История и слава Забайкалья неразрывно связана с уранодобывающей промышленностью. Поэтому в честь юбилея хочется пожелать всему коллективу Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом» трудовых успехов, новых проектов и развития!

Н. Н. Жданова,
губернатор Забайкальского края

УДК 622.349.5(470)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ – ГЛАВНЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

И. Н. СОЛОДОВ,
директор программ инновационного и технологического развития,
д-р геол.-минерал. наук,
info@armz.ru,
АО «Атомредметзолото», Москва, Россия

А. А. МОРОЗОВ,
начальник ЦНИЛ, канд. техн. наук,
АО «ППГХО», Краснокаменск, Россия

Показана тенденция роста добычи урана с использованием физико-химических геотехнологий при одновременном сокращении в мире и России доли производства урана традиционными открытым и подземным способами. Отмечено, что российские гидрогенные месторождения урана, пригодные для отработки методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), отличаются от австралийских, казахских и узбекских высокой восстановленностью урана в рудах. Российские рудники СПВ функционируют в более суровых природно-климатических условиях по сравнению с зарубежными аналогами. Применение современных технологий позволяет нивелировать эти недостатки и оставаться конкурентными с зарубежными предприятиями. Использование кучного выщелачивания урана на предприятии, добывающем его подземным способом, расширяет минерально-сырьевую базу урана, улучшает экологическую обстановку и снижает нагрузку на рудный цикл гидрометаллургического завода.

Ключевые слова: *урановые месторождения, физико-химическая геотехнология, урановые руды, добыча и переработка, подземный способ разработки, скважинное подземное выщелачивание, кучное выщелачивание, уранодобывающее предприятие.*

DOI: *10.17580/gzh.2017.08.01*

Введение

За последние 10 лет структура уранодобывающей отрасли в мире кардинально изменилась [1]. Преобладавшие в 2005 г. открытый и подземный способы разработки урановых месторождений, доля добычи урана которыми составляла 90 %, к 2015 г. утратили свое лидерство. Их доля снизилась до 49 %, и предполагается, что к 2020 г. она уменьшится до 40 %.

Изменению структуры отрасли способствовали внешние и внутренние факторы. Внешний – перепроизводство урана из-за снижения спроса. Внутренний – обеднение (снижение качества) урановых руд на месторождениях, отрабатываемых подземным способом.

При производстве химического концентрата природного урана (ХКПУ) в промышленном масштабе в мировой практике в основном используют два геотехнологических метода – скважинное подземное выщелачивание (СПВ) и кучное выщелачивание (КВ) урана [2, 3]. Широко применявшаяся в 1970–1980 гг. в СССР и ГДР горно-химическая технология [4], чаще горными инженерами-практиками называемая «блочное подземное выщелачивание» (БПВ), в современных условиях практической реализации не получила. Развитие БПВ в ПАО «ППГХО» (Россия) остановилось на стадии опытно-промышленных работ. Примеры использования этого метода в горнодобывающей промышленности других стран отсутствуют.

Из промышленно используемых физико-химических методов добычи объем производства ХКПУ с применением СПВ является наиболее масштабным, тогда как КВ имеет подчиненное значение [5].

Таким образом, доля производства урана физико-химическими методами в мире неуклонно росла – практически обратно пропорционально снижению цены на уран. Уранодобывающая отрасль России следует этой же тенденции: добыча урана СПВ за период с 2005 по 2015 г. увеличилась с 6 до 36 %. Согласно

© Солодов И. Н., Морозов А. А., 2017

Рис. 1. Поверхностный перерабатывающий комплекс рудника АО «Хиагда»

прогнозу, в РФ добыча урана этим методом к 2020 г. может достигнуть 55 %.

Стратегией развития Уранового холдинга – АО «Атомредметзолото» – на ближайшие 5–10 лет является увеличение доли производства урана физико-химическими методами и сохранение на достигнутом уровне добычи урана подземным способом.

Скважинное подземное выщелачивание урана

В мировой уранодобывающей отрасли сложилась парадоксальная ситуация: добыча урана из бедных руд (содержащих в основном 0,03–0,08 % урана) выгоднее, чем его извлечение из рядовых и богатых руд (>0,15 %).

Объяснение этого парадокса кроется в том, что бедные руды гидрогенных месторождений урана в песчаных отложениях, пригодные для отработки методом СПВ, не требуют выполнения дорогостоящих операций по проходке горных выработок, проведению буровзрывных работ, транспортированию, дроблению, обогащению и измельчению руды, используемых при традиционном подземном способе разработки урановых месторождений в кристаллических породах. При СПВ не образуются отвалы пустых пород и радиоактивные хвосты гидрометаллургических заводов. Соответственно отсутствуют затраты на строительство хвостохранилищ и взимание экологического налога за хранение радиоактивных отходов на поверхности земли. Иными словами, главным достоинством метода СПВ является отсутствие стадии добычи руды. Производство ХКПУ начинается сразу с гидрометаллургического процесса выщелачивания урана из руд, который осуществляется на месте их залегания. При этом способе добывают только продуктивные растворы, обогащенные ураном. Метод добычи урана с использованием сернокислотного СПВ имеет еще одно важное преимущество – основная радиоактивность, обусловленная радием, остается в недрах, так как радий с сульфатом серной кислоты образует практически нерастворимое соединение и на поверхность не извлекается. Уран, имея период полураспада 4,6 млрд лет, крайне слабо радиоактивен. Этим объясняется отсутствие за 50 лет применения СПВ случаев заболевания персонала предприятий лучевой болезнью.

В управление АО «Атомредметзолото» входят два предприятия по СПВ урана – АО «Далур» в Курганской области и АО «Хиагда» в Республике Бурятия.

Сырьевой базой ***АО «Далур»*** являются месторождения Зауральской группы – Далматовское, Хохловское и Добровольное с суммарными исходными запасами 35 тыс. т урана. Рудные залежи месторождений залегают на глубине 350–600 м и локализованы в кварц-полевошпатовых песчаных отложениях средне-верхнеюрского возраста. Гидрогенные месторождения палеодолинного типа по возрасту урановых руд (135 млн лет) относятся к древним. Коффинит-настурановые руды в технологическом отношении упорные, сильно восстановленные. При этом практически безкарбонатные (содержание CO_2 < 0,2 %).

АО «Далур» является полигоном для испытания и внедрения самых современных технологий, которые реализуются на предприятии и тиражируются в АО «Хиагда».

Планирование, проектирование и управление работой рудника. Специалистами АО «Далур» совместно с Северским технологическим институтом (СТИ НИЯУ МИФИ) создана комплексная инновационная технология управления отработкой урановых месторождений методом СПВ, которая включает пять основных систем с единым информационным пространством: горно-геологическую информационную, технологическую информационную систему добычного комплекса, геотехнологическую моделирующую, экспертно-аналитическую и систему геоэкологического моделирования [6, 7].

Внедрение данного комплекса позволило автоматизировать большинство процессов всего жизненного цикла предприятия – от подсчета запасов урана в рудных залежах до наблюдений за естественными процессами автоочистки остаточных сернокислых растворов от вредных веществ в линзах растворов, образующихся на месте отработанных рудных залежей. На стадии вскрытия запасов технологическими скважинами с помощью комплекса осуществляется выбор оптимальных схем отработки [8]. Оптимизация отработки рудных залежей выполняется на основе сбалансированности производительности закачных и откачных скважин, управления кислотностью выщелачивающих растворов.

Геотехнологическая моделирующая система особенно эффективна в настоящее время при доработке Далматовского месторождения, которое находится на завершающей стадии освоения. Система позволяет оптимизировать режимы отработки рудных залежей сложной формы и малых по размеру. Созданы геотехнологические модели отработки узких залежей по нетрадиционным однорядным технологическим схемам с чередующимся размещением закачных и откачных скважин, а также обоснован режим работы односкважинных систем (push-pull) при отработке малых изометричных рудных тел. Для однорядных схем главным является оптимизация расстояний между скважинами и их производительность, а для схем push-pull – выбор оптимальных периодов закачки, выстаивания и откачки растворов. Также на этой стадии весьма эффективным является выявление с помощью геотехнологического моделирования неотработанных целиков рудных тел и «мертвых» гидродинамических зон, в которых уран находится в растворенной форме, но не извлекается из-за несовершенства структуры гидродинамического потока.

В 2016 г. специалисты СТИ НИЯУ МИФИ создали новую компьютерную систему геоэкологического моделирования, которая

применяется для оценки объемов растекания выщелачивающих растворов за технологические контуры рудных залежей как в период их отработки, так и после завершения процесса СПВ. В основу этой системы положена теория о защитных геохимических свойствах геологической среды по отношению к остаточным сернокислым растворам [9].

В предыдущих публикациях [5] описаны результаты внедрения других технологий, разработанных специалистами ИГЕМ РАН и Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина, позволивших существенно повысить эффективность отработки рудных залежей Далматовского месторождения. Это в первую очередь применение для окисления железа, а с его помощью – четырехвалентного урана, на стадии закисления рудного тела – перекиси водорода, а на стадии отработки – нитрита, повысивших темпы извлечения урана из руд на 16 % [10].

В настоящее время АО «Русбурмаш» проводит работы по внедрению новой конструкции скважин, главным элементом которой является замена обсадных труб из полиэтилена низкого давления (ПНД) трубами из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ). Несмотря на то, что большинство стран, использующих СПВ для промышленной отработки урановых месторождений, либо изначально применяли трубы ПВХ (США и Австралия), либо начали переходить на этот материал в последние годы (Казахстан и Узбекистан), возможность использования труб из поливинилхлорида в России из-за сурового климата появилась сравнительно недавно с началом производства ударо- и морозостойких труб НПВХ с добавлением специальных модификаторов. Применение новой конструкции скважин в АО «Далур» существенно улучшит экономические показатели работы предприятия.

АО «Далур» завершает разработку технологии попутного с ураном извлечения скандия из продуктивных растворов на Далматовском месторождении. Работы выполняются при финансовой поддержке Минпромторга РФ и Минобрнауки РФ. Прогнозные ресурсы скандия, оцененные в контурах балансовых урановых руд по категории P_1, составляют 228,7 т при среднем содержании 6 г/т. В продуктивные растворы при выщелачивании сернокислыми растворами из руд скандий переходит в количестве 1–1,5 г/м^3. Исходя из производительности действующей на месторождении перерабатывающей установки, существует возможность ежегодно попутно с ураном извлекать из продуктивных растворов 10–11 т скандия.

Внедрение современных технологий в АО «Далур» позволяет предприятию удерживать годовую производительность на уровне 550–650 т урана и находиться по себестоимости в ценовом диапазоне по классификации МАГАТЭ <60 долл. США за 1 кг урана.

Наиболее перспективным предприятием СПВ на территории России по объему сырьевой базы, пригодной для освоения этим методом, является строящийся рудник ***АО «Хиагда»*** (**рис. 1**), расположенный в Баунтовском районе Республики Бурятия [11]. Потенциальной сырьевой базой предприятия являются запасы урановых месторождений Витимского ураново-рудного района. Ресурсный потенциал месторождений района, пригодных для отработки методом СПВ, оценивается в 169 тыс. т. Запасы и ресурсы Хиагдинского рудного поля, входящего в состав рудного района, составляют 48 тыс. т. На балансе предприятия числятся семь месторождений – Хиагдинское, Вершинное, Источное, Количиканское, Коретондинское, Намаруское, Дыбрынское с запасами 42 тыс. т.

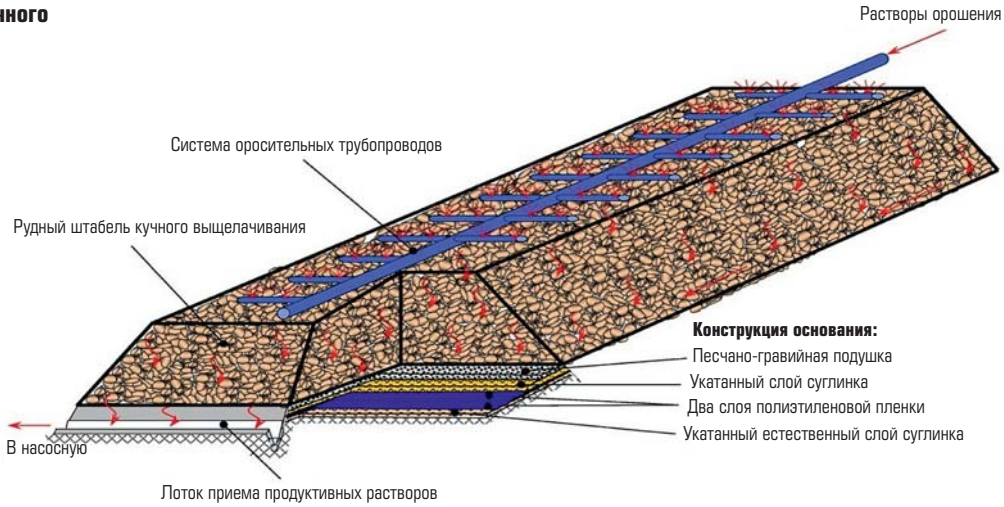
Еще одним геотехнологическим преимуществом месторождений Хиагдинского рудного поля по сравнению с месторождениями далматовского типа Южного Казахстана и Узбекистана является малая глубина залегания рудных тел от поверхности (90–250 м). При этом имеется один существенный фактор, значительно осложняющий реализацию СПВ урана, – это площадное повсеместное распространение многолетней мерзлоты мощностью 50–90 м и холодные подземные воды в миоценовых рудоносных водоносных горизонтах (2–4 °С). Холодные зимы с температурой воздуха, опускающейся до –50 °С, также осложняют эксплуатацию полигонов СПВ.

Основным направлением повышения эффективности производства в АО «Хиагда» является увеличение производительности технологических скважин, которая самая низкая (4 м^3/ч) из всех рудников альянса Уранового холдинга «АРМЗ» и Uranium One Inc. Главными факторами, обусловливающими такую производительность, являются слабая обводненность верховьев рудоносных водоносных горизонтов в палеодолинах и высокая вязкость выщелачивающих растворов из-за низкой температуры подземных вод. Работы по повышению производительности нагнетательных и откачных скважин ведут одновременно в нескольких направлениях: управление ресурсами подземных вод путем перераспределения подземных вод между палеодолинами; улучшение конструкции технологических скважин; внедрение наиболее эффективных методов и технических средств восстановления и повышения производительности технологических скважин.

Руды месторождений хиагдинского типа мономинеральные и представлены в основном фосфатом четырехвалентного урана – нингиоитом. Это является спецификой данного типа руд, так как на большинстве гидрогенных месторождений Зауральского района и Средней Азии они по химическому составу силикатные и ок-

Рис. 2. Изменение объемов добычи урана после оптимизации схемы вскрытия эксплуатационного блока 5-8 на рудной залежи Х5 Хиагдинского месторождения

Рис. 3. Реализованная в ПАО «ППГХО» технологическая схема кучного выщелачивания урана



сидные. Нингиоит в разбавленных растворах серной кислоты практически не растворяется. Применение в качестве окислителя нитрита натрия позволило значительно интенсифицировать извлечение урана из руд. По данным лабораторных фильтрационных испытаний, добавление окислителя увеличивает темпы извлечения урана в три раза. Это еще один способ повышения эффективности СПВ, который при низкой температуре подземных вод (2–4 °С) позволил достичь содержаний урана в продуктивных растворах на уровне лучших рудников СПВ Казахстана, где температурные условия (25–40 °С) кислотного растворения урана намного лучше, чем на хиагдинских месторождениях.

Внедрение в АО «Хиагда» комплекса компьютерных программ, разработанных СТИ НИЯУ МИФИ для АО «Далур», значительно повысило эффективность процессов СПВ. Только оптимизация схем вскрытия 4 эксплуатационных блоков на рудной залежи Х5 Хиагдинского месторождения позволила ускорить добычу и завершить их отработку в 2017 г. (**рис. 2**). При затратах на НИОКР 22 млн руб. получен экономический эффект в виде чистого дисконтированного дохода более 400 млн руб. Выбранное оптимальное расстояние между нагнетательными и откачными скважинами в настоящее время использовано на месторождении Источное, которое находится на начальной стадии освоения, и при вскрытии рудной залежи на месторождении Вершинное, подготавливаемой к отработке методом СПВ.

Вышеперечисленные мероприятия, направленные на повышение эффективности отработки рудных залежей месторождений Хиагдинского рудного поля, дадут возможность предприятию войти в число ведущих рудников СПВ, несмотря на суровые природно-климатические условия, наличие многолетнемерзлых пород, низкую температуру подземных вод в рудоносных горизонтах и высокую технологическую упорность урановых руд. Программой развития АО «Хиагда» предусматривается вывести предприятие на годовую производительность 1000–1300 т урана.

Кучное выщелачивание

Переработка бедных и забалансовых руд возможна кучным выщелачиванием (**рис. 3**). Метод кучного выщелачивания применяется в ***ПАО «ППГХО»*** с 1996 г. В начальный период формирование рудных штабелей осуществлялось из рудного сырья забойной крупности со средним содержанием урана 0,08 %. Извлечение урана в выщелачивающий раствор из бедных балансовых руд составляло 60–65 %, а время отработки штабеля – 2 года. Из забалансовых руд, содержащих <0,03 % урана, его извлечение было еще ниже и не превышало 40–50 %. При современных ценах на уран при таком уровне извлечения переработка урановых руд методом КВ становится нерентабельной. В связи с этим в период с 2013 по 2015 г. при финансовой поддержке Минобрнауки РФ на предприятии проведены кардинальные изменения в технологии КВ, включающие все стадии жизненного цикла переработки руд: рудоподготовку, формирование штабелей, орошение, выщелачивание, сорбционное концентрирование.

Полнота извлечения урана при других равных условиях зависит не только от минерального состава пород и пространственного распределения в них урана, но и от размеров, структуры и формы кусков рудного материала. В связи с этим одним из важнейших факторов эффективности КВ является качественная рудоподготовка уранового сырья (**рис. 4**). Для ее обеспечения в ПАО «ППГХО» был разработан ряд мероприятий, позволивших существенно повысить технологические показатели используемого метода переработки руд [12], основными из которых являются:

- фракционирование рудного сырья с последующим распределением рудных потоков для переработки;
- обогащение на рентгенорадиометрических сепараторах с целью выделения из рудной массы пустых пород;
- дробление руд до оптимальной крупности.

Так, за счет предварительного фракционирования рудного сырья путем грохочения из бедных руд была выведена в гидрометаллургическую схему переработки наиболее богатая по содержанию урана, но в то же время наиболее насыщенная иловыми и глинистыми материалами фракция руды (–5 мм), которая ранее образовывала внутри штабеля КВ прослойки из глины и шлама, а при отработке штабеля эта фракция была источником формирования кольматации, экранирующей и препятствующей вскрытию (извлечению) урана. Данный фактор, в свою очередь, существенно снижал интенсивность фильтрации растворов и эффективность переработки бедных руд методом КВ. Из забалансовых руд мелкие фракции рудного материала также выделяют путем сухого грохоче-

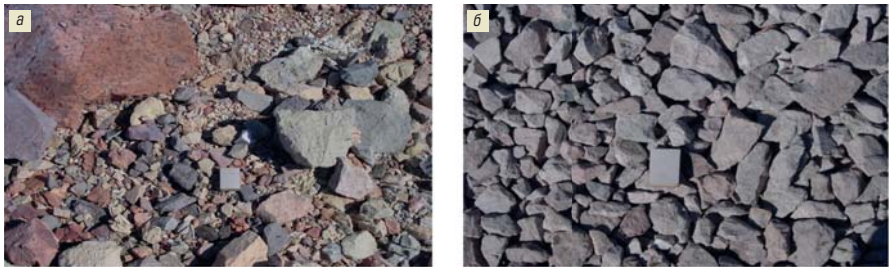


Рис. 4. Рудоподготовка уранового сырья к кучному выщелачиванию:
а – при использовании стандартной технологии подготовки руды;
б – по новой технологии с применением рудосортировочного комплекса

ния по классу крупности –30 мм. В отличие от бедных руд, ввиду низкого содержания урана полученный рудный материал подвергают окомкованию (агломерации) и перерабатывают методом КВ.

Внедрение предварительного покускового обогащения руд на рентгенорадиометрических сепараторах позволило выделять из рудного материала пустые породы, что повысило содержание урана в перерабатываемом рудном сырье и снизило расход серной кислоты на выщелачивание. Последующее додрабливание до крупности –10 мм при переработке бедных руд обеспечило оптимальную для проницаемости выщелачивающих растворов кусковатость рудного материала и равномерное распределение урана в штабеле КВ. Это стабилизировало процесс выщелачивания с исключением непроработанных зон. Для забалансовых руд оптимальная крупность дробления составила 30 мм. Дальнейшее снижение крупности материала повышает эффективность выщелачивания урана незначительно и ведет к увеличению затрат.

Помимо рудоподготовки, с целью интенсификации процесса инфильтрационного выщелачивания и увеличения степени извлечения урана из руд на предприятии была разработана и внедрена технология рециркуляции продуктивных растворов, улучшена объемная проработка штабелей растворами серной кислоты, организовано последовательное орошение рудной массы со штабелей, находящихся на стадии доработки. Данный способ интенсификации процесса кучного выщелачивания обеспечивает стабильную подачу продуктивных растворов на сорбцию и оптимальную концентрацию урана в них [13]. Его отличительная особенность – одновременное орошение руды частью продуктивных растворов доукрепленными маточниками сорбции. Наряду с вышеуказанными преимуществами схема позволяет совместно отрабатывать рудное сырье, находящееся на стадиях активного выщелачивания и доработки, с организацией стабильной подачи насыщенных ураном растворов на сорбцию.

Кроме того, многочисленными исследованиями было установлено, что скорость проникновения растворов в глубину куска незначительна [3, 13–15]. Поэтому вынос растворенного урана за его пределы лимитируется скоростью диффузии. Повышение скорости проникновения реагента в рудный кусок возможно при условии снижения поверхностного натяжения растворов, которое может быть обеспечено в результате применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). В условиях ПАО «ППГХО» для кучного выщелачивания забалансовых руд, где мелкие фракции руды, насыщенные иловыми и глинистыми включениями, являются наиболее обогащенными ураном, для обеспечения эффективной фильтрации растворов были применены ПАВ. Это позволило повысить степень извлечения урана из руд на 8–10 %.

В целом весь комплекс разработанных и внедренных технологических мероприятий дал возможность достичь следующих показателей эффективности технологии КВ:

- извлечение урана из бедных балансовых руд – 85 % при продолжительности переработки штабеля 10–12 мес;
- извлечение урана из забалансовых руд – 70 % при такой же продолжительности отработки штабеля КВ (10–12 мес).

Заключение

В условиях, сложившихся на современном рынке урана, при низких ценах на ХКПУ увеличение доли производства готовой продукции геотехнологическими методами, в первую очередь методом СПВ, существенно улучшает экономические показатели Уранового холдинга «Атомредметзолото», в частности снижает консолидированную средневзвешенную производственную себестоимость конечного продукта.

Руды месторождений Зауральской группы и Хиагдинского рудного поля отличаются преобладанием четырехвалентной труднорастворимой формы урана. К тому же рудные залежи хиагдинских месторождений локализованы в водоносных горизонтах с недостаточной обводненностью рудоносных пород, а из-за близости расположения зоны многолетнемерзлых пород вода в водоносных горизонтах весьма холодная. Неблагоприятные природно-климатические, гидрогеологические и геокриологические условия оказывают негативное влияние на геотехнологические процессы. Тем не менее реализация современных компьютерных технологий прогнозирования и управления геотехнологическими процессами; внедрение новых конструкций скважин и методов поддержания их производительности; применение окислителей для интенсификации извлечения урана из руд и ряд других мероприятий позволяют в значительной степени нивелировать воздействие отрицательных факторов и оставаться предприятиям СПВ в составе АО «Атомредметзолото» рентабельными при низких ценах на уран.

В ПАО «ППГХО» благодаря поддержке Министерства образования и науки РФ выполнены масштабные работы по совершенствованию технологии КВ, созданы экономически эффективные и конкурентоспособные технологии рудоподготовки и методы интенсификации выщелачивания урана из бедного и забалансового рудного сырья. Внедрение этих технологий позволяет наиболее полно использовать сырьевую базу предприятия и снизить себестоимость переработки урановых руд методом КВ.

Библиографический список

1. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations / IAEA Nuclear Energy Series. No. NF-T-1.4. – Viena, 2016. – 59 p.
2. Физико-химическая геотехнология : учеб. для вузов / под общ. ред. В. Ж. Аренса. – М. : Горная книга, 2010. – 575 с.
3. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов : в 2 т. / под ред. М. И. Фазлуллина. – М. : ИД «Руда и Металлы», 2005. Т. 1 : Уран. – 407 с.
4. *Кротков В. В., Лобанов Д. П., Нестеров Ю. В., Абдульманов И. Г.* Горно-химическая технология добычи урана. – М. : ГЕОС, 2001. – 368 с.
5. *Святецкий В. С., Солодов И. Н.* Стратегия технологического развития уранодобывающей отрасли России // Горный журнал. 2015. № 7. С. 68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10
6. *Дементьев А. А., Бабкин А. С., Истомин А. Д., Носков М. Д., Кеслер А. Г., Чеглоков А. А.* Инновационная технология управления разработкой месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания // Уран: геология, ресурсы, производство : тез. Третьего междунар. симпозиума. – М. : ФГУП «ВИМС», 2013. С. 43–44.
7. *Носков М. Д., Кеслер А. Г., Теровская Т. С., Бабкин А. С., Посохова Е. М.* Экологический мониторинг и прогнозирования состояния недр при добыче урана в ЗАО «Далур» // Роговские чтения: проблемы инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии урбанизированных территорий : сб. тр. конф., 7–9 апреля 2015 г. – Томск : Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2015. С. 208–211.
8. *Niyetbayev M., Yermilov A., Avdassyov I., Pershin M.* The methods for performance improvement of technological wells at in-situ uranium leaching // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 81.
9. *Солодов И. Н.* Защитные геохимические свойства геологической среды на урановых месторождениях, отрабатываемых методом СПВ // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека : сб. матер. V Междунар. конф. – Томск : Изд-во «СТТ», 2016. С. 604–610.
10. Пат. 2572910 РФ. Способ выщелачивания урана из руд / А. А. Дементьев, Е. И. Гонтарь, В. Н. Рычков, А. Л. Смирнов, Н. А. Попонин и др. ; заявл. 03.12.2013 ; опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2.
11. *Solodov I. N.* ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russain Federation) // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 78.
12. *Yurtaev A., Golovko V.* Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 172.
13. Пат. 2226564 РФ. Способ извлечения урана из руд / И. Ю. Андреев, В. Ф. Головин, В. А. Горбунов, В. Б. Корнеев, В. Г. Литвиненко и др. ; заявл. 22.07.2002 ; опубл. 10.04.2004, Бюл. № 10.
14. *Черняк А. С.* Вопросы растворения: выщелачивание, экстракция. – Иркутск : ИГУ, 1998. – 403 с.
15. *Волков Ю. В., Соколов И. В.* Подземная геотехнология при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 1. С. 41–47. ГИ

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 8, pp. 5–10
DOI: 10.17580/gzh.2017.08.01

Physicochemical geotechnologies – the key route to development in uranium industry

Information about authors

I. N. Solodov[1], Director of Programs of Innovative and Technological Development, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, info@armz.ru

A. A. Morozov[2], Head of the Central Research Laboratory, Candidate of Engineering Sciences

[1] Atomredmetzoloto, Moscow, Russia

[2] Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union, Krasnokamensk, Russia

Abstract

The article shows that the basic trend in development of uranium production is connected with the use of geotechnologies at the simultaneous reduction in the surface and underground mining of uranium both in Russia and in the world. Russia's hydrogenic uranium reserves suitable for in-situ leaching (ISL) contain highly recoverable uranium unlike uranium deposits in Australia, Kazakhstan and Uzbekistan. Russian in-situ leaching mines function in the more severe natural environment and climate as compared with the foreign analogs. Advanced technologies enable leveling the disadvantages and keeping the competiveness. Heap leaching in an underground uranium mine expands the uranium supply base, improves the environment and eases-off the ore processing cycle at a hydrometallurgical plant. Under the current conditions of low prices available in the market for chemical concentrates of natural uranium, a geotechnology-based way to increase in uranium production, primarily, by means of ISL, essentially enhances economic performance.

Ores of the Transbaikalia and in Khiagda ore fields predominantly contain hardly soluble uranium; furthermore, Khiagda ore bodies occur in the water-bearing formations of insufficiently watered ore rocks, and water in the water-bearing formations is very cold due to the close-spaced occurrence of permafrost, which has a negative influence on geotechnological processes. Nonetheless, the implementation of the advanced computer-aided prediction and control technologies, introduction of new-structure injection holes and latter-day methods aimed to maintain the yield of the holes, the use of oxidizers for enhancement of uranium recovery and some other efforts enable the adverse effects to be abated and allow the in-situ leaching mines affiliated with Atomredmetzoloto to remain profitable under conditions of low uranium price.

Keywords: uranium deposits, physicochemical geotechnology, uranium ore, mining and processing, underground mining method, in-situ leaching, heap leaching, uranium mine.

References

1. In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations. IAEA Nuclear Energy Series. No. NF-T-1.4. Viena, 2016. 59 p.
2. Physical and chemical geotechnology : tutorial for universities. Ed.: V. Zh. Arens. Moscow : Gornaya kniga, 2010. 575 p.
3. Underground and heap leaching of uranium, gold and other metals : in two volumes. Ed.: M. I. Fazlullin. Moscow : «Ore and Metals» Publishing House, 2005. Vol. 1: Uranium. 407 p.
4. Krotkov V. V., Lobanov D. P., Nesterov Yu. V., Abdulmanov I. G. Mining-chemical technology of uranium mining. Moscow : GEOS, 2001. 368 p.
5. Svyatetskiy V. S., Solodov I. N. Technological advancement strategy of uranium mining industry in Russia. *Gornyi Zhurnal.* 2015. No. 7. pp. 68–77. DOI: 10.17580/gzh.2015.07.10
6. Dementev A. A., Babkin A. S., Istomin A. D., Noskov M. D., Kesler A. G., Cheglokov A. A. Innovation technology for mastering the uranium deposits mining by drillhole in situ leaching. *Uranium: geology, resources, production : thesises of the Third International symposium.* Moscow : FGUP «VIMS», 2013. pp. 43–44.
7. Noskov M. D., Kesler A. G., Terovskaya T. S., Babkin A. S., Posokhova E. M. Ecological monitoring and forecastings of the soil state during uranium mining at the JSC «Dalur». *Rogov's readings: problems of engineering geology, hydrogeology and geoecology of urbanized territories : collection of proceedings of the conference, 7–9 April 2015.* Tomsk : Izdatelstvo Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta, 2015. pp. 208–211.
8. Niyetbayev M., Yermilov A., Avdassyov I., Pershin M. The methods for performance improvement of technological wells at in-situ uranium leaching. *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014.* Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 81.
9. Solodov I. N. Protecting the geochemical properties of geoecological environment on uranium deposits, mined by drillhole ISL. *Radioactivity and radioactive elements in the human environment : collection of materials of the V International conference.* Tomsk : Izdatelstvo «STT», 2016. pp. 604–610.
10. Dementev A. A., Gontar E. I., Rychkov V. N., Smirnov A. L., Poponin N. A. et al. Method of uranium leaching from ores. Patent RF, No. 2572910. Applied: 03. 12.2013. Published: 10.06.2015. Bulletin No. 2.
11. Solodov I. N. ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russain Federation). *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014.* Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 78.
12. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23–27 June 2014.* Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 172.
13. Andreev I. Yu., Golovin V. F., Gorbunov V. A., Korneev V. B., Litvinenko V. G. et al. Method of uranium leaching from ores. Patent RF, No. 2226564. Applied: 22.07.2002. Published: 10.04.2004. Bulletin No. 10.
14. Chernyak A. S. Dissolution issues: leaching, extraction. Irkutsk : IGU, 1998. 403 p.
15. Volkov Yu. V., Sokolov I. V. Underground geotechnology during the combined mining of ore deposits. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.* 2013. No. 1. pp. 41–47.