в 2002-2004 гг по первичным материалам 1977-1991 гг. по методике ГКЗ СССР 1986 года. При этом в единый подсчетный блок (запасов категорий С2, С1 и В) объединялись рудные интервалы, разделенные безрудным прослоем мощностью до 5 м (рисунок 5), что при средней прессованной (суммарной) мощности балансовых руд в 4,51 м, состоящих из 2-х и более рудных интервалов, не позволяет вскрывать и отрабатывать подсчитанные через безрудные прослои блоки единой системой технологических скважин.



Рисунок 4. Результаты вскрытия по технологическим скважинам



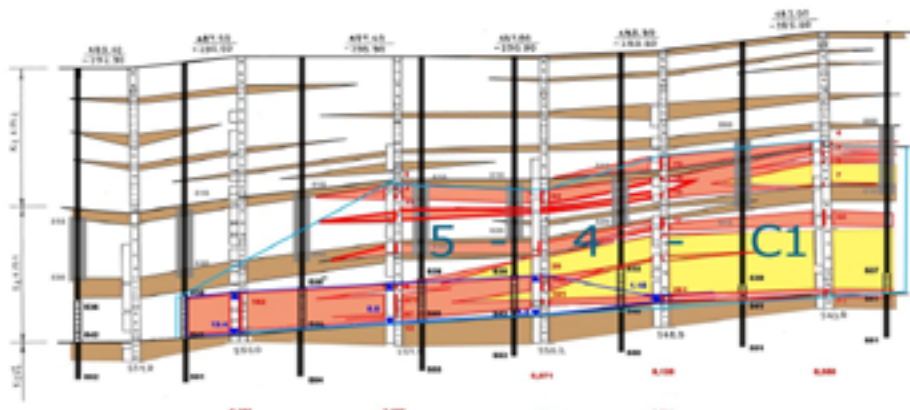


Рисунок 5. Блокировка запасов по ГКЗ геологического блока (в подсчет были приняты объединённые рудные интервалы и безрудные прослои)

Месторождение на момент подсчета запасов относилось к 2-ой группе сложности геологического строения по классификации ГКЗ, и лишь в 2008г была разработана и утверждена классификация гидрогенных урановых месторождений Казахстана, в которой часть месторождений, в т.ч и Заречное, были отнесены к 3-й группе сложности. Это позволило АО СП «ЗАРЕЧНОЕ» разработать Проект переоценки и доразведки месторождения Заречное и провести доизучение рудных залежей категории С2 по более плотной сети (200x50м вместо 400x50м) и частично – категории С1 – до 100x50м вместо 200x50м. Разделение и пересчет запасов по морфологическим элементам позволят более

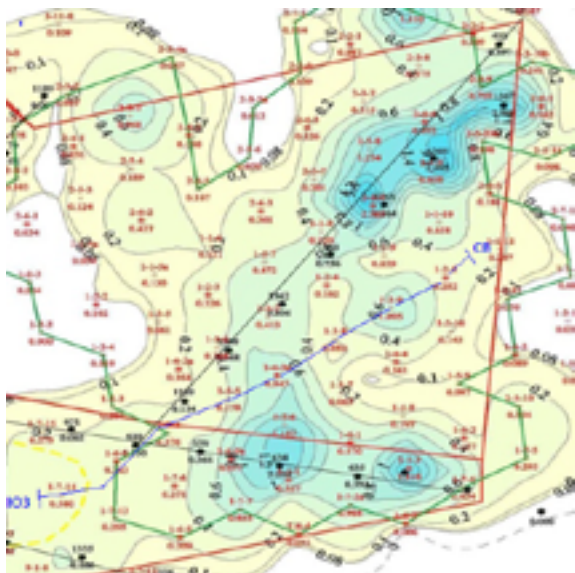


Рисунок 6. План изопроductивности 1-2 блока с указанием линии разреза Ю3-СВ

целенаправленно и без потерь производить вскрытие и отработку запасов месторождения Заречное.

**3. Третья причина** снижение фактической средней продуктивности вскрываемых запасов относительно расчетных можно объяснить смещением коэффициента радиоактивного равновесия ( $K_{рр}$ ) в сторону радия, в тыловой части ролла рудного тела (со стороны развития зоны пластового окисления).

Как пример данной причины можно выделить, на рисунке 6 приведен классический технологический блок, который вскрыт в начале отработки месторождения: где полностью подтверждены запасы и площадь вскрытого рудного тела.

На рисунке 7 изображен геотехнологический разрез данного блока, с наглядным примером классического развития ЗПО и прилегающей к ней рудного тела.

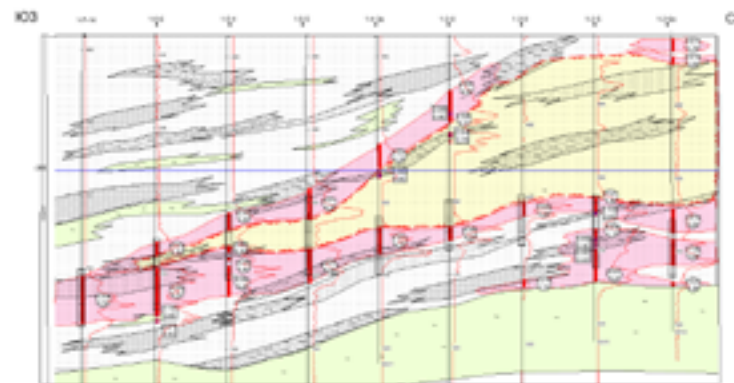


Рисунок 7. Геотехнологический разрез по линии технологического блока № 1-2

По данной аналогии вскрыт последующий технологический блок с продуктивностью больше, чем у предыдущего блока (рисунок 8).

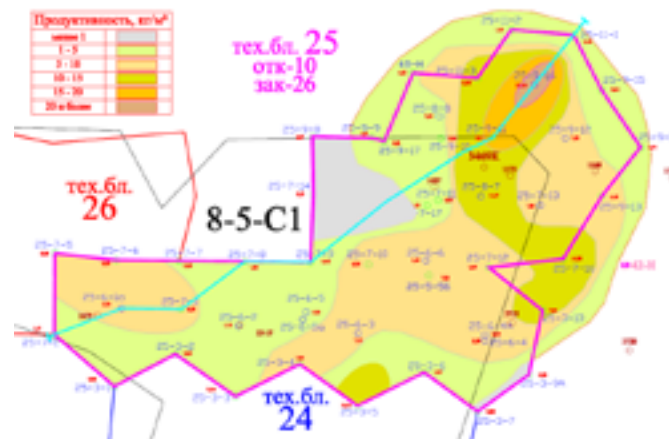


Рисунок 8. План изопроductивности технологического блока 25 и линия разреза

Так же как и на первом разрезе, при построении разреза повторяется классическая ЗПО и все части рудного тела (рисунок 9).

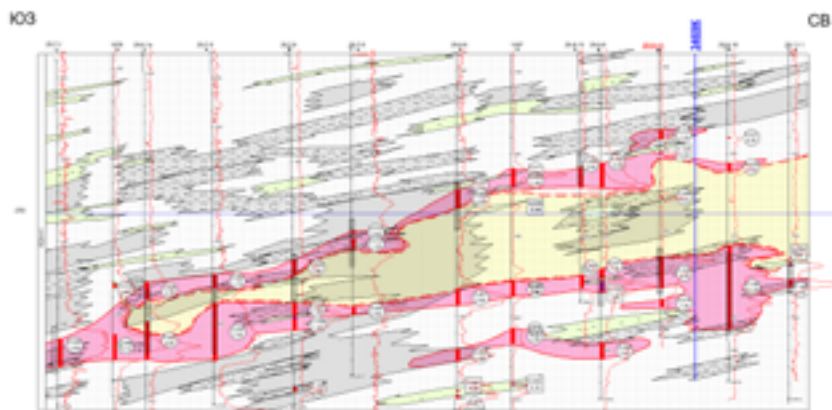


Рисунок 9. Геотехнологический разрез по линии технологического блока № 25 морфологически аналогичен блоку 1-2

При эксплуатации данного технологического блока извлечение металла не достигло проектных 80%. После чего была в 2015 году была пробурена контрольная скважина 3469к с керном в итоге, весь интервал оказался окисленным (т.е. Крр по факту смещен больше принятого в сторону Ra), и была сопоставлена со скважиной 25-9-11 (рисунок 10).

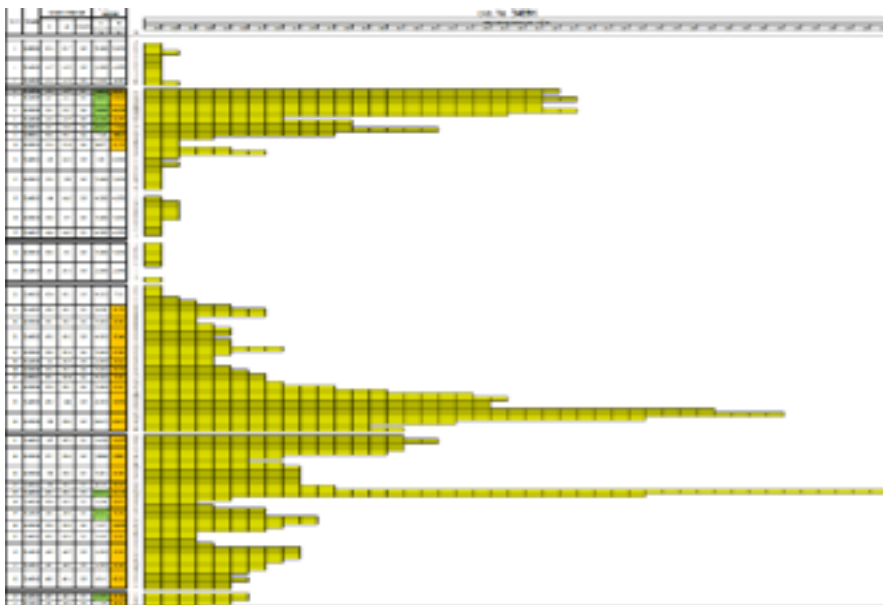


Рисунок 10. Результаты контрольной скважины №3469к пробуренной с керном с последующим опробованием на уран, радий (желтым цветом отмечен радий Ra)

В пример можно выделить расхождение результатов гамма каротажа и каротажа КНД (рисунок 11).

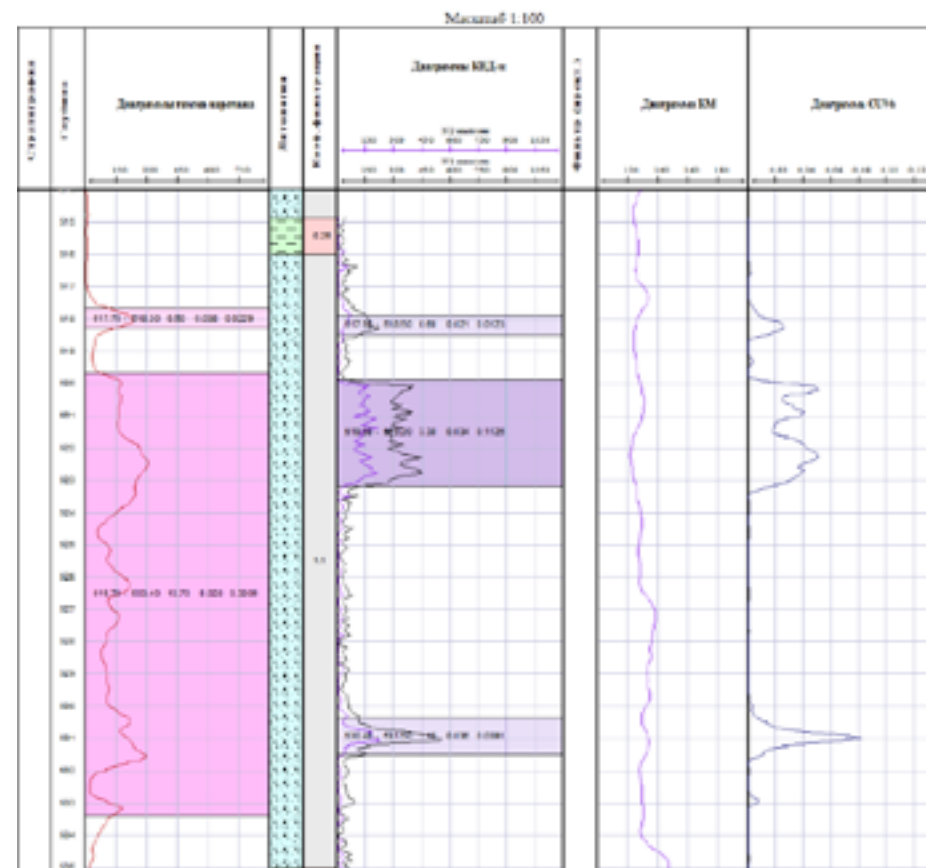


Рисунок 11. Классический пример результаты КНД (выявление Ra ореолов)

**4. Четвертой проблемой** можно обозначить несовпадение контура подсчетных геологических блоков и фактических контуров вскрытых рудных тел, после проведения доразведки (в том числе эксплуатационной разведки) и технологического вскрытия.

Оконтуривание балансовых запасов при вскрытии руд технологическими скважинами, привело к частому неподтверждению качественных показателей оруденения: так из 5 546 пробуренных в контурах балансовых запасов технологических скважин, только 3 050 скважин вскрыли балансовое оруденение с метропроцентом не менее 0,080м%, т.е. коэффициент рудоносности по факту составил 0,55, при том, что кондициями ГКЗ для подсчета запасов при выделении подсчетных геологических блоков в плане Кф рудоносности был ограничен величиной 0,80. Это подтверждает более сложное геологическое строение рудных тел на месторождении Заречное (рисунок 12,13,14).

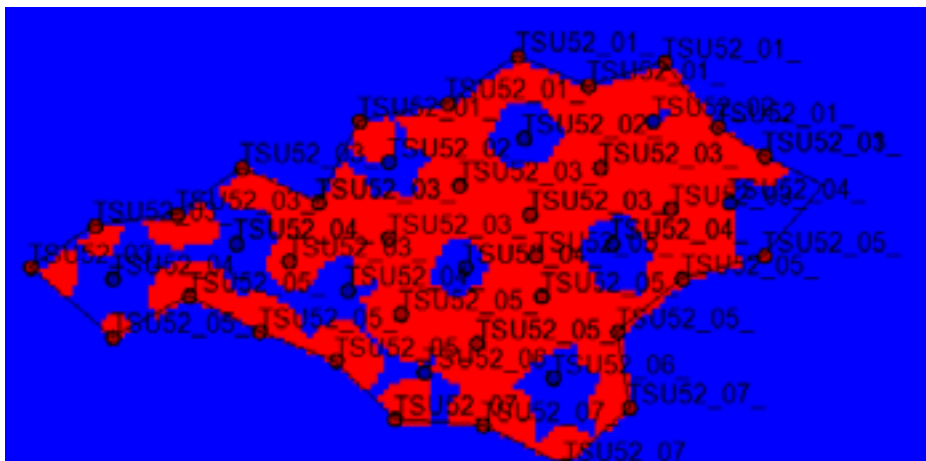


Рисунок 12. Факт вскрытия геологического блока технологическими скважинами (красным цветом обозначены границы геологического блока по учету ГКЗ)

Не подтверждение контура геологического блока наглядно видно на следующем примере (рисунок 13).



Рисунок 13. Пример неподтверждения контура геологического блока

После проведения доразведки в последующих годах часть ранее утвержденных и оконтуренных геологических блоков не совпадали с первоначальными контурами, что имеет важное значение при эксплуатации месторождения (рисунок 14).

Для примера не подтверждения по следующим параметрам (площади, мощности, содержания, продуктивности и запасам) на рисунке 15 показан сравнительный анализ по 3 геологическим блокам после вскрытия.

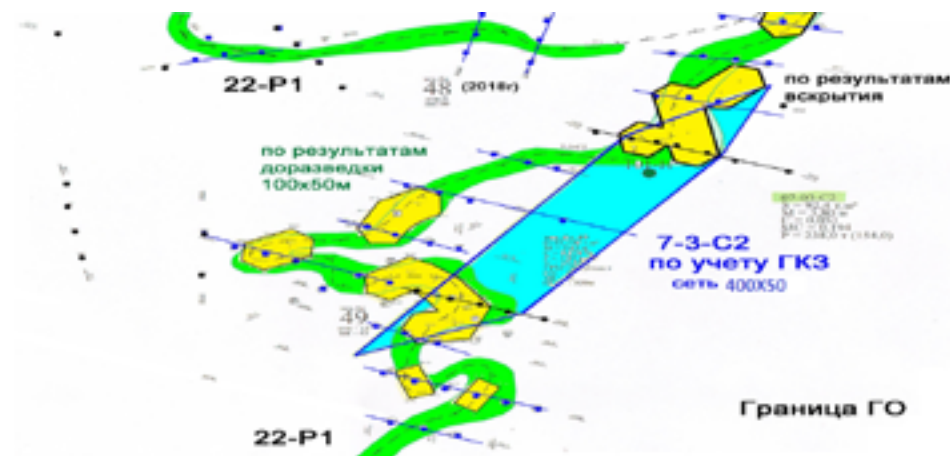


Рисунок 14. Результаты доразведки и вскрытия залежи, несовпадение рудного контура ГКЗ и факта доразведки и вскрытия запасов

Наименование Блока	S	%	m	%	c	%	p	%	u	%	ГКЗ		Факт		неподтв.	
											Факт	ГКЗ	Факт	ГКЗ	неподтв.	Факт
1-01	32,33,34	179,60	78,4	-56,3	4,56	3,58	-21,5	0,039	0,056	-7,7	2,02	2,09	-28,4	511,0	168,9	-67
1-101	35,36,37	187,70	282,5	7,9	5,44	3,81	-20,0	0,060	0,051	-14,6	5,35	3,19	-40,4	590,0	602,5	-38,5
2-202	33,00	51,10	5,03	-90,2	3,12	1,53	-51,0	0,035	0,027	-22,9	1,80	0,67	-62,8	89,0	2,6	-97,1
		418,4	285,9	-31,7	4,37	2,97	-32,0	0,045	0,038	-15,6	3,28	1,88	-42,6	1580,0	774	-51,4

Рисунок 15. Сравнительный анализ по вскрытию геологических блоков технологическими блоками

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для уменьшения влияния эффекта неподтверждения вскрываемых запасов следует руководствоваться:

1. В первом и во втором случаях – планировать опережающее эксплуатационно-разведочное бурение с применением каротажа КНД – для уточнения границ и морфологии рудных тел с подсчетом вскрываемых запасов и уточнением схем вскрытия планируемых технологических блоков.
2. В третьем и четвертом случаях – при уменьшении коэффициента рудоносности, незначительно, после детального геотехнологического анализа и экономической целесообразности, планировать исключать некондиционные ячейки из технологических блоков:

- в отработку и дополнительно увеличивать прирост запасов на величину уменьшения по факту вскрытия (дополнительное бурение или изменения очередности вскрытия технологических блоков);
- планировать увеличение коэффициента обеспеченности запасами на величину снижения прироста запасов в последующие планируемые периоды.

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
ИННОВАЦИОННОГО КОМБИНИРОВАННОГО  
МЕТОДА РЕГЕНЕРАЦИИ СКВАЖИН ПРИ  
ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА**

<sup>1</sup>Юсупов Х.А., <sup>2</sup>Омаров А.Е., <sup>2</sup>Мырзабек Г.А., <sup>2</sup>Мусаев Р.А.

<sup>1</sup>Горно-металлургического института КазНИТУ, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

**АННОТАЦИЯ**

Освоение новых залежей и повышение коэффициента извлечения урана в сложных горно-геологических условиях за счет разработки оптимальных методов восстановления проницаемости закольматированных руд, с учетом геологических особенностей, основанные на широком внедрении специальных химических реагентов, пневмо-гидроимпульсного метода проведения РВР увеличивающие фильтрационные параметры пластов. Совершенствование средств и методов проведения работ по восстановлению проницаемости и эффективному удалению из прифильтровой зоны пласта (ПЗП) продуктов физической и химической кольматации. Реализация данного проекта позволит решить проблему фильтрационных характеристик трудно проницаемых рудовмещающих пород глубокого залегания с высоким пластовым давлением, увеличить межремонтный цикл скважин и снизить удельные нормы материальных затрат.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Комбинированная передвижная установка очиститель скважин может использоваться для восстановления технологических скважин подземного выщелачивания металлов, в частности урана. Передвижная установка содержит транспортную базу с рабочей площадкой, систему подачи химического раствора, систему промывки технической водой, систему импульсного воздействия сжатого воздуха, система автономного заправки сжатого воздуха, включающий блок управления, напорный насос, барабан лебедку, с гибкой трубой на конце которой расположен вращающийся механизм с разрушающей насадкой.

Комбинированная передвижная установка дополнительно содержит емкость для приготовления химического раствора и насос для подачи едких кислот в скважину. Техническим результатом полезной модели является сокращение времени проведения ремонтно-восстановительных работ, увеличение производительности технологических скважин. Процессы скважинной добычи урана предусматривают растворение полезного компонента движущимся потоком растворителя на месте залегания рудного тела. Снижение производительности добычных скважин, вызвано снижением фильтрационных характеристик руд в прифильтровой зоне пласта, в результате, суффозии, заполнения отстойника, а затем фильтра технологической скважины, выпадением в осадок ряда элементов и образованием непроницаемых участков в прифильтровой зоне пласта.

## 2. ОБОСНОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ПЕРЕДВИЖНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НЕПОСРЕДСТВЕННО ФИЛЬТРОВОЙ ЧАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН С СУЩЕСТВУЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Полезная модель относится к горнодобывающей отрасли и может быть использована при скважине добычи полезных ископаемых, в частности урана, при восстановлении производительности геотехнологических скважин и повышении фильтрационных характеристик руд прифильтровой зоны продуктивного горизонта.

Известна передвижная установка [Патент РК №2153 от 27.08.2017 г. - Бюл. №8., МПК E21B 37/00, E21 B 37/06] химической обработки технологических скважин. Он включает транспортную базу с платформой подачи очищающего раствора включающая барабан лебедки с гибкой трубой, насос и блок управления очищающего раствора и оснащена емкостью для приготовления и хранения очищающего раствора. Недостатком данной установки является низкая эффективность по устранению на скважинах с песчаными пробками.

Известен способ обработки призабойной зоны технологических скважин и установка [Патент РК №24568 от 15.09.2011 г. - Бюл №9., МПК E21 B 37/08, E21 B 37/00] для его осуществления, включающая транспортную базу, средствами управления, подачей и отводом текучей среды, трубопровод, намотанный на барабан, снабженный средствами ввода текучей среды в трубопровод, привод и управления спуско-подъемом трубопровода.

Недостатком данной установки является низкая эффективность при цементированных отложениях на отстойнике скважин. Прифильтровая зона с цементированными отложениями требует регулярной обработки, увеличивающая трудозатраты.

Наиболее близким аналогом к заявленному изобретению является передвижная модульная установка [Патент РК, №26619 от 15.10.2014 г. - Бюл №10., МПК E21 B 37/08, E21 B 37/00] кавитационного действия для освоения и очистки скважин, содержащая транспортную базу с платформой, буровой насос и средствами управления подачи и отвода текучей среды, гибкую трубу намотанную на барабан лебедку, снабженная средствами ввода рабочей жидкости в гибкую трубу. Недостатком данного изобретения является низкая эффективность на скважинах цементированные песком и глинистыми частицами в прифильтровой зоне пласта. При нагнетании промывочного раствора создается восходящий поток водно-песчаной смеси, который может зажать трубу, при этом требуется длительная обработка скважин увеличивая трудозатраты и расход химических реагентов.

Технической задачей полезной модели является разрушение песчаных пробок технологических скважин и удаление гипсовых отложений из прифильтровой зоны продуктивного горизонта, а также увеличение производительности технологических скважин при разработке месторождений полезных ископаемых скважин-

ным способом, снижение трудозатрат на проведение ремонтно-восстановительных работ на скважинах.

Техническим результатом полезной модели является сокращение времени проведения РВР и удаление песчаных пробок и гипсовых отложений с внутренней полости и прифильтровой зоны пласта геотехнологических скважин.

Для восстановления дебита скважин путем разрушения и диспергирования кольматирующих отложений, препятствующие фильтрации растворов в пласте на ПСВ комплексах широко используются гидродинамические методы регенерации скважин.

Пневмоимпульсные обработки скважин относятся к высокоэнергичным импульсным методам воздействия на пласт и применяется в условиях характеризующихся химической и механической кольматацией. Метод воздействия на призабойную зону скважин заключается в использовании энергии сжатого воздуха с последующей передачей ее столбу жидкости в скважине. Под действием этой энергии столб жидкости в скважине начинает совершать возвратно-ступательные колебательные движения с частотой, равной собственной частоте колебаний столба жидкости, т.е. зависящей от глубины скважины. Восстановление проницаемости фильтров и прифильтровых зон происходит за счет пульсации воздушного пузыря и создание гидротоков знакопеременного направления под давлением 10-12 Мпа. В результате пневмоимпульсного воздействия, находящиеся на фильтровой поверхности и прифильтровой зоне глинистые осадки или химический коагулянт разрушается и выносится гидротоком в скважину, откуда в последующем удаляются восходящим потоком раствора. К достоинствам пневмовзрыва можно отнести возможность регулирования его гидродинамических параметров и цикличности воздействия в широких пределах, доступность и безопасность рабочего реагента — воздуха. Результаты пневмоимпульсной обработки скважин ПСВ, в комплексах как во вновь осваиваемых, так и в эксплуатирующихся скважинах, охватывают достаточно широкий спектр геолого-технических условий. Опыт регенерации геотехнологических скважин в сложных горно-геологических условиях включающие повышенной карбонатности технологических блоков показывает, что основная причина низкой эффективности многих способов ремонтно-восстановительных работ заключается в том, что каждый из них направлен на решение какой-то одной задачи: разглинизация стенок скважины, очистка фильтра и прискважинной зоны. Необходимо чтобы освоения был комплексным и включал операции по восстановлению проницаемости прифильтровой зоны и очистку фильтра от химического рода осадкообразований глубоко в продуктивном горизонте. Этим требованиям отвечает агрегат комбинированная передвижная установка очиститель скважин (АКПУОС) химическая обработка непосредственно фильтровой части скважин с промывкой пневмоимпульсной обработкой.

Промывка скважины подразумевает подачу промывочной жидкости под давлением бурового насоса через гибкий рукав с применением пневмоимпульса в фильтровую область. Агрегат комбинированная передвижная установка очиститель скважин на базе а/м КраЗ, производить промывку скважины технической водой до забоя и в зоне фильтра с расходом разными видами инструментов. (прямая промывка, промывка перфоратором, промывка кавитатором и т.д.) Нагнетаемая

через кавитационно-струйную насадку промывочная жидкость, образует кавитационные пузырьки, при схлопывании пузырьков внутри которых возникают высокие давления и температуры. Поступающая промывочная жидкость разрушает песчаные пробки и вымывает кольматирующие отложения, поднимая их по колонне на дневную поверхность.

Использование сжатого воздуха при промывке скважины для регенерации фильтровой зоны. Подача воздуха используется с определенным интервалом и задавлением технической водой для прихлопывания сжатого воздуха в зоне фильтра. Внутри агрегата будет смонтировано 12 шт. кислородные баллоны каждое по 50 литров в объеме.

Для промывки и пневмоимпульса используется цельный шланг, армированный Ду-25 мм длиной 600-700 м. После производится обратная прямая промывка до забоя для выноса кольматации. На линию сжатого воздуха и технической воды устанавливаются обратные клапана.

После проведения вышеуказанных мероприятий производится приготовление химического раствора в емкости, смонтированного на агрегате  $V=3\text{м}^3$ . Химические реагенты могут быть разные БФА (бифторид аммония), химическая обработка с помощью серной кислотой и т.д.

Готовый раствор путем переключения от основного насоса на шланговый насос и подается прямо в зону фильтра. После завершения всех работ идет обратное наматывание шланга на барабан.

### **3. СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ АКПУОС (АГРЕГАТ КОМБИНИРОВАННАЯ ПЕРЕДВИЖНАЯ УСТАНОВКА ОЧИСТИТЕЛЬ СКВАЖИН)**

Создание АКПУОС с повышенной проходимостью для проведения промывки с пневмоимпульсом и химической обработкой непосредственно фильтровой части технологических скважин позволит снизить расходы химических реагентов и повысит производительность технологической скважины и увеличит скорость отработки технологических блоков в сложных горно-геологических условиях. Сущность метода заключается комплексное проведение ремонтно-восстановительных работ дозированной подачи рабочего реагента насосным агрегатом в фильтровую часть скважины из емкости через гибкий рукав и промывка технической водой с пневмоимпульсным подачей сжатого воздуха.

#### **Состав оборудования**

Передвижная установка является самоходной машиной, смонтированная на шасси грузового автомобиля КРАЗ повышенной проходимости и состоит из:

1. Автомобильного шасси;
2. Лебедка к подъемному ППК;
3. Насос центробежный РТМ 3×10;
4. Емкость 3м<sup>3</sup>;

5. Баллоны для сжатого воздуха в количестве 12 штук;
6. Насос НБ-50;
7. Компрессор АКР-2;
8. Насос РТМ3х10;
9. Рукав гибкий армированный ТГ20/32-10;
10. Электронный датчик замера глубины «ЯСОН»;

Проведение восстановительных работ передвижного агрегата непосредственно фильтровой части технологических скважин позволит повысить эффективность и снизить материальные затраты на обслуживание скважины за счет применения инновационного оборудования. Оборудование, для проведения ремонтно-восстановительных работ непосредственно фильтровой части технологической скважин включает: емкостное оборудование для приготовления и транспортировки раствора химической обработки (4); Шланговый насос высокого давления (8); Насос НБ-50 с редуктором и электродвигателем (6); Шланг армированный Ду-40 (9); Электронный датчик замера глубины «ЯСОН» (10); Датчики уровня КРК; Переносной компрессор (7). Производительность л/мин. 250; Двигатель 3х380В; номинал. мощность кВт 5,5; обороты коленвала об/мин. 1450; фильтр. система Р-31; Современное оборудование, применяемое для проведения химической обработки фильтровой части технологических скважин, позволит безопасно для обслуживающего персонала производить герметичную дозированную подачу растворов химических реагентов и произвести промывку с пневмоимпульсной обработкой в заданную область фильтра.

Агрегат комбинированная передвижная установка очиститель скважин (АКПУ-ОС) химической обработки и промывки с пневмоимпульсом непосредственно фильтровой части технологических скважин содержащая транспортную базу, с платформой разделенную на три части, на площадку подающего оборудования, площадку емкостного оборудования и площадка для пневмоимпульса. Площадка подающего оборудования изготовлена из теплоизолированного материала и включает средство управления подачи очищающих растворов, гибкую армированную трубу, намотанную на барабан-лебедку, снабженный средствами ввода очищающего раствора в гибкую трубу изготовленная в виде гидравлического коллектора, систему контроля и учета подаваемых рабочих растворов. Площадка емкостного оборудования включает емкость-цистерну, заправочный насос. Площадка подающего оборудования оснащена теплом в зимнее время года и имеет автономный обогреватель. Барабан-лебедка (2) снабжен частотным преобразователем и включает устройство автоматической укладки гибкой трубы на барабан с измерительной системой для контроля глубины разматываемой гибкой трубы. Управление подачи рабочих растворов и работы барабан - лебедки осуществляется при помощи переносного пульта управления. Подающий насос имеет производительность не менее 5 м<sup>3</sup>/ч с давлением не менее 1 Мпа и снабжен защитой по сухому ходу. Гибкая труба изготовлена из полимерной трубы с армированием и включает два слоя (9). Теплоизоляционный фургон имеет открывающиеся технологические люки для прохода, обслуживания и монтажа технологического оборудования. Перегородка между площадкой подающего оборудования и площадкой емкостного оборудования имеется смотровое окно для визуального контроля уровня очищающего раствора в емкости-цистерне (4). Площадка емкостного обо-

рудования имеет защитные борты, и вентиляционные окна для предотвращения накопления испарений. Емкость-цистерна оснащена патрубками и запорной арматурой, и заправочными рукавами для дозированного приготовления очищающих растворов. На площадке емкостного оборудования размещен заправочный насос (8) для дозированного заполнения емкости-цистерны очищающими растворами. Безопасная зона ограждена от площадки подающего раствора и включает обзорное окно, пункт средств индивидуальной защиты и емкость на сто литров воды с системой слива. Площадка для пневмоимпульса оснащена теплом в зимнее время года и имеет автономный обогреватель. Также входит в комплектацию компрессор (7) для закачивания сжатого воздуха в установленные 12 шт баллонов, которые подсоединены к насосу НБ-50 (6).

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение агрегата комбинированного передвижного установки очиститель скважин (АКПУОС) комплекса при регенерации скважины – химический способ восстановления производительности скважин, заключающийся в подаче специальных химических растворов в фильтровую область и прифильтровую зону для растворения колюматизирующих образований. Реагентная обработка технологических скважин проводится после проведения ремонтно-восстановительных работ по удалению песчаных пробок, промывки фильтровой колонны и отстойника. Применение оптимальных концентрации БФА для восстановления производительности скважин позволяет увеличивать МРЦ на откачных скважинах. Позволяет эффективно повышать дебиты тяжелых скважин, не реагирующие на традиционные методы РВР. Увеличивает восприимчивость скважин к традиционным методам РВР, повышая срок безремонтного обслуживания после повторных регенерации на скважинах традиционными способами в 1,5 и 2 раза после применения БФА.

Общая технологическая и аппаратурная схема

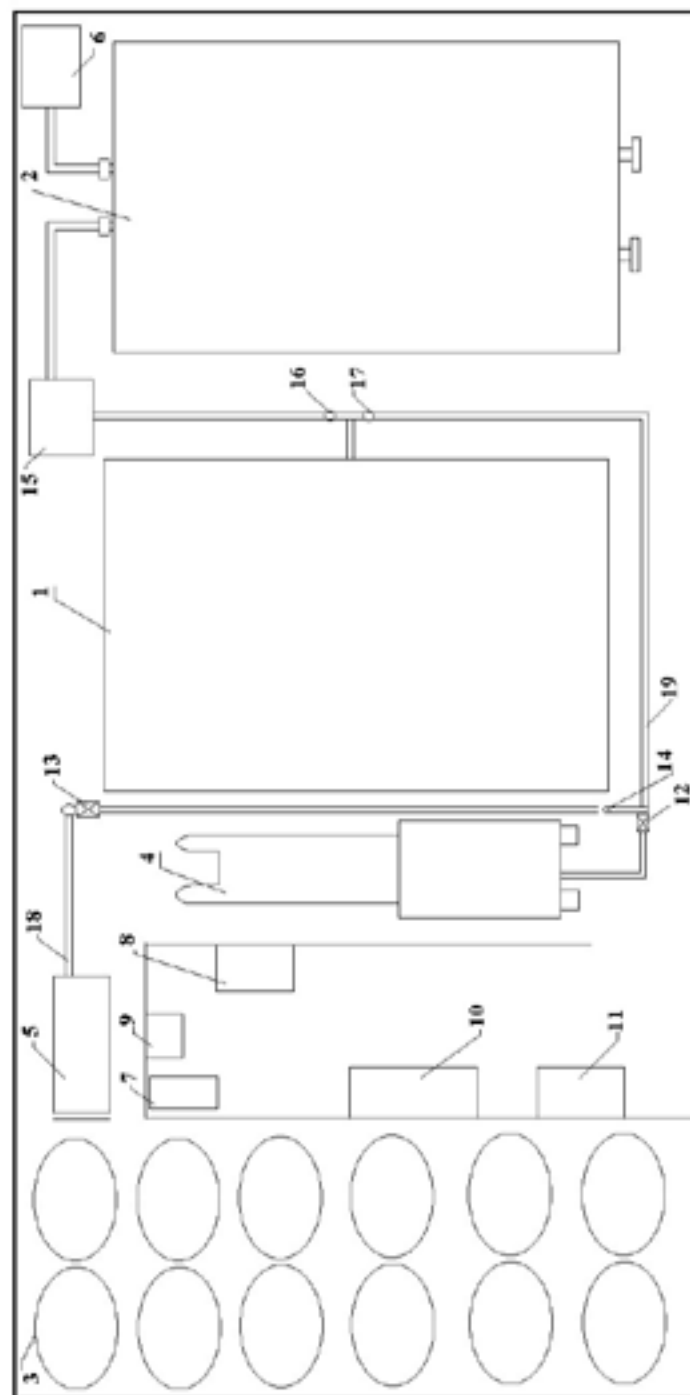


Схема размещения оборудования на Агрегате комбинированная передвижная установка очиститель скважин (АКПУОС)

- |                                 |                              |                                  |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Лебедка к подъемному ППК;    | 6. Насос РТМ;                | 12-13. Обратный клапан;          |
| 2. Емкость 3м <sup>3</sup> ;    | 7. Пульт управления насосом; | 14. Клапан;                      |
| 3. Баллоны для сжатого воздуха; | 8. Шкаф вводный;             | 15. Насос перистальтическая РТХ; |
| 4. Насос буровой;               | 9-10. Шкаф управление;       | 16-17. Клапан;                   |
| 5. Компрессор;                  | 11. Шкаф для защиты;         | 18-19. Трубопровод.              |

## ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУД СКВАЖИННОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

**Абдрахманов Н.Н.**

ТОО «Байкен-У», Кызылорда, Казахстан

Уран играет важную роль в производстве ядерной энергии. Являясь ключевым веществом для производства топлива для ядерных реакторов, уран, более распространенный элемент земной коры, встречающийся в горных породах, почве, реках и океанских водах, должен извлекаться из сырья в сложном гидрометаллургическом процессе, включающем множество стадий разделения. Уран в руде часто сопровождается другими редкими металлами, которые можно извлечь в технологическом процессе, чтобы повысить рентабельность всего предприятия[1]. Уран является наиболее представительным элементом из актиноидов, имеющих фундаментальное значение в ядерном топливном цикле. Ожидается, что рынок ядерной энергии существенно вырастет в течение следующих 20 лет. Например, только в США, по прогнозам, к 2030 году он вырастет на 50%.

В сочетании с ожидаемым ростом ядерной энергетики потребности в уране также резко возрастут в будущем и в решении проблемы достойный вклад может внести урановая отрасль Казахстана, опирающаяся на прогрессивную, высокоэффективную скважинную добычу урановых руд[2]. На рисунке 1 приведены данные по разведанным запасам природного урана, на рисунке 2 приведены данные по долевого производству уранового концентрата по странам Мира.

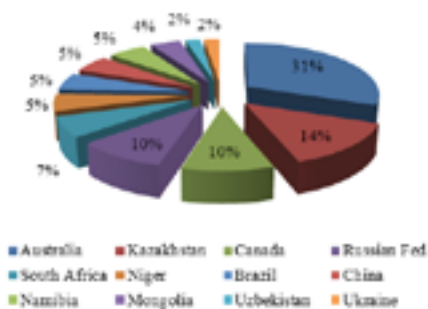


Рисунок 1. Разведанные запасы урана по странам

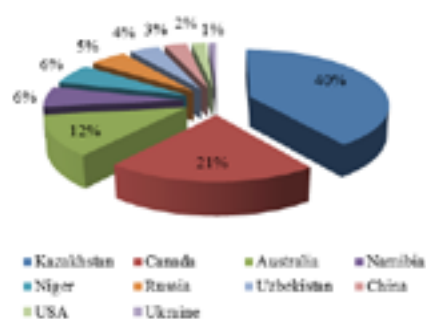


Рисунок 2. Долевое производство урана странами мира

Практика эксплуатации систем геотехнологических скважин при эксплуатации месторождений урана способом ПСВ показывает, что с течением времени наблюдается снижение их производительности. Одной из основных причин снижения пропускной способности технологических скважин является увеличение гидравлических сопротивлений и снижение фильтрационных характеристик пласта вследствие образования кольматации, за счет осаждения веществ растворенных в технологических растворах, или механического перемещения частиц рудовмещающего горизонта, а также выделений газа[3]. Сложно рас-

творимые осадки и перемещенные глинистые частицы в продуктивном горизонте увеличивают гидравлическое сопротивление и образуют непроницаемые участки геохимических барьеров, перекрывающих линии потока растворов. Как правило, снижение фильтрационных характеристик продуктивного горизонта ведет к снижению содержания урана в ПР, и уменьшению дебита и периода бесперебойной работы скважин. Это увеличивает период отработки технологических блоков, вследствие чего, повышается расход серной кислоты, электроэнергии и прочих эксплуатационных составляющих[4].

Применение серной кислоты в качестве выщелачивающего реагента на предприятиях скважинной добычи Казахстана обусловлено низкой стоимостью, доступностью, возможностью относительно полного перевода урана в раствор[5]. Однако высокая кинетика взаимодействия серной кислоты с карбонатными минералами рудовмещающих пород вызывает осадкообразование в виде геохимического барьера, препятствующего процессу выщелачивания[6]. Применение специальных декламационных растворов на основе фтористоводородной кислоты с добавлением серной кислоты и поверхностно-активных веществ в соответствии с разработанной методикой позволяет эффективно разрушать и предотвращать отложения в продуктивном горизонте скважинной добычи урановой руды.

Изменения логистических цепочек поставок химических реагентов и комплектующих запасных частей технологического оборудования подняли важность вопросов повышения фильтрационных характеристик руд в разнообразных горно-геологических условиях. Применение традиционных методов восстановления производительности технологических скважин в осложненных условиях в рудах с повышенным содержанием карбонатных и глинистых минералов не дает положительного результата. Изучение структуры и составов осадкообразующих компонентов позволит разработать рациональные параметры восстановления фильтрационные характеристики руд на различных продуктивных горизонтах[7].

Целью исследований является повышение эффективности скважинной добычи урана в сложных горно-геологических условиях за счет восстановления фильтрационных характеристик руд при скважинной добыче урана с применением растворов плавиковой кислоты. При этом предусматривается повышение производительности и увеличение периода бесперебойной работы геотехнологических скважин, снижение расходов на электроэнергию, трудозатрат, и других эксплуатационных затрат на добычу.

Задачами исследования является установление структуры и состава осадкообразующих компонентов для определения причин вызывающих кольматацию руд продуктивного горизонта с целью подбора наиболее оптимальных параметров плавиковой кислоты для растворения и предотвращения осадкообразований. Проведение лабораторных опытов по подбору рациональных параметров декольматирующих растворов для разрушения осадков и предотвращения процессов кольматации порового пространства рудовмещающих пород различных продуктивных горизонтов. Разработка эффективных параметров повышения фильтрационных характеристик руд скважинной добычи урана в зависимости от состава и структуры осадкообразований.



### Количественно-качественные исследования осадкообразований при добыче урана

Основной целью рентгенофазовых исследований заключается в том, чтобы в лабораторных условиях определить и сравнить количественно-качественные характеристики осадкообразований в зависимости от рудовмещающего горизонта при сернокислотном выщелачивании урана. Установление количественно-качественных характеристик кольматантов позволит подобрать эффективные подходы для их разрушения, диспергирования, удаления и дальнейшего предотвращения осадкообразования на длительный период.

Рентгенодифрактометрический анализ проведен на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $Cu_{K\alpha}$  – излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U=35$  кВ;  $I=20$  мА; съемка  $\theta-2\theta$ ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз.

Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Для основных фаз проводился расчет содержания.

#### Подбору концентраций декольматирующего раствора

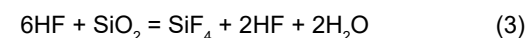
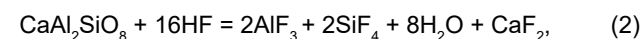
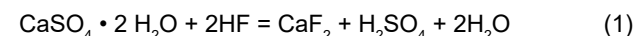
На основе изучения и анализа природы происхождения осадкообразований были подобраны концентрации плавиковой кислоты в декольматирующих растворах, для повышения производительности скважин в сложных горно-геологических условиях. Эффективность концентрации плавиковой кислоты подбирается в зависимости от геологических особенностей продуктивного горизонта и количественно-качественных характеристик образовавшихся осадков. Применение растворов плавиковой кислоты позволит восстановить производительность скважин и снизить эксплуатационные расходы на добычу.

Опыты по обработке осадкообразований производились на образцах из проб Сантонского, Маастрихтского и Кампанского горизонтов различным концентрациями химических реагентов декольматирующих растворов. Для определения эффективной концентрации раствора подбирались наиболее растворяющие свойства с учетом рыночной стоимости продукции. Например опыт № 1 включал обработку раствором плавиковой кислоты (10% от массы) и технической воды (90%). Опыт № 2 включал обработку раствором плавиковой кислоты (5,0%) и серной кислоты (10,0%) ПАВ (1%) и технической воды (84%). В таблице 1 приведены параметры декольматирующих растворов для проведения лабораторных исследований.

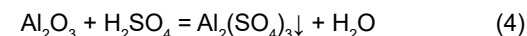
Таблица 1. Параметры декольматирующих растворов

Состав	Фтористоводородная кислота HF, %	Серная кислота ( $H_2SO_4$ ), %	Сульфаминовая кислота САК, %
Опыт 1	10	-	-
Опыт 2	5	10	1

В опыте 1 приготовление декольматирующего раствора HF – (10%), технической воды (90%) осуществлялось из полуфабриката плавиковой кислоты. Выбор полуфабриката плавиковой кислоты обусловлен ее низкой стоимостью, высокой реакционной способностью с гипсом, алюмосиликатами и кремнистыми соединениями, которые являются составной частью рудовмещающих пород и кольматирующих осадков. В опыте 2 приготовление декольматирующего раствора производилось на основе бифторида аммония и серной кислоты ПАВ при соотношениях HF – 5%,  $H_2SO_4$  – 10%, ПАВ – 1,0%, техническая вода – 84%. Добавление ПАВ обеспечивает увеличение взаимодействия плавиковой кислоты с осадкообразующими минералами. При этом плавиковая кислота полностью утилизируется за счет большого количества кварца, содержащегося в песках. Реакции взаимодействия протекают по формулам:



Выбор серной кислоты в качестве реагента растворителя обусловлен реакционной способностью с окисью алюминия, гидроокисью железа и калия, низкой стоимостью и доступностью на добычных предприятиях. Реакция взаимодействия протекает по формуле:



После проведения лабораторных опытов по обработке проб капельным методом различным составом декольматирующих растворов, осадкообразования были высушены при комнатной температуре. Для детального исследования поверхности проб использовался сканирующий электронный микроскоп. Сравнительный анализ снимков после обработки тем или иным раствором и сопоставление его с исходным изображением позволили визуально установить эффективность состава декольматирующего раствора.

Изображения поверхности осадков до и после обработки различными растворами фиксировались при помощи аналитического сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения. Он изготовлен для широкого круга исследовательских задач и контроля качества на субмикронном уровне Tescan MIRA 3 FEG-SEM. Электронная колонна SEM TESCAN MIRA, источник электронов: автоэмиссионный катод Шоттки. Диапазон энергий электронного пучка, падающего на образец: от 200 эВ до 30 кэВ (от 50 эВ с опцией торможения пучка BDT). Для изменения тока пучка в качестве устройства смены апертур используется электромагнитная линза. Ток пучка: от 2 пА до 400 нА с непрерывной регулировкой. Максимальное поле обзора: более 8 мм при  $WD = 10$  мм, более 50 мм при максимальном  $WD$ . Разрешение электронной колонны, режим высокого вакуума 1.2 нм при 30 кэВ, детектор SE. 3.5 нм при 1 кэВ, детектор In-Beam SE. 1.8 нм при 1 кэВ, опция торможения пучка BDT.

## Результаты и обсуждения

В соответствии с приведенной в предыдущем разделе методики в этом разделе приведены основные научные результаты. На рисунке 3 приведены изображения осадкообразований при скважинной добыче урана на (а) – Сантонском, (б) – Маастрихтском, (с) – Кампанском ярусах.

Результаты рентгенофазового анализа осадкообразований проб из скважин Сантонского и Маастрихтского горизонтов свидетельствуют, что осадки однокомпонентные и состоят 100% из гипса продукта химического происхождения. Осадкообразования пробы из скважины Кампанского горизонта показывают, что осадки многокомпонентные и имеют сложную структуру. Наличие кремния в количестве 35,6%, альбегита 33,9%, микроклина 4,9% подтверждают преобладание механического типа кольматации, наличие гипса в 16,7% и кальцита 8,9% присутствие осадков химического происхождения. В таблице 2 приведены результаты полуколичественного рентгенофазовых анализов проб осадкообразований.



(a)	(b)	(c)
Рисунок 3. Снимки проб осадкообразований из скважин		
(a) Сантонского	(b) Маастрихтского	(c) Кампанского горизонтов

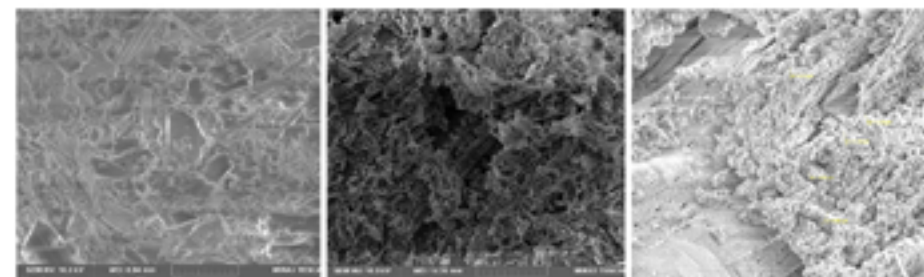
**Таблица 2. Результаты полуколичественных рентгенофазовых анализов кристаллических фаз проб осадкообразований**

Минерал	Формула	Сантонский ярус, %	Маастрихтский ярус, %	Кампанский ярус, %
Quartz	SiO <sub>2</sub>	-	-	35.6
Gypsum	Ca(SO <sub>4</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	100	100	16.7
Calcite	Ca(CO <sub>3</sub> )	-	-	8.9
Albite	(Na <sub>0.75</sub> Ca <sub>0.25</sub> )Al <sub>1.26</sub> Si <sub>2.74</sub> O <sub>8</sub>	-	-	33.9
Microcline	(K <sub>0.95</sub> Na <sub>0.05</sub> )AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	-	-	4.9

Результаты рентгенофазовых исследований осадкообразований свидетельствуют, что на скважинах Кампанского горизонта по сравнению с Сантонским и Маастрихтским ярусами кольматация состоит из многих компонентов и имеет сложную структуру. На Кампанском рудном горизонте преобладает механический тип осадков, когда на Сантонском и Маастрихтском ярусах осадкообразования полностью химического происхождения.

На основе результатов исследований были установлены количественно-качественные характеристики осадкообразований из технологических скважин, вскрывающие различные ярусы продуктивного горизонта. Выявлено что на скважинах Кампанского рудного интервала осадкообразования имеют многокомпонентный состав представляющий смесь осадков механического и химического происхождения. Устранение подобных осадкообразований и повышения фильтрационных характеристик продуктивного горизонта с целью интенсификации процессов подземного выщелачивания затруднительна и требует комплексного подхода и комбинирования гидродинамических и реагентных методов.

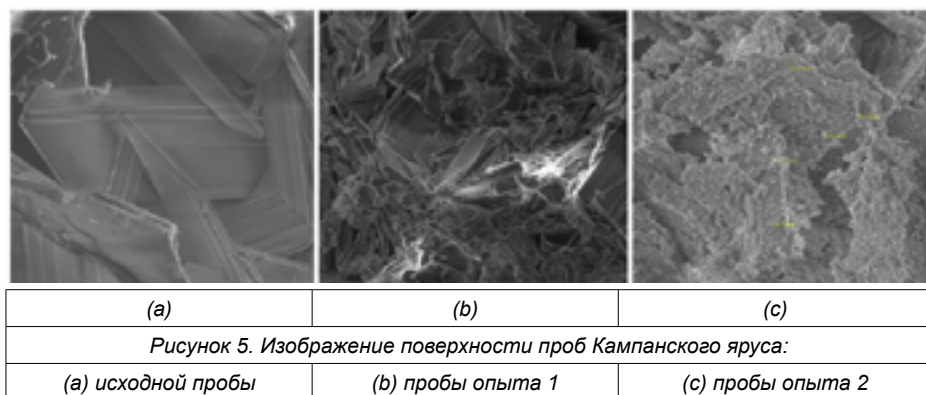
На рисунке 4, приведены снимки проб осадкообразований Маастрихтского горизонта месторождения Северный Харасан Сырдарьинской депрессии до и после обработки специальными растворами (а) – изображение исходной пробы (б) – изображение пробы после опыта 1, (с) – изображение пробы после опыта 2.



(a)	(b)	(c)
Рисунок 4. Изображение поверхности проб Маастрихтского яруса:		
(a) исходной пробы	(b) пробы опыта 1	(c) пробы опыта 2

На рисунке 4,а видно, что поверхность исходной пробы образована из плотных пластинчатых кристаллов с размерами от 5 до 20 мкм с характерным каркасным строением без разрывов и трещин в теле. Формы кристаллов вытянуты с хаотичным расположением и равномерным рельефом поверхности. Из рисунка 4,б видно, что после обработки декольматирующим раствором 1, произошло заметное разрушение структуры и изменение форм кристаллов с уменьшением их размеров и плотности с образованием мелких разрыхленных хлопьев. Расположение кристаллов стало не таким плотным с образованием пустот и промоин в поровом пространстве. Заметно частичное растворение пробы, размеры кристаллов значительно уменьшились с 20 до 5 мкм. Это обусловлено растворением части пробы в плавиковой кислоте. Из рисунка 4,с, изображающего данные опыта 2, видно, что изменения структуры пробы схожа с предыдущим опытом с более выраженным характером. Также заметно растворение осадкообразования декольматирующим раствором и образование промоин и крупных трещин по пути движения раствора. Деформированные формы кристаллов с измененными формами и структурой, размеры пустот больше по сравнению с опытом 1. Это обусловлено растворением осадков в плавиковой и серной кислотах и действием ПАВ. На рисунке 5, приведены снимки проб осадкообразований Кампанского горизонта месторождения Северный Харасан Сырдарьинской депрессии до и после обработки специальными

растворами (а) – изображение исходной пробы (b) – изображение пробы после опыта 1, (c) – изображение пробы после опыта 2.



Из рисунка 5,а видно, что поверхность исходной пробы образована из плотных кристаллов различных размеров от 20 до 40 мкм с характерным каркасным строением без разрывов и трещин в теле. Формы кристаллов прямоугольные с хаотичным расположением и равномерным рельефом поверхности. Из рисунка 5,б видно, что после обработки декольматирующим раствором 1, произошло разрушение структуры и изменение форм кристаллов с уменьшением их размеров и образованием мелких разрыхленных хлопьев. Можно увидеть образование промоин и трещин в теле пробы с образованием пустот и впадин. Заметно частичное растворение пробы, размеры кристаллов уменьшились с 40 до 20 мкм. Значительные изменения обусловлены растворением осадков плавиковой кислотой. Рисунок 5,с, с данными опыта 2 показывает, что структура пробы изменилась более существенно, заметно образование множество глубоких пустот и трещин по пути движения раствора. Обращает внимание на себя деформированные формы кристаллов с закругленными формами. Разрушение обусловлено растворением осадков в плавиковой и серной кислотах, а проникновение за счет действия ПАВ.

#### Методы проведения производственных экспериментов

Для повышения эффективности скважинной добычи урана за счет интенсификации геотехнологических процессов и восстановления проницаемости прифилтровой зоны пласта авторами была разработана и опробована методика химической обработки скважин специальным раствором. Данная методика воздействия на пласт предусматривает - подачу растворов комплекса химических реагентов в фильтровую зону, в продуктивный горизонт для ее реагирования с осадкообразованиями, растворение и удаление продуктов реакции за пределы скважины путем эрлифтной откачки. На рисунке 6 приведена разработанная схема составляющих работ по интенсификации скважинной добычи урана.

Как видно из рисунка 6, основная масса осадкообразований, происходит в продуктивном горизонте, непосредственно в зоне разгрузки растворов и повышения скорости движения растворов от нагнетательных скважин, к откачным скважинам.

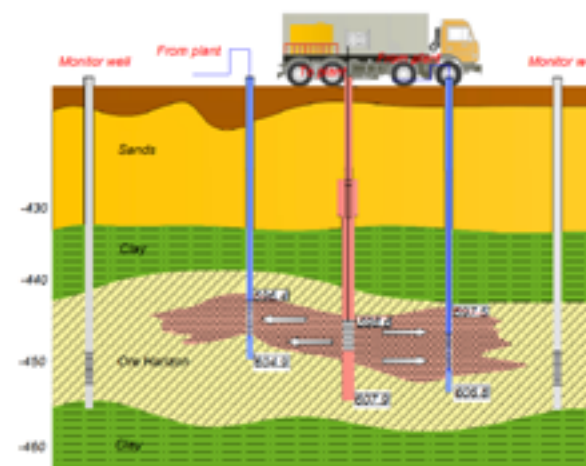


Рисунок 6. Схема интенсификации скважинной добычи урана

Проведение химической обработки с применением химических реагентов предусматривает приготовление растворов на специальном оборудовании, и подачу по напорному рукаву до фильтровой части скважин. При этом приготовленный специальный раствор подается из емкости цистерны, перекачиваемым насосом. Подача декольматирующих растворов на основе плавиковой кислоты 3,0 - 4,0% непосредственно в фильтровую часть технологических скважин позволяет снизить расход химических реагентов и повысить проникающую способность для большего разрушения и диспергирования осадков.

Для организации экспериментальных работ при скважинной добыче урана, соблюдении технологического режима выщелачивания, расчета требуемого объема декольматирующих растворов и химических реагентов необходимо было рассчитать нижеследующие геотехнологические параметры:

Расчетная площадь растекания растворов от фильтра по продуктивному горизонту определялась по формуле:

$$S = \frac{Q_D}{0,22h_3} \quad (5)$$

где  $Q_D$  – объем декольматирующего растворов поданный в скважину, м<sup>3</sup>;  
0,22 – усредненный коэффициент пористости вмещающих пород продуктивного горизонта.

Радиус растекания декольматирующих растворов определялся по формуле:

$$R = \left( \frac{S}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

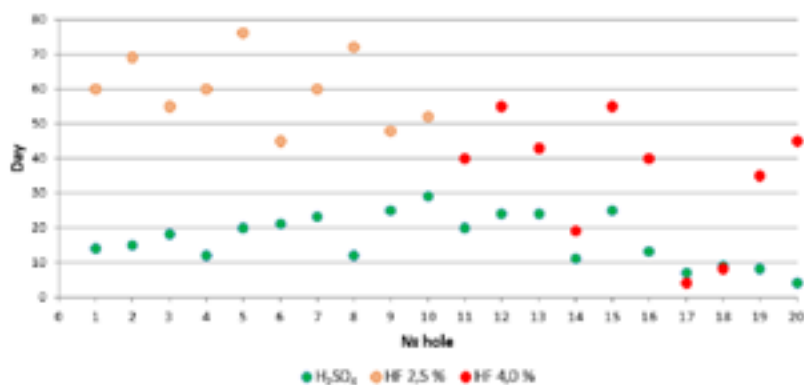
Оборудование для приготовления и подачи растворов химических реагентов состоит из емкости и насоса, которые изготовлены из коррозионностойкого материала. В связи с тем, что они, контактирует с серной и плавиковой кислотами.

Ниже приведены данные по 20 эксплуатационным скважинам с применением различных рецептур декольматирующего раствора. Разработанный декольматирующий раствор включает: техническую воду, плавиковую кислоту, серную кислоту в различных пропорциях. В таблице 3 приведены параметры рецептур декольматирующего раствора и обработанные результаты экспериментальных работ.

**Таблица 4. Параметры декольматирующих растворов и результаты опытных работ**

Состав	Объём ВР, м <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , кг	HF, кг	Количество обработанных скважин	МРЦ до, суток	МРЦ после, суток
HF + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,7	70	200	10	22	60
HF + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,7	70	300	10	16	42

Анализ периодов бесперебойной работы эксплуатационных скважин до и после экспериментальных работ позволил определить эффективность химической обработки скважин инновационным методом. На рисунке 7 приведена диаграмма периодов бесперебойной работы скважин до и после проведения экспериментальных работ. Зеленым цветом показаны, средние значения периода бесперебойной работы выбранных скважин после восстановления фильтрационных характеристик пластов традиционными методами. Оранжевым цветом показаны периоды бесперебойных работ скважин Маастрихтского яруса после проведения химической обработки скважин с применением плавиковой кислоты. Красным цветом показаны периоды бесперебойной работы скважин Кампанского яруса после проведения химической обработки инновационным методом с применением разработанных рецептур.



**Рисунок 7. Результаты сравнительного анализа периода бесперебойной работы геотехнологических скважин**

Сравнительный анализ приведенных данных показывает, что на выбранных геотехнологических скважинах Кампанского и Маастрихтского горизонтов до проведения экспериментов средний период бесперебойной работы составлял 16 и 22 суток соответственно. После применения плавиковой кислоты для восстановления фильтрационных характеристик среднее значение периода бесперебойной работы скважин на Кампанском горизонте составил 42 суток, а на Маастрихтском 60 суток.

## ВЫВОДЫ

Отобранные пробы осадкообразований из действующих технологических скважин, вскрывающие Сантонский, Маастрихтский и Кампанский рудные интервалы и определены количественно-качественные характеристики и установлены составы осадкообразующих материалов. Результаты рентгена-фазовых исследований пробы из скважины Кампанского горизонта показывают, что осадки многокомпонентные и имеют сложную структуру. Наличие кремния в количестве 35,6%, альбегита 33,9%, микроклина 4,9% свидетельствуют что, преобладают механический тип кольматации, наличие гипса в 16,7% и кальцита 8,9% показывает о присутствии осадков химического происхождения.

Проведенные лабораторные опыты по обработке проб осадкообразования с последующим сравнительным анализом микроскопических исследований проб показывает эффективность подобранных химических реагентов. Приготовление декольматирующего раствора на основе плавиковой кислоты (5%), серной кислоты (10%) и ПАВ в малых количествах позволяют повысить растворяющую способность декольматирующего раствора и предотвращают осадкообразование в пласте на более длительное время.

Разработанная схема восстановления фильтрационных характеристик продуктивного горизонта на основе обработки фильтровой части скважин позволяет снизить удельные расход химических реагентов и увеличить эффективность декольматирующего раствора.

В условиях промышленной скважинной добычи урана, на геотехнологических скважинах были установлены рациональные параметры применения инновационного метода восстановления фильтрационных характеристик в рудах с низкими фильтрационными характеристиками. Новый метод эффективно восстанавливает производительность добычных и приемистость нагнетательных скважин, увеличивает период бесперебойной работы скважин на 70 - 80%. Сокращает эксплуатационные расходы на добычу, обеспечивает соблюдение требований экологической и промышленной безопасности.

Дальнейшие исследования по изучению вопросов повышения эффективности растворения и предотвращения осадкообразования продуктивного горизонта в различных условиях с применением физико-химических методов воздействия позволят снизить себестоимость готовой продукции и повысить производительность труда.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khawassek, Y.M. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert / Y.M. Khawassek, M.H. Taha\*, A.A. Eliwa // International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering. - 2016. - V 6. - P. 62-73.
2. Rashad, M.M. Kinetics of uranium leaching process using sulfuric acid for Wadi Nasib ore, South western Sinai, Egypt / M.M. Rashada, S.A. Mohamedb,

- E.M. EL sheikha, H.E. Miraa, G.M. Abd el Wahaba, S.A. Zakia // Aswan University Journal of Environmental Studies. – 2020. – V2. – P. 171-182.
- Bahig, M.Atia1., Mohamed, A. Gado1., Mohamed, F.Cheira1. Kinetics of uranium and iron dissolution by sulfuric acid from Abu Zeneima ferruginous siltstone, Southwestern Sinai, Egypt // Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. – 2018. –V3. – P. 1-12.
  - Chen, J., Zhao, Y., Song, Q., Zhou, Z., & Yang, S. Exploration and mining evaluation system and price prediction of uranium resources // Mining of Mineral Deposits, 2018. 12(1), P. 85-94.
  - Rakishev B.R., Mataev M.M., Kenzhetaev Z.S. Analysis of mineralogical composition of sediments in in-situ leach mining of uranium // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2019. (7). P: 123-131.
  - Nikitina, Yu.G., Poyezzhayev, I.P., Myrzabek, G.A. Improvement of opening schemes of wellfields to optimize the cost of mining uranium // Gornyi Vestnik Uzbekistana.- 2019.-Vol.1.P.6-11.
  - Rakishev, B.R., Bondarenko, V.I., Matev, M.M., Kenzhetaev, Z.S. Influence of chemical reagent complex on intensification of uranium well extraction // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2019, (6). - P. 25-30.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ПО ЗАКАЧКЕ И ОТКАЧКЕ РАСТВОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА УЧИТЫВАЮЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИЕМИСТОСТИ

**Ланде М.А.**

ТОО «СП «ЮГХК» рудник «Южный Инкай», Казахстан

Подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) – способ добычи полезных компонентов с помощью раствора реагента без извлечения руды на поверхность, через систему технологических скважин[1]. При проведении опытно-промышленной добычи и добычи разубоживание продуктивных растворов подземными водами или растекание выщелачивающих растворов за контур эксплуатационного блока не допускается[2]. Разубоживание продуктивных растворов или растекание выщелачивающих растворов за контур блока приводит к увеличению сроков отработки, перерасходу реагентов, увеличению себестоимости урана. Соотношение между подачей в недра рабочих растворов и откачкой продуктов их взаимодействия с рудами – одно из основных условий, определяющих возможность загрязнения поверхностных и подземных вод. Основными составляющими баланса являются приход и расход рабочих растворов.

В настоящее время технологический регламент по закачке и откачке растворов в нагнетательные и откачные скважины технологического блока разрабатывается следующим образом:

в первую очередь по проекту и в зависимости от дебита, концентрации урана определяется, сколько кубов раствора в час должна откачиваться из каждой откачной скважины. Затем по формуле ниже определяется, сколько кубов раствора закачивается в каждую нагнетательную скважину в час:

$$a_1 = \frac{b_1}{n_1} + \frac{b_2}{n_2} + \dots + \frac{b_n}{n_n}$$

где,  $a_1$  – объём принимаемого раствора в час по регламенту нагнетательной скважины, м<sup>3</sup>/ч.

$b_1, b_2, b_n$  – регламент, установленный на откачные скважины, в которых работает данная нагнетательная скважина, м<sup>3</sup>/ч.

$n_1, n_2, n_n$  – количество нагнетательных скважин, работающих на откачную скважину, ед.

На рисунке ниже (Рис.1) изображен регламент технологического блока, выполненный по этой формуле в файле MS Excel.

Эта формула и технологический регламент, составленный на основе этой формулы, имеют следующие недостатки:

- в связи с определенными причинами (конструктив-

Well	Volume	Concentration	Flow rate	Comments
1	100	10	1000	
2	100	10	1000	
3	100	10	1000	
4	100	10	1000	
5	100	10	1000	
6	100	10	1000	
7	100	10	1000	
8	100	10	1000	
9	100	10	1000	
10	100	10	1000	
11	100	10	1000	
12	100	10	1000	
13	100	10	1000	
14	100	10	1000	
15	100	10	1000	
16	100	10	1000	
17	100	10	1000	
18	100	10	1000	
19	100	10	1000	
20	100	10	1000	
21	100	10	1000	
22	100	10	1000	
23	100	10	1000	
24	100	10	1000	
25	100	10	1000	
26	100	10	1000	
27	100	10	1000	
28	100	10	1000	
29	100	10	1000	
30	100	10	1000	

Рисунок 1. Технологический регламент

ными нарушениями в скважине, нарушениями в оборудовании для подъема раствора (насос, эрлифт) или снижением концентрации урана от кондиционного и т.д.) при прекращении работы откачной скважины, придется пересмотреть регламент и внести коррективы.

- в этой формуле не учитывается коэффициент приемистости нагнетательной скважины. Следовательно, поддерживать баланс растворов будет сложно. Следует отметить, что баланс растворов должен поддерживаться на самом последнем уровне, то есть в ячейке.

С целью устранения этих недостатков была разработана мною следующая формула:

$$a_1 = \left( \frac{b_1}{k_{a2} + k_{a3} + \dots + k_n + 1} + \frac{b_2}{k_{a4} + k_{a5} + \dots + k_n + 1} + \dots + \frac{b_n}{k_{a6} + k_{a7} + \dots + k_n + 1} \right) \times k_{a1}$$

где  $a_1$  – объём принимаемого раствора в час по регламенту нагнетательной скважины, м<sup>3</sup>/ч.

$b_1, b_2, b_n$  – регламент, установленный на откачные скважины, в которых работает данная нагнетательная скважина, м<sup>3</sup>/ч.

$k_{a2} + k_{a3} + \dots + k_n + 1, k_{a4} + k_{a5} + \dots + k_n + 1, k_{a6} + k_{a7} + \dots + k_n + 1$  – коэффициент приемки нагнетательных скважин, работающих на откачные скважины  $b_1, b_2, b_n$ .

$k_{a1}$  – коэффициент приемистости нагнетательной скважины  $a_1$ .

На рисунке ниже (Рис.2) изображен регламент технологического блока, выполненный по этой формуле в файле MS Excel.




Рисунок 2. Оптимизированный технологический регламент учитывающий коэффициент приемистости

**Расчет коэффициента приемистости.** Если по регламенту нагнетательная скважина  $a_1$  должна принимать 3 м<sup>3</sup> в час, но при максимальном открытом положении задвижек она принимает только 1,8 м<sup>3</sup> в час, то рассчитаем коэффициент приемистости следующим образом:

$$k_{a1} = a_1 / c_1$$

где,  $a_1$  – объём принимаемого раствора в час по регламенту нагнетательной скважины, м<sup>3</sup>/ч.

$c_1$  – объём принимаемого раствора в час при полном открытии задвижек нагнетательной скважины м<sup>3</sup>/час.

$$k_{a1} = 1,8/3=0,6$$

Следовательно, коэффициент приемистости нагнетательной скважины  $a_1$  равен 0,6.

Если в нагнетательных скважинах ведутся ремонтно-восстановительные работы или скважина перестает работать из-за конструктивных нарушений в скважине, то в файлах MS Excel необходимо заполнить коэффициент приемистости в скважинах равным 0.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная разработка оптимизации технологического регламента учитывающий коэффициент приемистости положительно влияет на баланс растворов, который не допускает разубоживание продуктивных растворов и растекание выщелачивающих растворов за контур технологического блока.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добыча урана методом подземного выщелачивания (23 автора) / Под ред. В.А. Мамилова. – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.
2. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1800017131>

СЕКЦИЯ:  
«СОВРЕМЕННАЯ  
ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА»

## ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК (ТВС) В РК

**Джумакулов А.Д.**

АО «НАК «Казатомпром», Астана, Казахстан

АО «НАК «Казатомпром» участвует во всех этапах дореакторного ЯТЦ:

- добывает уран, перерабатывает его;
- на этапе планирования находится проект по созданию мощности аффинажа на территории Ульбинского металлургического завода;
- Казатомпром имеет доступ на Обоганительные услуги в Российской Федерации;
- изготавливает топливные таблетки;
- с прошлого года в Республике Казахстан действует Завод по производству тепловыделяющих сборок (ТВС).

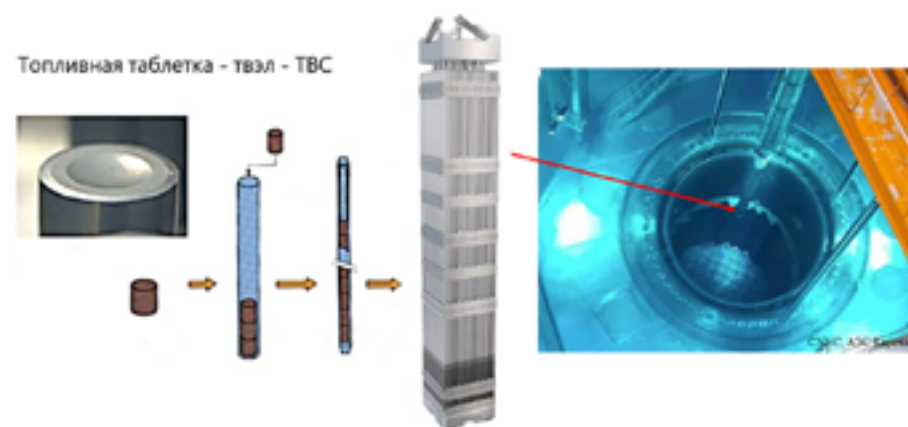
ТВС – ядерное топливо, загружаемое в реактор для получения тепловой энергии за счет контролируемой цепной ядерной реакции. ТВС содержит ядерный материал в виде топливных таблеток.



Завод ТОО «Ульба-ТВС» производит ТВС французского дизайна AFA 3G с форматом «17x17». Framatome выпускает ТВС этого типа с 1996 года, и по 2019 год порядка 39 тысяч ТВС были использованы. АЭС в 9 странах используют такой тип ТВС. Одним из таких стран является КНР. Продукция Завода Ульба-ТВС предназначены для китайских реакторов CPR. 20 из 26 действующих реакторов – в КНР это реакторы CPR.

ТОО «Ульба-ТВС» является Совместным предприятием, Казахской стороне принадлежит 51%, а китайской стороне 49%. Завод расположен на территории УМЗ, в г.Усть-Каменогорск, РК. Продукция Завода Ульба-ТВС экспортируются в Китай. Проектная мощность 200 тонн урана в год в виде ТВС, и период эксплуатации 20 лет.

На этапе планирования, у нас уже было здание для расположения оборудования



производственной линии, существующая технология – это технология Framatome по производству ТВС. А Ульбинский проектно-конструкторский институт разработал рабочий проект Завода ТВС.

Завод ТВС можно разбить на несколько зон:

- линия изготовления твэл;
- линия изготовления скелетонов;
- линия изготовления ТВС;
- зона контроля и испытания ТВС;
- зона хранения ТВС.

На заводе ТВС имеются оборудования, изготовленные Framatome и ведущими компаниями КНР в атомной отрасли.

2018-2019 годы проводились строительно-монтажные работы, территория завода была зачищена, панели заменены на сэндвич-панели согласно рабочему проекту.

2020 году закончили строительно-монтажные работы и пусконаладку оборудования.

В 2021 году успешно завершили сертификацию завода лицензиаром и покупателем.



Завод имеет квалифицированный персонал, которые прошли обучение на заводах Framatome, CGN. Также специалисты Framatome провели инструктаж на заводе ТВС в Усть-Каменогорске на оборудовании производственной линии Завода Ульба-ТВС.



После пусконаладочных работ оборудования, Акт ввода в эксплуатации Завода Ульба-ТВС был подписан в ноябре 2020 года, и Framatome приступил к работам по сертификации Завода Ульба-ТВС.

В сентябре 2021 года Завод получил Сертификат Framatome на право производства ТВС типа АФА 3G, а в октябре 2021 года CGN-URC признал ТОО «Ульба-ТВС» сертифицированным поставщиком ТВС на их реакторы в КНР.

Завод также получил все необходимые государственные лицензии в области использования атомной энергии и заключил необходимые контракты на поставку компонентов, таблеток и на транспортировку ТВС.



В декабре 2020 года был подписан Долгосрочный контракт на покупку продукции Завода ТВС.

10 ноября 2021 года состоялся торжественный запуск производства ТВС в Усть-Каменогорске. В торжестве принимали участие Председатели Правлений Самрук-Казына, Казатомпром, Аким ВКО, топ менеджмент Framatome, CGN-URC, а также руководство Агентства по атомной энергии Китая.



Линия производства ТВЭЛ состоит из следующих этапов операций:



На линии производства скелетов, двусторонний робот точечной сварки вместе сваривает решетки к направляющим трубкам и инструментальной трубке. После готовый скелет проходит проверку на качество и геометрические характеристики. После чего, скелет перемещается на стеллаж временного хранения:



Скелет состоит из хвостовика, 11 решеток, 24 направляющих и одной инструментальной трубки в середине.

Линия производства ТВС объединяет продукт двух предыдущих линий: скелетона и 264 твэлов. Сборка ТВС заканчивается установкой хвостовика и головки. После готовая ТВС проходит проверку на габариты и визуальный контроль, после чего перемещается на стеллаж временного хранения.

Когда достаточное кол-во ТВС произведено, они помещаются в ТУКи. В каждый



ТУК загружаются 2 ТВС. Загруженные ТУК размещаются на контейнер, которые в свою очередь загружаются на ЖД платформу. Груз по готовности отгружаются с Завода ТВС и поставляется на ЖД станцию в Китае. Далее китайские ЖД перевозят груз до предназначенного АЭС.



И напоследок. Две знаменательные даты для Завода ТВС в Усть-Каменогорске: Первый ТВС Завод Ульба-ТВС и Казахстана была произведена 12 августа 2021 года. А поставка первой партии казахстанской ТВС на АЭС в КНР завершена 6 декабря 2022 года.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭБС «ACRAWAX C» В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СУХОЙ СМАЗКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК

*Милейко А.А., Алдажаров Т.М.,  
Кириллов Е.В., Долганов А.В., Ким С.А.*  
АО «УМЗ», Усть-Каменогорск, Казахстан

В 2010 году в урановом производстве АО «УМЗ» реализована процедура сертификации процесса изготовления топливных таблеток по «сухой» технологии, в ходе которой были определены и отработаны режимы получения порошков и пресс-порошков  $UO_2$ , что позволило получать топливные таблетки дизайна AFA 3G с выходом в «годное» на уровне 85%. При производстве топливных таблеток по «сухой» технологии качество используемой сухой смазки является одним из определяющих условий для достижения целевых оценочных показателей керамического ядерного топлива.

Стеарат цинка различных марок обладает свойством оказывать положительное влияние на процессы: грануляции (на гранулометрический состав пресс-порошков), прессования (на количество брака при увеличении плотности прессовок) и спекания (на плотность спеченных таблеток, количество брака по внешнему виду), так и имеет существенный недостаток – большие значения температур разложения и отгонки остатка. Например, цинк отгоняется при  $T > 910^\circ C$ , величина самого остатка также значительна, что приводит к его оседанию и накоплению на футеровке и нагревателях печи в зоне с температурой около  $550^\circ C$ , вследствие чего возникает необходимость проводить зачистки, что приводит к простоям оборудования и снижает ресурс работы печей спекания.

С целью исключения процесса зарастания печей спекания и обеспечения более продолжительного безостановочного периода работы, ведутся исследования по поиску новых альтернативных сухих смазок. Одним из потенциальных альтернативных вариантов является сухая смазка – этилен-бис-стеарамид (ЭБС, химическая формула:  $C_{38}H_{76}N_2O_2$ ). Вследствие отсутствия цинка, отрицательно влияющего на продолжительность работы печи, использование ЭБС позволит уменьшить время простоя, увеличить срок службы печного оборудования, повысить производительность в целом.

Таким образом, актуальность данной работы обусловлена необходимостью оценки влияния качественных и количественных характеристик порошков ЭБС на качество топливных таблеток с обеспечением более продолжительного безостановочного периода работы печного оборудования.

Для определения возможности использования в качестве альтернативной сухой смазки порошка ЭБС под торговой маркой Acrawax C, были проведены исследования по его технологическому опробованию. В качестве объектов исследований использовались 3 образца различного гранулометрического состава. Основные характеристики исследуемых порошков Acrawax C представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики Асгвах

Наименование параметров	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Т плавления, °С (по документам)	140-145	140-145	140-145
Т плавления, °С (экспериментальные данные)	155	>155	155
Кислотное число (мгКОН/г), %	≤8	≤8	≤8
Температура воспламенения, 0С	285	285	285
Просев на сите 100 меш, %	-	-	1
Просев на сите 170 меш, %	-	0,1	-
Просев на сите 325 меш, %	0,1	-	-
50 % порошка с размером частиц до, мкм	7,8	11	-
90 % порошка с размером частиц до, мкм	-	32	-

Из анализа характеристик Асгвах С, приведенных в таблице 1, установлено, что, образец №1 имеет самый мелкий гранулометрический состав, образец №3 – самый крупный.

Для проведения экспериментов использовали порошок диоксида урана с насыпной плотностью 2,01 г/см<sup>3</sup>. Приготовление пресс-порошков было проведено в лабораторных условиях с добавлением порошков Асгвах С всех трех образцов, и, для сравнения, со стеаратом цинка (СЦ). Основные операции приготовления пресс-порошков приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные операции приготовления пресс-порошков

Порошок диоксида урана			
Добавление 0,3% СЦ и 0,4% АДКА, смешение 10 минут	Добавление 0,3% Асгвах С №1 и 0,4% АДКА, смешение 10 минут	Добавление 0,3% Асгвах С №2 и 0,4% АДКА, смешение 10 минут	Добавление 0,3% Асгвах С №3 и 0,4% АДКА, смешение 10 минут
Мех.обработка 2 минуты	Мех.обработка 2 минуты	Мех.обработка 2 минуты	Мех.обработка 2 минуты
Добавление 0,1% СЦ, усреднение 10 минут	Добавление 0,1% Асгвах С №1, усреднение 10 минут	Добавление 0,1% Асгвах С №2, усреднение 10 минут	Добавление 0,1% Асгвах С №3, усреднение 10 минут
Насыпная плотность 2,24 г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность 2,27 г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность 2,30 г/см <sup>3</sup>	Насыпная плотность 2,24 г/см <sup>3</sup>

Из таблицы 2 видно, что насыпная плотность пресс-порошков с Асгвах С Образец №1 и, образец №2 несколько выше, чем со СЦ и Асгвах С, образец №3. Гранулометрический состав полученных пресс-порошков представлен на рисунке 1.

Из рисунка 1 следует, что гранулометрические составы полученных пресс-порошков практически идентичны друг другу.

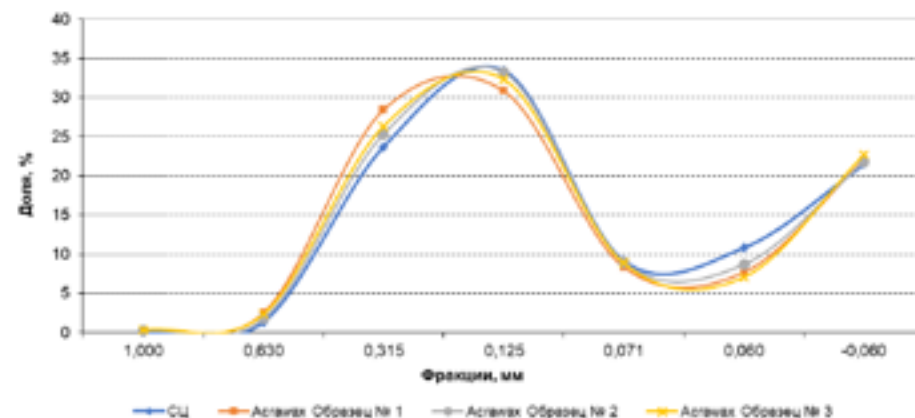


Рисунок 1. Гранулометрический состав пресс-порошков

Из подготовленных пресс-порошков на прессе были отформованы прессовки типа АФА 3G. Характеристики прессовок приведены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики прессовок

Вариант	Высота прессовок, мм			Масса, г			Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред
Пресс-порошок со СЦ	16,01	16,49	16,39	7,63	7,82	7,78	5,75	5,78	5,76
Пресс-порошок с Асгвах С, образец №1	15,69	16,79	16,39	7,41	7,95	7,75	5,72	5,76	5,74
Пресс-порошок с Асгвах С, образец №2	15,95	16,68	16,47	7,74	7,89	7,79	5,73	5,75	5,74
Пресс-порошок с Асгвах С, образец №3	15,62	16,63	16,19	7,37	7,84	7,63	5,71	5,74	5,72

Спекание прессовок проводили в печи TER по штатному режиму при периоде продвижения лодок 50 мин.

После спекания таблетки прошли процесс шлифования, сушки, контроля геометрических размеров и разбраковки по внешнему виду. Плотность спеченных таблеток приведена в таблице 4. Результаты разбраковки таблеток по внешнему виду представлены в таблице 5.

Анализ плотности спеченных таблеток, показал, что численные значения исследуемого параметра всех рассмотренных вариантов с добавкой Асгвах С находятся на одном уровне. Плотность прессовок и величина средней плотности спеченных таблеток при использовании СЦ несколько выше.

**Таблица 4. Геометрическая и гидростатическая плотность спеченных таблеток**

Вариант	Геометрическая плотность, г/см <sup>3</sup>			Гидростатическая плотность, г/см <sup>3</sup>		
	min	max	средн	min	max	средн
Таблетки со СЦ	10,419	10,437	10,431	10,46	10,47	10,46
Таблетки с Асгвах С, образец №1	10,393	10,418	10,407	10,43	10,45	10,44

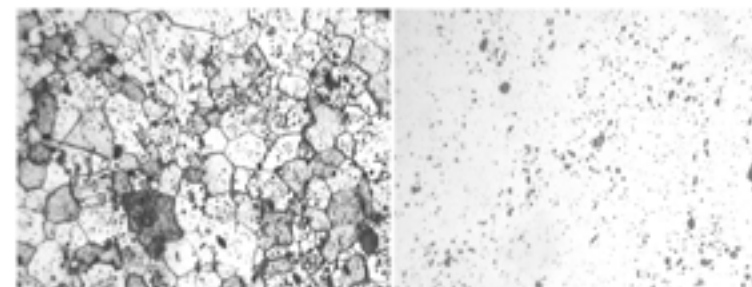
Вариант	Геометрическая плотность, г/см <sup>3</sup>			Гидростатическая плотность, г/см <sup>3</sup>		
	min	max	средн	min	max	средн
Таблетки с Асгвах С, образец №2	10,371	10,420	10,400	10,43	10,46	10,44
Таблетки с Асгвах С, образец №3	10,341	10,391	10,365	10,39	10,42	10,41

**Таблица 5. Результат разбраковки таблеток по внешнему виду**

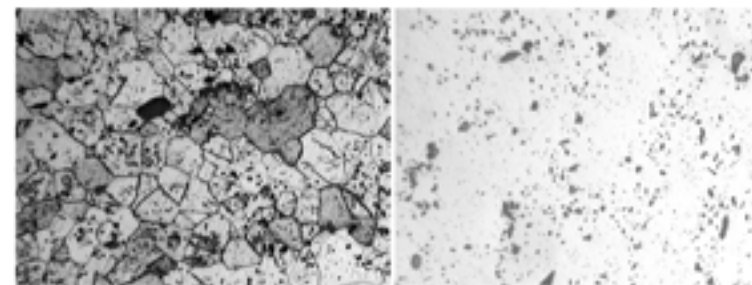
Годные, виды брака	Вариант			
	СЦ	Асгвах С, образец №1	Асгвах С, образец №2	Асгвах С, образец №3
Годные	91,4	86,2	89,3	84,7
Брак	8,6	13,8	10,7	15,3
<b>по видам брака</b>				
Трещины торцевые замыкающие, тип №1	2,4	2,6	0,5	1,7
Трещины торцевые замыкающие, тип №2	0,3	1,0	1,6	1,4
Трещины кольцевые поперечные	2,1	6,9	5,2	9,9
Сколы	3,8	3,3	3,4	2,4

Анализ результатов разбраковки таблеток по внешнему виду показал, что выход в «годное» на операции разбраковки таблеток со СЦ превосходит аналогичный показатель, чем с использованием Асгвах С всех образцов. Однако никаких новых видов брака на таблетках, изготовленных с использованием Асгвах С, не обнаружено. Количество таких видов брака как тип №1 и трещины поперечные возможно уменьшить корректировкой массовой доли Асгвах С и более качественной настройкой прессы.

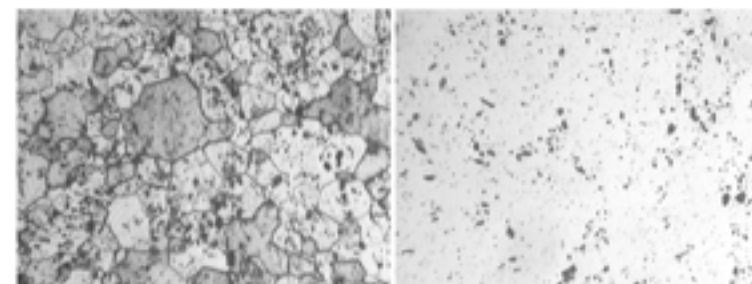
На рисунке 2 представлены характерные участки зеренной и пористой микроstructures всех вариантов таблеток.



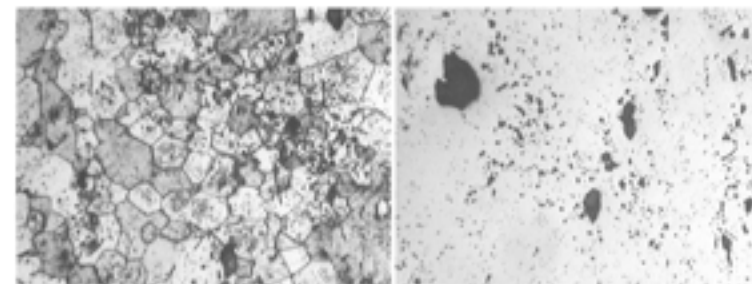
со СЦ



с Асгвах С, образец №1



с Асгвах С, образец №2



с Асгвах С, образец №3

Рисунок 2. Фрагменты зеренной и пористой микроstructures таблеток (x 200)

Анализ микроструктуры образцов показал, что структура зерна всех вариантов идентична, размер зерна составляет ~19 мкм. Пористая структура таблеток с СЦ, Асгвах С, образец №1, Асгвах С, образец №2 также сопоставима между собой и характеризуется наличием большого количества мелких пор, размер крупных пор до 10 мкм. Микроструктура таблеток с Асгвах С, образец №3 отличается наличием более крупных пор размером до 60 мкм.

Результаты аналитического контроля состава химических примесей в изготовленных таблетках представлены в таблице 6.

**Таблица 6. Химические характеристики таблеток**

Параметр	Технологические требования	Вариант			
		СЦ	Асгвах С, образец №1	Асгвах С, образец №2	Асгвах С, образец №3
<b>Массовая доля примесей, мкг/г UO<sub>2</sub></b>					
B	не установлено	< 0,088	< 0,088	< 0,088	< 0,088
Cd	не установлено	< 0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
Zn	не более 18	< 2,6	< 2,6	< 2,6	< 2,6
Er	не установлено	0,085	0,076	0,048	0,046
Al	факт	52	50	52	55
Ca	факт	< 26	< 26	< 26	< 26
Mg	факт	< 8,8	< 8,8	< 8,8	< 8,8
Si	факт	17	18	18	19
(Al+Ca+Mg+Si)	не более 526	104	103	105	108
Ti	факт	< 0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
(Al+Ca+Mg+Si+Ti)	не более 564	104	103	105	108
Cr	факт	1,25	1,38	1,45	1,37
Fe	факт	23	25	26	15
Ni	факт	0,48	0,45	0,47	0,47
(Cr+Fe+Ni)	не более 299	25	26	27	17
Mo	факт	< 0,44	< 0,44	< 0,44	< 0,44
(Cr+Fe+Ni+Mo)	не более 373	25	27	28	17
F	не более 6	< 2	< 2	< 2	< 2
Cl	не более 18	< 5	< 5	< 5	< 5
C	не более 83	12	10	14	20
N	не более 59	6	16	19	8

Как видно из результатов, представленных в таблице 6, в анализируемых таблетках не имеется существенных различий по составу примесей. Все измеренные численные значения не превышают технологических требований.

На основании проведенных исследований сравнительного лабораторного опробования можно сделать вывод, что таблетки, полученные с использованием в качестве альтернативной сухой смазки порошков Асгвах С, образец №1, Асгвах С, образец №2, Асгвах С, образец №3 в сравнении с таблетками со СЦ, не имеют существенных отличий по параметрам плотность, внешний вид, микроструктура и содержанию химических примесей.

Таким образом, из всех предоставленных образцов порошков Асгвах С, для использования в качестве сухой смазки было отдано предпочтение образцу №2 ввиду того, что, насыпная плотность пресс-порошков с его добавлением выше, чем у других, таблетки с использованием Асгвах С, образец №2 имеют максимальный выход в годное по внешнему виду.

Данный выбор позволит исключить процесс образования зарастания печей, увеличить их срок службы, тем самым повысить производительность процесса спекания.

СЕКЦИЯ:  
«ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ТЕПЛООВОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT

**Е.А. Кабдылкаков, А.С. Сураев, Р.А. Иркимбеков**

Филиал «Институт атомной энергии» НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

### ВВЕДЕНИЕ

Исследовательский реактор ИГР – является одним из реакторных комплексов, на которых регулярно проводятся внутриреакторные испытания тепловыделяющих сборок. Для проведения данных работ разрабатываются специальные экспериментальные устройства (ЭУ). Данные устройства включают в себя тепловыделяющие сборки, теплоноситель, различные конструкционные элементы, теплоизоляцию и т.д. Экспериментальные работы в реакторе ИГР сданными устройствами требуют проведения предварительного расчетного анализа. Для этих целей в Филиале «Институт атомной энергии» РГП «Национальный ядерный центр РК» применяется лицензионное программное обеспечение ANSYS FLUENT [1], которая входит в программный пакет ANSYS.

Программа ANSYS FLUENT, в расчетном обосновании безопасности экспериментальных работ на реакторе ИГР, используется для выполнения теплового анализа систем [2,3]. Данное программное обеспечение также может решать задачи гидравлики, аэродинамики, моделировать различные химических реакций [4,5] и т.д. В связи с увеличением вычислительных ресурсов в филиале ИАЭ РГП НЯЦ РК появилось возможность проводить расчеты с моделями сложной структурой, которые состоят из множества твэлов и различных конструкционных элементов. В связи этим возникла необходимость совершенствования расчетных методов, которые позволяют оперативно проводить обработку большого количества входных и выходных расчетных данных.

### Графический интерфейс программы ANSYS FLUENT

Тепловой анализ ЭУ для реактора ИГР проводится в несколько этапов. Для начала осуществляется построения геометрической модели ЭУ, после генерируется конечно-элементная расчетная модель (сетка). Сетка модели загружается в программу ANSYS FLUENT где осуществляется настройка расчета, сам расчет и обработка его результатов.

При настройке условий расчета выбирается алгоритм численного решения дифференциального уравнения, схемы дискретизации; задается свойства материалов, начальные и граничные условия. После, проводится инициализация расчета, задаются начальные значения физических величин (температура, давление и т.д.). Настройка решателя осуществляется через пользовательский графический интерфейс программы или Graphical User Interface (GUI) (рисунок 1).

При использовании GUI открывается множество различных окон и вкладок, где вводятся значения различных физических величин и расчетных параметров. Данная методика настройки решателя несмотря на свою простоту имеет ряд недостатков.

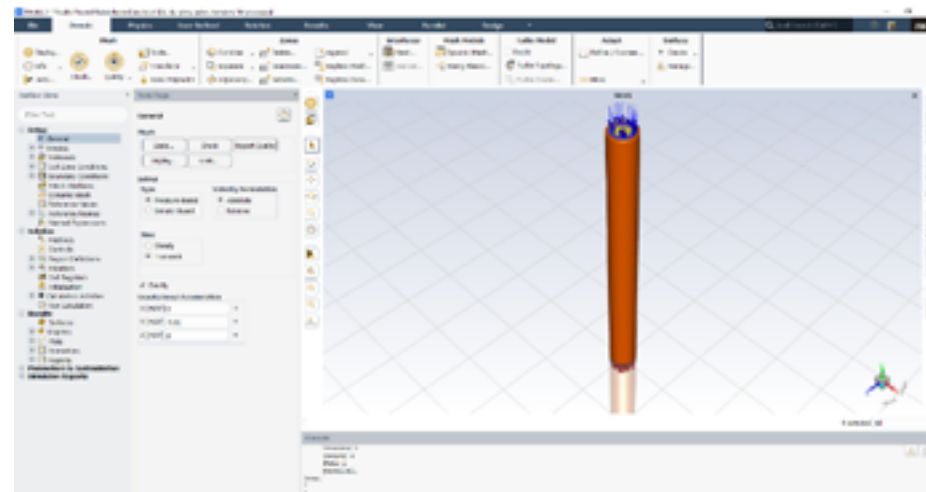


Рисунок 1. Графический интерфейс (GUI) программы ANSYS FLUENT

В частности, открытия множество графических окон и ввод множества расчетных параметров является утомительным для пользователя программы, поскольку требуется повторение одних и тех же операций (рисунок 2). При увеличении сложности структуры модели количество операций по настройке увеличиваются многократно.

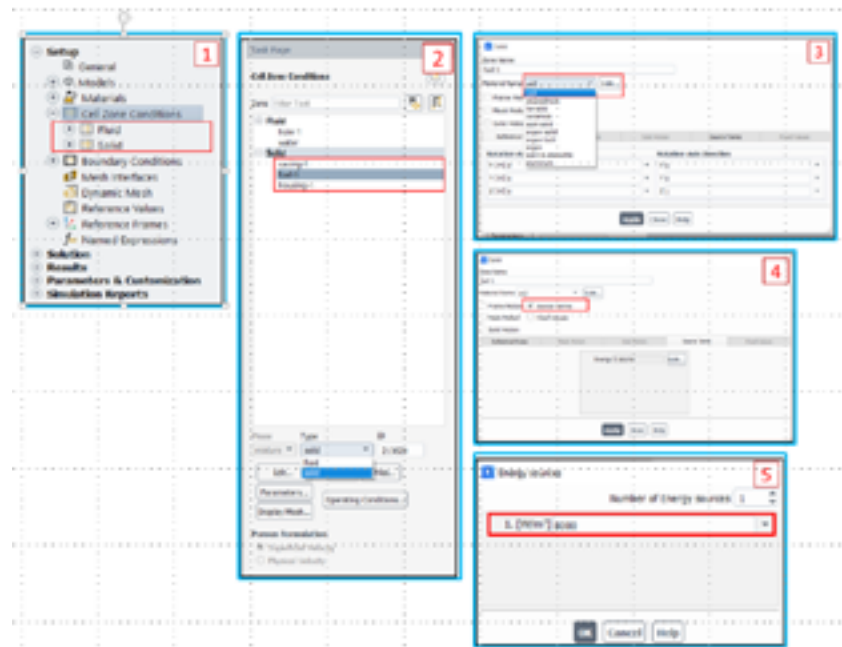


Рисунок 2. Настройка условий расчета через графический интерфейс программы ANSYS FLUENT

На рисунке 2 представлен пример настройки значения энерговыделения для одного топливного элемента. Для настройки энерговыделения потребовалось открыть 4 графических окон. В случае проведения расчетов для ЭУ имеющая в наличии для примера 16 твэлов, то придется открыть 48 графических окон.

Как правило расчетное обоснование безопасности реакторных экспериментов требует проведения серии из нескольких расчетов, отличающихся несколькими входными параметрами. В случае проведения такого обоснования группой сотрудников, возникает проблема, связанная с воспроизводством типовых условий в серии однотипных расчетов. Поэтому, если первоначальная настройка решателя программы была проведена одним сотрудником, то другой будет вынужден воспроизводить те же операции в графическом интерфейсе программы, что является длительным, трудозатратным и неэффективным процессом. При таком подходе существует риск возникновения ошибок, связанных с человеческим фактором. Для улучшения скорости расчетного анализа безопасности предлагается использовать текстовый интерфейс или Text User Interface (TUI) программы ANSYS FLUENT.

### Текстовый интерфейс программы ANSYS FLUENT

Текстовый интерфейс ANSYS FLUENT представляет собой текстовые команды, соответствующие различным операциям в программе [7]. Каждому действию в программе соответствует своя текстовая команда. Есть два способа ввода текстовых команд: через консоль программы ANSYS FLUENT (рисунок 3а) и через журнал команд (рисунок 3б).

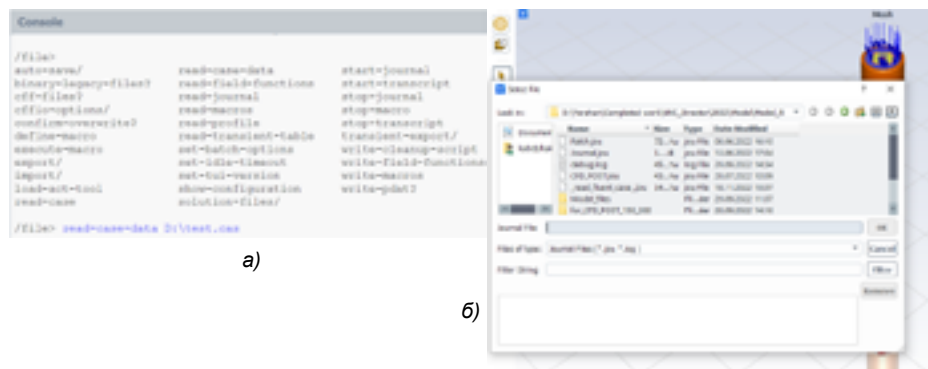


Рисунок 3. Ввод текстовых команд в программу ANSYS FLUENT, а) через консоль программы, б) через журнал команд

Ввод текстовых команд через журнал команд предпочтительнее, поскольку позволяет хранить командные строки в отдельном текстовом файле, при необходимости вводя в них изменения. В данной работе разрабатывается журнал текстовых команд, позволяющий проводить настройки условий теплового анализа для обоснования безопасности экспериментов на реакторе ИГР.

### Разработка журнала текстовых команд

Настройки условий расчета в программе ANSYS FLUENT осуществляется последовательно. Для начала осуществляется настройка влияния гравитационных сил, где выбирается направления сил гравитации и вводится значения гравитационного ускорения. После, осуществляется настройка используемых расчетных моделей, которые включают активацию уравнения энергии, выбор расчетной модели турбулентности. В зависимости от вида задачи могут использоваться модели лучистого теплообмена, модели плавления, модели дискретной фазы (для химических реакций), многофазные модели и т.д. Для типовых реакторных экспериментов достаточно использовать модели турбулентности и активировать уравнения энергии. На рисунке 4 представлен разработанный журнал текстовых команд, который автоматически настраивает условия расчетного анализа безопасности реакторного эксперимента на ИГР.



Рисунок 4. Разработанный журнал текстовых команд для настройки условий расчета

Командные строки 1-3, на рисунке 4, соответствует настройкам сил гравитации и расчетных моделей. Строки 4-10 настраивают начальные и граничные условия. В них осуществляется настройка пользовательских функций, которые позволяют задавать внутреннее энерговыделение, настройка скорости теплоносителя на входе, выбор материала для расчетной зоны. Выбор видов дискретизации для различных уравнений осуществляются строкам 11-17. Инициализацию расчета и ввод начальных значений физических величин осуществляют строки 18-23. Строки 23 -27 обеспечивают настройку величины шага по времени (в случае нестационарного расчета), количества итераций и шагов.

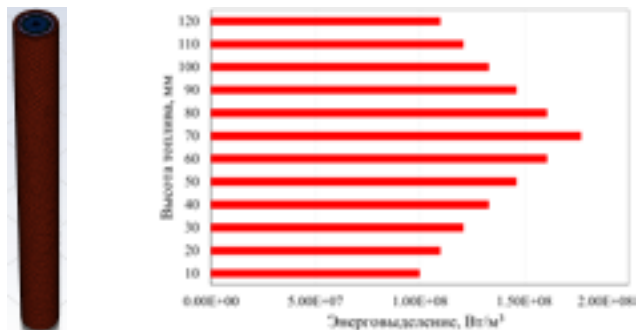
### Апробация разработанного журнала команд

#### Постановка задачи

Типовое ЭУ (рисунок 3) представляет собой упрощенную модель, состоящую из одного тепловыделяющего элемента, оболочки и водяного теплоносителя. Скорость теплоносителя на входе принята постоянной и равна 0,5 м/с. В твэле зада-



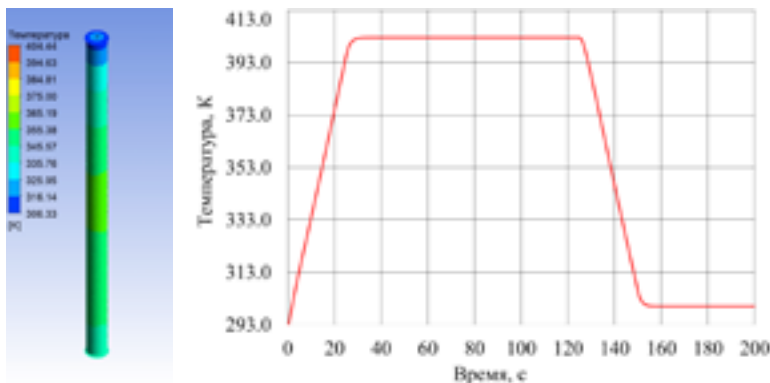
ется внутреннее энерговыделение. Топливом твэла является диоксид урана, тогда как материалом оболочки и корпуса является сталь марки 12X18H10T. По условию задачи необходимо исследовать динамику изменения распределения температуры в объеме ЭУ в течение 200 с. Начальная температура элементов ЭУ принята 293 К. Теплофизические свойства материалов заимствованы из справочной литературы [8 - 11]. На всех этапах моделирования тепловое состояние типового экспериментального устройства применялся разработанный ранее журнал команд и отдельные команды текстового интерфейса.



а) Расчетная модель б) распределения энерговыделения во высоте ЭУ  
Рисунок 5. Условия задачи

### Результаты моделирования

В результате расчета, получен график распределения температуры в объеме топлива и график изменения максимальной температуры в топливе по времени. График получен в программе ANSYS FLUENT с помощью команд текстового интерфейса.



а) распределение температуры по высоте топлива на 130 с

б) диаграмма изменения температуры в центре топлива

Рисунок 4. Результаты теплофизического расчета

### Заключение

Разработанная методика построения журнала команд позволяет создавать журналы команд для проведения теплового анализа для расчетного обоснования безопасности выполняемых экспериментов в реакторе ИГР. Применение журнала команд позволяет пользователю программы быстро изменять параметры программы ANSYS FLUENT. Такие преимущества становятся особенно важными как при проведении серии теплофизических расчетов с различными граничными условиями, так и при групповой работе над одним проектом. Журнал команд позволяет оперативно вникать в условия расчета, вносить в них требуемые изменения, быстрее получать результаты расчета и обрабатывать их.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в РК» (BR09158470).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Сулейменов Н.А., Мухамедов Н.Е., Котов В.М. Влияние радиационного разогрева конструкционных материалов экспериментального устройства с конвертером нейтронов на их температурный режим // ВЕСТНИК НЯЦ РК. – 2020. – №.4. – с. 61-68.
- Сулейменов Н.А., Пахниц А.В., Сураев А.С. Внутрореакторный эксперимент по испытанию твэла быстрого реактора в условиях аварии с потерей теплоносителя // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – №. 1. – С. 133-138.
- Мухамедов Н.Е. и др. Взаимодействие расплава топлива и стали с имитатором опорной плиты стержня регулирования // Достижения науки и технологий-ДНиТ-2021. – 2021. – С. 93-97.
- Витюк В.А. и др. Разработка модельной ТВС для исследования аварийной ситуации с мгновенной блокировкой потока теплоносителя в реакторе на быстрых нейтронах // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – №. 3. – С. 93-98.
- Бакланов В.В. Взаимодействие кориума с корпусом водо-водяного энергетического реактора при тяжелой аварии: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: спец. 01.04. 07 : дис. – 2017.
- Fluent, I. (2002). Fluent 14.5 user guide. Fluent Inc., Lebanon. NH-03766.
- ANSYS FLUENT Text Command List Release 2021// Command List. – 2020
- International Atomic Energy Agency. Thermophysical Properties of Materials for Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data. – 2008.
- Haynes W.M. CRC handbook of chemistry and physics, (Internet Version 2011) // Taylor Francis Group: Boca Raton, FL. – 2011.
- Чиркин, В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В.С. Чиркин. – М.: Атомиздат, 1968.– 121–128, 291–294, 237–239 с.
- Fink, J.K. (2000). Thermophysical properties of uranium dioxide. Journal of nuclear materials, 279(1), 1-18.

## СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ: «ВОПРОСЫ РАДИОЭКОЛОГИИ, ГЕОФИЗИКИ» .....	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ЗН В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОТОКОВ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН» <i>Ермакова Р.Г., Айдарханова А.К., Тлеуканова Ж.Е., Мамырбаева А.С.</i> .....	4
ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ КИСЛОРОДНОГО СОСУДА СГОРАНИЯ 1121 (BOMB PARR) <i>Марченко О.О., Мамырбаева А.С., Айдарханова А.К., Тимонова Л.В.</i> .....	8
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД БЫВШЕГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА «АЗГИР» С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В 2022 ГОДУ <i>Севериненко М.А., Ахметжанова Д.С., Сляднева В.Н., Аристов П.А., Болатбек Е.Ж.</i> .....	15
АНАЛИЗ И МЕХАНИЗМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ГРУППЫ КОМПАНИЙ АО «НАК «КАЗАТОМПРОМ» ДО 2060 ГОДА <i>Садырбаев Ж.В., Шურიев Т.Х., Беккулиев А.Б.</i> .....	24
СЕКЦИЯ: «РАЗВИТИЕ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» .....	29
ПРИМЕНЕНИЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПСВ <i>Калыкова Г.М., Разуваева Т.В., Мырзабек Г.А.</i> .....	30
ПРОВЕДЕНИЕ ВИДЕОКАРОТАЖА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИНАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ ХАРАСАН УЧАСТКА «ХОРАСАН-1» <i>Мадиханов Д.В., Касымов А.Д., Сатыбалдиев М.К.</i> .....	39
НЕПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЗАПАСОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВСКРЫТИИ РУДНЫХ ТЕЛ НА УЧАСТКЕ №1 МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЗАРЕЧНОЕ» <i>Курочкин В.О., Седышев С.А., Поповцев Н.А.</i> .....	43
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА РЕГЕНЕРАЦИИ СКВАЖИН ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА <i>Юсупов Х.А., Омаров А.Е., Мырзабек Г.А., Мусаев Р.А.</i> .....	53
ПОДБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУД СКВАЖИННОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА <i>Абдрахманов Н.Н.</i> .....	60

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ПО ЗАКАЧКЕ И ОТКАЧКЕ РАСТВОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА УЧИТЫВАЮЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПРИЕМИСТОСТИ <i>Ланде М.А.</i> .....	71
СЕКЦИЯ: «СОВРЕМЕННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА» .....	75
ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК (ТВС) В РК <i>Джумакулов А.Д.</i> .....	76
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭБС «ACRAWAX C» В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СУХОЙ СМАЗКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОПЛИВНЫХ ТАБЛЕТОК <i>Милейко А.А., Алдажаров Т.М., Кириллов Е.В., Долганов А.В., Ким С.А.</i> .....	81
СЕКЦИЯ: «ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» .....	89
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ТЕПЛООВОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ПРОГРАММЕ ANSYS FLUENT <i>Кабдылкаков Е.А., Сураев А.С., Иркимбеков Р.А.</i> .....	90

Формат 148 x 210 мм  
Гарнитура AliaI, кегль 9  
Тираж 300.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:  
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,  
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.