

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Г.М. Носырев¹, А.А. Руденко¹, В.В. Данилейко¹

¹ АО «РУСБУРМАШ», Москва, Россия, e-mail: Rudall2007@yandex.ru

Аннотация: Анализ материалов открытых публикаций по ведению процесса добычи урана скважинным подземным выщелачиванием и способам повышения эффективности отработки урановых руд на протяжении последних 60 лет как в России, так и в ближнем и дальнем зарубежье показал, что тенденции совершенствования технологии скважинного подземного выщелачивания затрагивают как отдельные конструкции добычных полигонов, так и оптимизацию схем технологических скважин в ходе подготовки месторождения к эксплуатации и ввода добычных блоков в отработку. Особенности геологических, гидрогеологических, минералогических и морфогенетических условий месторождений палеодолинного типа влекут осложнения как в геотехнологии добычи урана, так и в технологии переработки продуктивных растворов. Повышение эффективности процесса добычи урана вбирает в себя ряд технологических подходов как в системах разработки месторождений урановых руд, так и в инновационности реализации прогрессивных методов сооружения добычных блоков, в том числе и по системе «Готовый полигон», характеризующейся меньшими капитальными затратами, сроками ввода в эксплуатацию и расширением функциональности и мобильности добычных процессов.

Ключевые слова: геотехнология, добычной блок, залежь, интенсификация, месторождение, скважинное подземное выщелачивание, продуктивность, серная кислота, схема извлечения, уран, эффективность.

Для цитирования: Носырев Г. М., Руденко А. А., Данилейко В. В. Интеллектуально-технологический потенциал повышения эффективности скважинного подземного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 3. – С. 30–41. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_3_0_30.

Intelligent technology potential in enhancement of in-situ uranium leach efficiency

G.M. Nosyrev¹, A.A. Rudenko¹, V.V. Danileiko¹

¹ JSC RUSBURMASH, Moscow, Russia e-mail: Rudall2007@yandex.ru

Abstract: Analysis of the open-access publications on in-situ uranium leaching technology and approaches to uranium production improvement for the latest 60 years in Russia and in the near and far abroad shows that the trends of enhancing in-situ leach efficiency touch upon individual designs of production sites and optimization of process wells during preparation and operation

of production blocks. Peculiar geological, hydrogeological, mineralogical and morphogenetic conditions of paleovalley-related uranium deposits imply complications of the technologies of in-situ leach and pregnant solution processing. Improvement of the in-situ uranium leach efficiency embraces approaches both to uranium production system and to implementation of innovations in the advanced methods of the 'Turnkey Production Block' construction characterized by less capital investment, shorter terms of commissioning, and by higher performance and flexibility of production processes.

Key words: geotechnology, production block, orebody, intensification, deposit, in-situ leaching, productivity, sulfuric acid, extraction flow chart, uranium, efficiency.

For citation: Nosyrev G. M., Rudenko A. A., Danileiko V. V. Intelligent technology potential in enhancement of in-situ uranium leach efficiency. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(3): 30-41. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_3_0_30.

Введение

С 2010 г. скважинное подземное выщелачивание (СПВ) стало лидирующим методом добычи урана. Его доля в мировом производстве увеличилась до 56% в 2020 г., достигнув пика в 30 686 т урана в 2016 г. [1].

Историю развития метода СПВ урана от первых опытов в 1963 г. в Учкудуке до настоящего времени можно разделить на 3 крупных этапа, причем на первом этапе геотехнология развивалась не от науки к практике, а наоборот.

Первый этап (1960-е — конец 1970-х годов) — практическая наработка технологии СПВ в натуре. Опробовались различные способы и инструмент для бурения технологических скважин, испытывался материал обсадных труб, рядных и магистральных трубопроводов, подбирались различные конфигурации сетей технологических скважин, разрабатывались сорбционные перерабатывающие комплексы, ионообменные смолы и многое другое [2 — 4].

Второй этап (1980-е — 1990-е гг.) — подведение теории к физико-химическим процессам СПВ и первые научно обоснованные опытно-промышленные работы по интенсификации добычи урана и сопутствующих компонентов, обобщение накопленного опыта по сооруже-

нию добывающих комплексов и создание математических моделей по выбору эффективных сетей технологических скважин [5 — 7].

Третий этап (2000 г. — н.в.) — символическим ростом объемов добычи и приростом объемов запасов урана, пригодных под отработку СПВ, при этом помимо экстенсивного пути развития (Казахстан) наблюдается всплеск работ по интенсификации процессов отработки месторождений на уровне инновационных технических решений — патентование и увеличение числа публикаций по данному направлению как в России, так и в ближнем и дальнем зарубежье. Активно разрабатываются технические решения по извлечению сопутствующих полезных компонентов (рений и др.), установки по их извлечению и сорбционный материал [8 — 10]. Предлагаются оптимизационные сети технологических скважин на основе особенностей продуктивности руд [11 — 14]. Рассматриваются варианты управления режимами СПВ и борьбы с кольматационными явлениями [15 — 17]. Осуществляются попытки моделирования технологических режимов при разработке месторождений урана способом СПВ [18, 19].

Основные преимущества метода СПВ сводятся к сокращению капиталовложе-

ний, сроков строительства, снижению себестоимости продукции в 2,0–2,5 раза и меньшей экологической нагрузке по сравнению с традиционным способом добычи урана.

Наряду с указанными преимуществами метода, в сложных горно-геологических условиях он требует творческого подхода и активной инновационной реализации технических решений, особенно в условиях криолитозоны.

В России добычу урана методом СПВ ведут АО «Далур» в Курганской области (создано в 2001 г.) и АО «Хиагда» в Республике Бурятия (создано в 1998 г.) на месторождениях палеодолинного типа Витимского урановорудного района.

В период освоения месторождений в силу объективных и субъективных причин происходит ряд технологических и организационных нестыковок, допускаемых разработчиками, проектировщиками и недропользователями как на этапе проектирования, так и на этапе горно-подготовительных работ (ГПР), которые приводят к снижению эффективности добычи металла и сводятся к следующим позициям:

- как известно, капиталовложения в добычную комплекс являются важным показателем, характеризующим и определяющим экономическую эффективность добычи урана, а вопросы, связанные с оптимизацией затрат на развертывание добычных полигонов СПВ, имеют важное значение в решении общей проблемы снижения себестоимости получения урана [4]. Развертывание добычного полигона СПВ является сложной инженерной задачей, решение которой связано с выполнением комплекса мероприятий — от планировки поверхности полигонов до устройства системы энергоснабжения и КИПиА. При этом отсутствие сквозного целевого календарно-сетевого планирования, организации запараллеливания и непрерыв-

ности протекания производственных процессов, снижение времени простоев на ремонт и доставку товарно-материальных ценностей, внедрение новые технологических схем и технических решений, направленных в том числе на совершенствование конструкций скважин, изменение конструкций эстакад технологических трубопроводов, уменьшение их диаметров, изменение типов материалов для теплоизоляции, отсыпки и т.д. не может оказать позитивного влияния на эффективность добычи урана.

- при проектировании технологических сетей не используются научно обоснованные инженерные расчеты, основанные на результатах геологоразведочных работ, что не позволяет оптимизировать добычную сеть скважин в привязке к реальным геологическим и гидрогеологическим природным условиям. Проектировщики используют в лучшем случае псевдореалистичную модель плоскорадиальной гидродинамики, при этом никакой связи с качеством руды, временем отработки и обоснованием экономических показателей нет, что в конечном итоге значительно искажает результаты моделирования, а в дальнейшем приводит к одновременному процессу отработки добычных блоков, увеличивая операционные затраты на обслуживание полигонов;

- при проведении ГПР недропользователь не использует возможность оптимизации сети технологических скважин в ходе бурения скважин на эксплуатационных блоках, что приводит к увеличению затрат на бурение скважин;

- при сооружении технологических скважин интервалы посадки фильтров задаются некачественно, что приводит только к частичной проработке интервалов рудоносного пласта;

- многоярусные руды и руды большой мощности на месторождениях вскрываются без учета данной особенности,

что приводит к недовскрытию запасов и растягиванию во времени отработки эксплуатационного блока, чем снижается эффективность добычи;

- недооценка эффективности мобильной сорбционной установки (МСУ) некапитального исполнения при использовании их на рудных залежах в системе «Готовый полигон» не позволяет сократить капитальные затраты на подготовку блоков к добыче.

И это далеко не весь перечень направлений, на оптимизацию которых, в плане разработки технических решений, надо обратить внимание для снижения себестоимости конечного продукта.

Предлагаемые технические решения

Алгоритм оптимизации технологических сетей скважин

Использование в настоящее время моделирования геотехнологической обстановки на различных циклах процесса отработки рудоносного пласта порой неоднозначно сказывается на фактических результатах добычи и вызывает недоверие к инструментарию такого моделирования. Так, например, модель «INSITU», разработанная специалистами АО «ВНИИХТ» [7], которая базируется на динамике расхода реагента в зависимости от параметрических характеристик объекта ПВ, декларирует наличие значительных незакисленных площадей («мертвые» зоны) участка ПВ, которые, постепенно сокращаясь по площади, могут остаться таковыми еще на несколько лет. Модель построена на сравнении расстояний между рядами скважин и расходами реагента, при этом ее авторы призывают вести процесс с максимальной концентрацией кислоты, что для российских месторождений палеодолинного типа недопустимо. Отсутствие в данной модели обоснования сети скважин в зависимости от продуктив-

ности руд и времени отработки делает ее неприменимой в условиях российских месторождений.

Другая модель, разработанная в «СТИ НИЯУ МИФИ» [18, 19], приводит к однозначному выводу о неработоспособности модели, вследствие того, что базисные зависимости (уравнения) не имеют физико-химического обоснования. А подбор коэффициентов в уравнениях (якобы отражающих взаимодействие реагента с некоторыми «выделенными минералами» в «запертой» и открытой пористой среде) выполнялся чисто эмпирически (например, подбором некоторых констант в полиномиальных уравнениях или системе таких уравнений) по результатам отработки опытного участка ПВ. Отсутствие физико-химического смысла в эмпирических зависимостях в модели «СТИ НИЯУ МИФИ» не дает авторам права на интерпретацию и экстраполяцию результатов работы опытного участка и соответственно других объектов ПВ. Не может быть и речи о провозглашенной авторами оптимизации процесса ПВ урана, выборе оптимальной сети отработки участков ПВ, режимов подачи реагента и т.п.

В этих условиях разработанный в АО «РУСБУРМАШ» алгоритм оптимизации сетей технологических скважин [11] за счет изменения расстояний между откачными и закачными скважинами в привязке к продуктивности пласта и условиям одновременной отработки добычных блоков является действенным инструментарием для прогнозирования и оптимизации эффективной отработки месторождений; результат использования разработанного алгоритма позволяет как на стадии проектирования, так и на стадии горно-подготовительных работ добиться сокращения количества скважин на десятки — сотни миллионов рублей только при бурении, в отличие от шаблонных сетей, применяемых проектировщиками.

Эффективность использования разработанного алгоритма заключается в научно обоснованном анализе продуктивности руд и оптимизации сетей технологических скважин, что позволяет сократить капитальные и эксплуатационные затраты на сотни миллионов рублей с одновременной отработкой руд различной продуктивности

Сооружение добычных блоков СПВ по системе «Готовый полигон» (рис. 1)

На объектах АО «Хиагда» при сооружении добычных блоков достигнуто сокращение времени протекания процессов строительства полигонов СПВ, снижение стоимости проведения работ и используемых материалов [12]. Суть нового подхода к сооружению добычных полигонов в следующем. Эксплуатационный добычный блок 1 разбуривают закачными 2 и откачными 3 скважинами и оборудуют их обсадными колоннами полной заводской готовности.

На добычном блоке осуществляют прокладку технологических дорог 4, трассы линии электропередач 5, устанавливают погружные насосы 6 в откачные скважины 3, оснащают их частотно-регулируемыми приводами 7, устанавливают расходомеры 8 на закачные скважины 2, прокладывают трубопроводы транспортировки выщелачивающих 9 и продуктивных 10 растворов, сооружают отстойники продуктивных 11 и выщелачивающих 12 растворов, монтируют устройства систем электроснабжения 13 и оснащают средствами автоматизации 14. Наблюдение за работоспособностью систем полигона осуществляют с помощью летательных аппаратов — дронов 15. Для переработки продуктивных растворов сооружают мобильные сорбционные установки — для основного компонента 16, а при необходимости — и для сопутствующих компонентов 17.

Мобильные сорбционные установки могут быть выполнены как на авто-

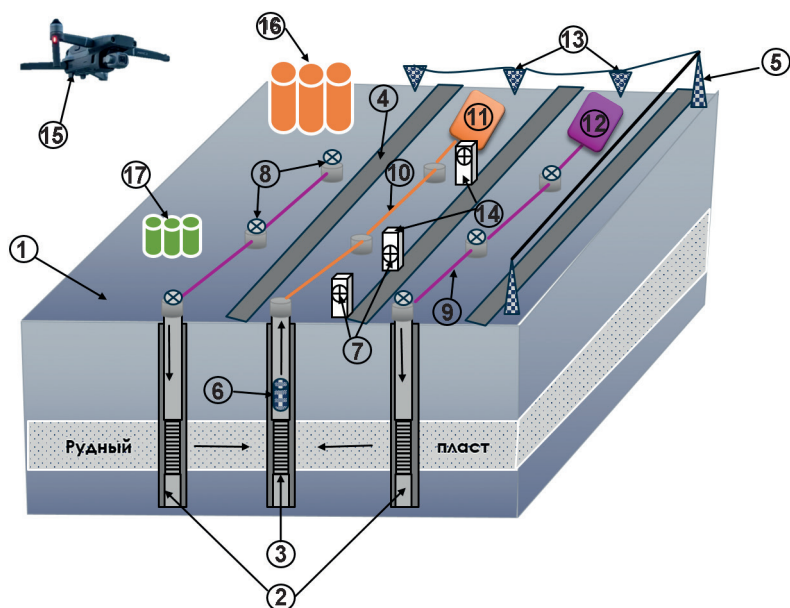


Рис. 1. Система «Готовый полигон» [составлено авторами]
 Fig. 1. The Ready-made polygon system [Compiled by the authors]



Рис. 2. Мобильная сорбционная установка
Fig. 2. Mobile sorption plant

мобильном шасси, так и на гусеничной платформе.

Эффективность использования заявляемого изобретения заключается в сокращении капитальных затрат на обустройство эксплуатационных блоков, строительство локальных сорбционных установок, повышении качества сооружения технологических скважин, повышении оперативности получения информации по работе узлов добычного полигона и снижении потерь металла за счет сокращения времени устранения аварийных ситуаций. В настоящее время техническое решение проходит процедуру патентования.

Мобильные сорбционные установки
Специалистами АО «РУСБУРМАШ» и АО «Далур» разработана, изготовлена и опробована на месторождении Дыбрынское АО «Хиагда» мобильная сорбционная установка для отработки небольших и отдаленных блоков производительностью до 200 м³/ч (рис. 2) (заявка на патент Полезная модель № 2024107087 от 14.03.2024 г.).

МСУ — изделие полной заводской готовности, универсальное техническое решение, применимое для переработки различных руд. Исследование зависимостей, критериев и результатов ис-

пользования МСУ показали, что ее конкурентные преимущества в сравнении с классической ЛСУ:

- сроки изготовления и развертывания МСУ в 3 раза меньше;
- затраты инвестиционных ресурсов на создание МСУ в 3 раза ниже;
- производительность труда на МСУ в 2 раза выше.

Развертывание МСУ на месторождении «Дыбрынское» АО «Хиагда» позволило за 5 месяцев получить 45 т урана и 270 млн руб. дополнительной выручки.

Технология селективно-опережающего извлечения попутных компонентов

Данная технология подходит к месторождениям СПВ, где кроме основного металла — урана, в ураноносной зональности имеет место накопление минерализации сопутствующих компонентов (рений, скандий, иттрий и др.).

Авторами разработан способ добычи полезных ископаемых подземным выщелачиванием [8]. Способ включает сооружение сети технологических скважин, закачку выщелачивающих растворов и откачку продуктивных растворов, переработку растворов сорбцией/десорбцией и получение готовых продуктов, причем откачку продуктивных раство-

ров с сопутствующими компонентами осуществляют дифференцированно из скважин, сооруженных в подзонах уранового оруденения эпигенетической зональности, при этом переработку продуктивных растворов производят раздельно с опережающей сорбцией рения, для чего откачные селективные скважины обвязывают в отдельный коллектор, а зонирование откачных скважин осуществляют при сооружении скважин на эксплуатационных блоках.

Техническим результатом является повышение эффективности переработки продуктивных растворов за счет существенного сокращения их объемов и значительного повышения содержания в них полезных компонентов, что снижает капитальные и эксплуатационные затраты.

Авторами разработан способ извлечения рения из водных растворов активированным углем [10].

Способ извлечения рения активными углями из водных растворов включает сорбцию рения модифицированным активированным углем, содержащим политетрафторэтилен. Технический результат заключается в повышении степени десорбции рения, сокращении расхода сорбента, увеличении концентрации товарного элюата по рению, улучшении сорбционно-десорбционных характеристик, технико-экономических показателей сорбционного извлечения рения из водных растворов.

Авторами разработана мобильная установка для извлечения попутных компонентов при скважинном подземном выщелачивании [9].

Мобильная установка модульного типа предназначена для гидрометаллургии добычи металлов скважинным подземным выщелачиванием на месторождениях инфильтрационного типа. Задачей полезной модели является извлечение попутных компонентов из селективно

выделенных участков добычных блоков минерализации эпигенетической зональности попутных компонентов по индивидуальной перерабатывающей технологической схеме. Техническим результатом является мобильная установка модульного типа для извлечения металлов скважинным подземным выщелачиванием, состоящая из сборно-разборных модулей сорбционного передела с емкостным и насосным оборудованием и фильтров-патронов для очистки растворов от взвесей. Согласно полезной модели, модульная установка дополнительно содержит трубопровод для транспортировки продуктивных растворов, подключенный к селективному участку добычного блока, и выполнена на платформе автомобильного шасси с компоновкой каскада сорбционных аппаратов фиксированной производительности, а заполнение сорбционных колонн ионоселективным сорбентом соответствует извлекаемому компоненту.

Обработка месторождений с повышенным газонасыщением рудного пласта

Авторами разработан способ скважинного подземного выщелачивания полезных ископаемых [20].

Для эффективной обработки месторождений с повышенным газонасыщением рудных пластов, что повсеместно встречается на объектах Хиагдинского рудного поля (ХРП), разработано техническое решение, позволяющее применять приемы сгущения сети технологических скважин с использованием реверсирования потока и изменением его направления, что увеличивает равномерность проработки площади пласта и сокращает время эксплуатации блока.

Последовательность реализации технологии следующая (рис. 3): на площади добычного блока 1 сооружают закачные скважины 2 и откачные сква-

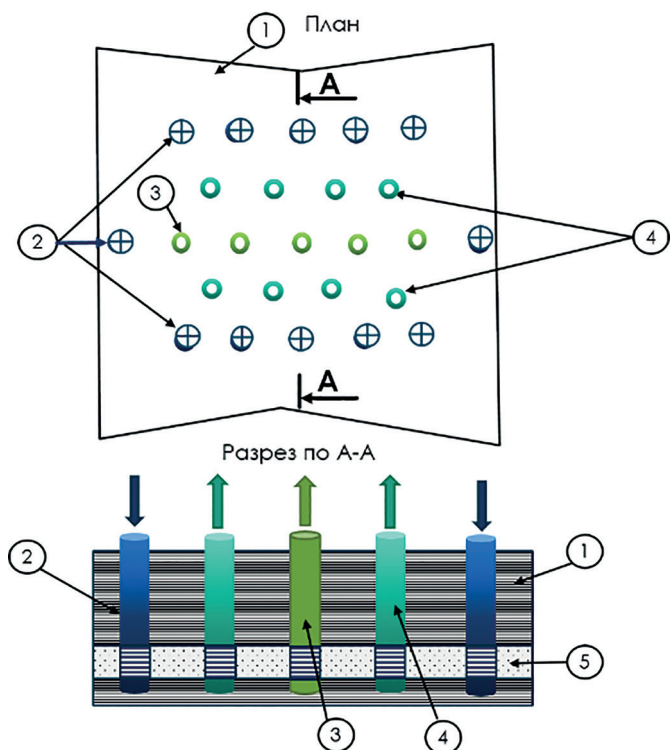


Рис. 3. Расположение скважин при дегазации пласта
 Fig. 3. Location of wells during reservoir degassing

жины 3 на рудоносный пласт 5, например, по прямоугольной схеме, с расстоянием между скважинами 25 м и между рядами 50 м. При обнаружении интенсивного газопроявления рудоносного пласта между закачными и откачными скважинами сооружают дегазационные скважины 4, располагая их в шахматном порядке. Данные скважины будут выполнять как функцию разгрузки пласта от газов, так и функцию откачных скважин для транспортировки продуктивных растворов на поверхность. По окончании дегазации рудоносного пласта (рис. 4) откачные скважины 3 переоборудуют в закачные 2, оставляя работать в качестве откачных скважин дегазационные, при этом добавляется еще одна полезная для скважин функция — изменение направления потоков выщелачивающих растворов, что позволяет ми-

нимизировать площади застойных зон рудоносного пласта, повышая тем самым уровень добычи урана.

Эффективность использования данного технического решения состоит в снижении потерь урана при добыче из газонасыщенных пластов, что в пересчете на годовые объемы составляет до 700 кг на 1 скважину.

В рамках программы по цифровизации процессов добычи урана на рудниках внедряются современные элементы «Умный полигон» и «Умные каски». Модернизируются устройства для проведения ремонтно-восстановительных работ. Опробуется широкая линейка реагентов для интенсификации процесса добычи урана и проведения работ по декольматации фильтров и прифильтровых зон технологических скважин. Разрабатываются технологии по одновре-

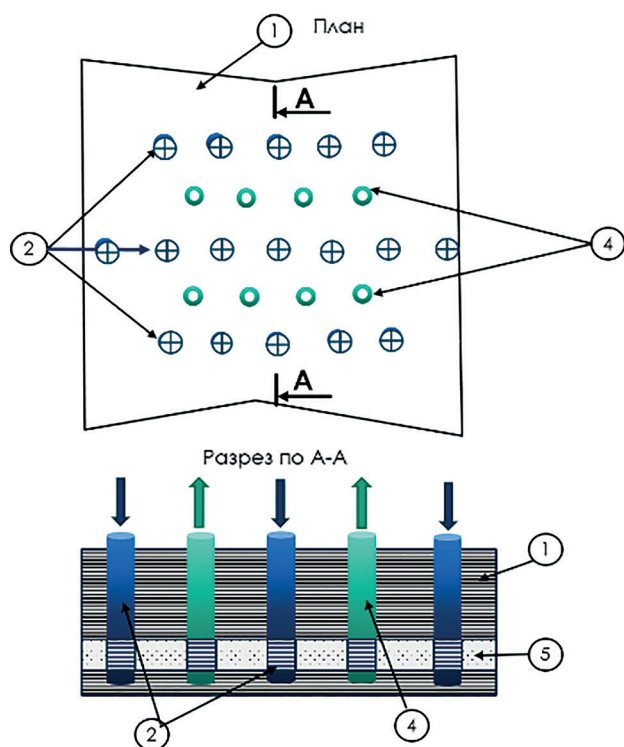


Рис. 4. Схема скважин под реверсирование потоков
 Fig. 4. Well diagram for flow reversal

менной отработке многоярусных рудных пластов и пластов руды большой мощности от 15 м и более, предлагаются технологии по отработке безводных руд, что расширяет ресурсную базу недропользователя. Изобретаются инновационные многофункциональные способы натуральных исследований геотехнологических свойств руд и многое, многое другое.

Экономические аспекты

Каждое техническое решение направлено на положительный эффект, получаемый недропользователем при использовании их в технологическом процессе СПВ либо при подготовке месторождений или добычных блоков к эксплуатации (см. выше).

Своевременное использование недропользователем инновационных разработок позволит снизить стоимость готово-

го продукта и повысить качество процесса СПВ.

Выводы

1. Проведен анализ исторического периода становления СПВ урана в СССР и за рубежом, выделены активные этапы развития геотехнологической науки в натуральных и теоретических направлениях.

2. Несмотря на более чем шестидесятилетний возраст становления СПВ урана, выяснилось, что метод активно развивается практически во всех основных направлениях: технологии сооружения скважин в условиях многолетнемерзлых пород, сорбционных режимов, ионообменных материалов, контроля процесса выщелачивания, цифровизации, что позволяет вести добычу урана в сложных природных геологических условиях криолитозоны.

3. Недоучет и неиспользование ряда объективных и субъективных факторов приводит результаты деятельности проектировщиков и недропользователей к потере прибыли и увеличению затрат, как на сооружение добычных комплексов, так и на процесс добычи урана, что незамедлительно сказывается на росте себестоимости готовой продукции.

4. Одним из действенных инструментов снижения капитальных и эксплуатационных затрат при сооружении добычных комплексов, а следовательно, и себестоимости готового продукта является использование системы «Готовый полигон», которая, помимо совокупности тех-

нических решений от бурения до сооружения технологических скважин, подготовительных работ, обвязки скважин, строительства эстакад, монтажа технологических трубопроводов, монтажа и наладки оборудования и устройства системы энергоснабжения и КИПиА, включает вскрытие рудных залежей сетями технологических скважин с учетом геотехнологических особенностей месторождений, рассчитываемых на автоматизированном комплексе построения сетей, и использование мобильных сорбционных установок для специфичных условий криолитозоны на малообъемных и удаленных участках месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойцов А. В. Развитие мировой урановой промышленности — вызовы времени / Труды Пятого международного симпозиума «Уран: геология, ресурсы, производство». — М.: ВИМС, 2021. — С. 11 — 22.

2. Калабин А. И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием. — М.: Атомиздат, 1969. — 369 с.

3. Аренс В. Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. — М.: Недра, 1975. — 260 с.

4. Бахуров В. Г., Руднева И. К. Химическая добыча полезных ископаемых. — М.: Недра, 1972. — 134 с.

5. Добыча урана методом подземного выщелачивания / Под ред. В. А. Мамилова. — М.: Атомиздат, 1980. — С. 150 — 222.

6. Комплексы подземного выщелачивания / Под ред. О. Л. Кедровского. — М.: Недра, 1992. — С. 243 — 249.

7. Архиреев В. Г., Мананников М. А. Патент РФ № 2073790. Способ подземного выщелачивания полезных ископаемых. М., 1994.

8. Руденко А. А., Трошкина И. Д., Данилейко В. В. Патент РФ № 2768332. Способ добычи полезных ископаемых подземным выщелачиванием. Заявка № 2020129776 от 08.09.2020.

9. Руденко А. А., Трошкина И. Д., Данилейко В. В. Патент РФ № 218606. Полезная модель. Мобильная установка для извлечения попутных компонентов при скважинном подземном выщелачивании. Заявка № 2022122576 от 19.08.2022.

10. Трошкина И. Д., Бардыш А. В., Руденко А. А. Патент РФ № 2796618. Способ извлечения рения из водных растворов активным углем. Заявка № 2022126002 от 05.10.2022.

11. Руденко А. А., Данилейко В. В., Гладышев А. В., Васюта А. Е. Патент РФ № 2794116. Способ подготовки добычных блоков к СПВ. Заявка № 2021130504 от 19.10.2021.

12. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / Под ред. И.Н. Солодова. — М.: ZetaPrint, 2022. — С. 16 — 18.

13. Шрайнер А. Э. Применение нерегулярных схем расположения скважин при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания / Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. — Томск: ТПУ, 2017. — С. 606 — 607.

14. Джакупов Д. А. Выбор схемы расположения технологических скважин при разработке многоярусных рудных залежей / Сборник статей V Международной научно-практической кон-

ференции «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации». — Пенза, 2018. — С. 210–212.

15. Забазнов В. Л., Патрин А. П., Зинченко В. М., Калошин А. А., Евтеева Л. И. Виды кольматации скважин при подземном скважинном выщелачивании урана и методы борьбы // II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы урановой промышленности»: сборник докладов. — Алматы, 2002. — С. 38–44.

16. Armstrong D., Jeuken B. Management of in-situ recovery (ISR) mining fluids in a closed aquifer system / Abstracts of the International Mine Water Conference, 2009, South Africa. 2009, pp. 703–712.

17. Mudd G. M. Critical review of acid in situ leach uranium mining: USA and Australia, Cases and Solutions // Environmental Geology. 2001, vol. 41, pp. 390–391.

18. Валитов С. Н., Гладышев А. В., Истомин А. Д., Макшанинов В. В., Носков М. Д., Чеглоков А. А. Технико-экономическая информационная система для оптимального выбора плана отработки месторождений урана методом СПВ / Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий. Научная сессия НИЯУ МИФИ. Материалы конференции. — М., 2019. — С. 83.

19. Сербин А. В., Сакирко Г. К., Носков М. Д. Определение оптимальных технологических режимов обработки эксплуатационного блока геотехнологического предприятия по добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания / Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий. Научная сессия НИЯУ МИФИ. Материалы конференции. — М., 2019. — С. 97.

20. Руденко А. А. Патент РФ № 2814070 Способ скважинного подземного выщелачивания полезных ископаемых. 22.05.2023. **ПАТБ**

REFERENCES

1. Boytsov A. V. Development of the world uranium industry — challenges of the time. *Trudy Pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Uran: geologiya, resursy, proizvodstvo»* [Proceedings of the Fifth International Symposium «Uranium: Geology, resources, production»], Moscow, VIMS, 2021, pp. 11–22.

2. Kalabin A. I. *Dobycha poleznykh iskopaemykh podzemnym vyshchelachivaniem* [Mining by underground leaching], Moscow, Atomizdat, 1969, 369 p.

3. Arens V. Zh. *Geotekhnologicheskie metody dobychi poleznykh iskopaemykh* [Geotechnological methods of mining], Moscow, Nedra, 1975, 260 p.

4. Bakhurov V. G., Rudneva I. K. *Khimicheskaya dobycha poleznykh iskopaemykh* [Chemical mining], Moscow, Nedra, 1972, 134 p.

5. *Dobycha urana metodom podzemnogo vyshchelachivaniya*. Pod red. V. A. Mamilova [Uranium mining by underground leaching. Mamilov V. A. (Ed.)], Moscow, Atomizdat, 1980, pp. 150–222.

6. *Kompleksy podzemnogo vyshchelachivaniya*. Pod red. O. L. Kedrovskogo [Underground leaching complexes. Kedrovskiy O. L. (Ed.)], Moscow, Nedra, 1992, pp. 243–249.

7. Arkhiereev V. G., Manannikov M. A. *Patent RU 2073790*, 1994.

8. Rudenko A. A., Troshkina I. D., Danileyko V. V. *Patent RU 2768332*, 08.09.2020.

9. Rudenko A. A., Troshkina I. D., Danileyko V. V. *Patent RU 218606*, 19.08.2022.

10. Troshkina I. D., Bardysh A. V., Rudenko A. A. *Patent RU 2796618*, 05.10.2022.

11. Rudenko A. A., Danileyko V. V., Gladyshev A. V., Vasyuta A. E. *Patent RU 2794116*, 19.10.2021.

12. *Dobycha urana podzemnym vyshchelachivaniem v kriolitozone*. Pod red. I. N. Solodova [Uranium mining by underground leaching in the cryolithozone. Solodov I. N. (Ed.)], Moscow, ZetaPrint, 2022, pp. 16–18.

13. Schreiner A. E. The use of irregular well arrangement schemes for uranium extraction by the method of borehole underground leaching. *Problemy geologii i osvoeniya nedr. Trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchenno go 130-letiyu so dnya rozhdeniya professora M.I. Kuchina* [Problems of geology and subsoil development. Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists dedicated to the 130th anniversary of the birth of Professor M. I. Kuchin], Tomsk, TPU, 2017, pp. 606–607.

14. Dzhakupov D. A. The choice of the layout of technological wells in the development of multi-tiered ore deposits. *Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremen-*

nye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii [Collection of articles of the V International scientific and practical conference «Modern scientific research: topical issues, achievements and innovations»], Penza, 2018, pp. 210–212.

15. Zabaznov V. L., Patrin A. P., Zinchenko V. M., Kaloshin A. A., Evteeva L. I. Types of well col-matation during underground borehole leaching of uranium and methods of control. *II Mezhdunarod-naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy uranovoy promyshlennosti»: sbor-nik dokladov* [II International scientific and practical conference «Actual problems of the uranium in-dustry»], Almaty, 2002, pp. 38–44.

16. Armstrong D., Jeuken B. Management of in-situ recovery (ISR) mining fluids in a closed aqui-fer system. *Abstracts of the International Mine Water Conference, 2009, South Africa. 2009*, pp. 703–712.

17. Mudd G. M. Critical review of acid in situ leach uranium mining: USA and Australia, Cases and Solutions. *Environmental Geology. 2001*, vol. 41, pp. 390–391.

18. Valitov S. N., Gladyshev A. V., Istomin A. D., Makshaninov V. V., Noskov M. D., Cheglovokov A. A. Technical and economic information system for optimal selection of a plan for mining uranium deposits by the SPV method. *Aktual'nye problemy innovatsionnogo razvitiya yadernykh tekhnologiy. Nauchnaya sessiya NIYaU MIFI. Materialy konferentsii* [Actual problems of innovative development of nuclear tech-nologies. Scientific session of the NRU MEFPh. Conference materials], Moscow, 2019, pp. 83.

19. Serbin A. V., Sakirko G. K., Noskov M. D. Determination of optimal technological modes of working off the operational block of a geotechnological enterprise for uranium extraction by the method of borehole underground leaching. *Aktual'nye problemy innovatsionnogo razvitiya yadernykh tekhnologiy. Nauchnaya sessiya NIYaU MIFI. Materialy konferentsii* [Actual problems of innovative development of nuclear technologies. Scientific session of the NRU MEFPh. Conference materials], Moscow, 2019, pp. 97.

20. Rudenko A. A. *Patent RU 2814070, 22.05.2023. [In Russ]*.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Носырев Глеб Михайлович*¹ — генеральный директор,

e-mail: GIMNosyrev@rbm-armz.ru,

*Руденко Алексей Анатольевич*¹ — канд. геол.-минерал. наук,

начальник отдела анализа и экспертиз,

e-mail: Rudall2007@yandex.ru,

ORCID ID: 0009-0001-5236-635x,

*Данилейко Владимир Васильевич*¹ — д-р техн. наук,

директор по специальным проектам,

e-mail: danileykovv@gmail.com,

¹ АО «РУСБУРМАШ».

Для контактов: Руденко А.А., e-mail: Rudall2007@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*G.M. Nosyrev*¹, General Director,

e-mail: GIMNosyrev@rbm-armz.ru,

*A.A. Rudenko*¹, Cand. Sci. (Geol. Mineral.),

e-mail: Rudall2007@yandex.ru,

ORCID ID: 0009-0001-5236-635x,

*V.V. Danileiko*¹, Dr. Sci. (Eng.),

Director for Special Projects,

e-mail: danileykovv@gmail.com,

¹ JSC RUSBURMASH, Moscow, 109004, Russia.

Corresponding author: A.A. Rudenko, e-mail: Rudall2007@yandex.ru.

Получена редакцией 12.09.2024; получена после рецензии 21.10.2024; принята к печати 10.02.2025.

Received by the editors 12.09.2024; received after the review 21.10.2024; accepted for printing 10.02.2025.