

УДК 622.349.5:622.234.42

# ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УРАНА МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ



**Н. И. ЛУЦЕНКО<sup>1</sup>**,  
начальник производственного  
отдела, lutsenko.n.i@dalur.ru



**Н. М. РАВШАНОВ<sup>1</sup>**,  
ведущий инженер  
производственного отдела

<sup>1</sup>АО «Далур», Курганская область, Россия

## Введение

АО «Далур» — современное отечественное предприятие, реализующее экологически чистый способ добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания. Имеющиеся запасы обеспечивают предприятию долгосрочную стабильную работу. В настоящее время продолжается промышленная разработка Далматовского месторождения, а также осуществляются опытно-промышленные работы на Хохловском месторождении.

На Далматовском месторождении урановое оруденение сосредоточено в пределах развития средневерхнеюрских, аллювиально-делювиальных отложений на глубине от 360 до 510 м от поверхности. Урановая минерализация типична для месторождений гидрогенного типа и представлена настураном и коффинитом.

Схема вскрытия водоносного рудовмещающего горизонта включает в себя схему размещения технологических скважин по площади месторождения и систему установки фильтров в разрезе продуктивного горизонта. Выбор схемы вскрытия эксплуатационных блоков (участков) зависит от конкретных горно-геологических условий залегания рудных залежей и уточняется по результатам опережающей эксплуатационной разведки и бурения пилотных стволов технологических скважин.

Для вскрытия продуктивного (рудовмещающего) горизонта на рудных залежах по площади в АО «Далур» в настоящее время используются две основные схемы [1]:

- рядная прямоугольная, с расстоянием между откачными скважинами в ряду 25–35 м, закачными скважинами — 17,5–35 м и промежутком между рядами скважин в 30–50 м;
- гексагональная, с расстоянием между скважинами 30–50 м.

Разность между наименьшим и наибольшим расстоянием между рядами скважин и скважинами в ряду обусловлена морфо-

Рассмотрены основные аспекты аппаратно-технологического оформления процесса получения уранового концентрата. Выделены важные моменты как в добыче урана методом подземного выщелачивания, так и в производстве полиуранатов аммония на участке переработки продуктивных растворов Центральной промплощадки АО «Далур».

**Ключевые слова:** геотехнология, подземное выщелачивание урана, откачная скважина, продуктивные растворы, отстойники, закисление, добычный комплекс, переработка продуктивных растворов.

**DOI:** dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.10.02

логическими особенностями строения рудных залежей палеодолитного типа и необходимостью полного и оптимального их вовлечения в процесс добычи с учетом миграции, растекания и возможного разубоживания технологических растворов [1].

В процессе эксплуатации для обеспечения проектных показателей отработки эксплуатационных блоков предусматривается возможность оперативного изменения схем вскрытия путем перебурирования существующих и добурирования (достройки) дополнительных скважин, изменения назначения и режимов работы технологических скважин, параметров отработки эксплуатационных блоков, применения реверсирования потоков технологических растворов и др.

Исходя из особенностей добычи урана способом подземного выщелачивания, в составе рудника ПВ выделяют два основных производственных комплекса, характеризующихся законченным технологическим циклом — добычной и перерабатывающий [2, 3].

## Технология ведения добычных работ

Добычный комплекс [1, 4–8] (полигон) подземного скважинного выщелачивания представляет собой комплекс подземных, наземных сооружений и технических средств, обеспечивающий подачу рабочих растворов в рудовмещающий водоносный горизонт для осуществления процесса подземного выщелачивания, а также откачку продуктивных растворов на поверхность и их транспортирование для последующей обработки на участок переработки продуктивных растворов.

Все функции вскрывающих, подготовительных и очистных работ, а также путей транспортирования технологических растворов из недр на поверхность и обратно выполняют технологические откачные, универсальные и закачные скважины. Универсальные скважины по конструкции идентичны откачным, по назначению работы могут использоваться как в режиме откачки, так и в режиме закачки.

Разработка рудных залежей скважинного подземного выщелачивания подразделяется на несколько этапов [1, 2, 9]:

- закисление;

- отработка блоков — активное выщелачивание и довыщелачивание (доработка).

*Закисление блока* — технологический процесс, необходимый для создания в рудовмещающем горизонте геохимической и гидродинамической обстановки, обеспечивающей избирательное растворение урана и перевод его в продуктивный раствор.

Работы по закислению начинаются после завершения пусконаладочных работ и приемки блоков в эксплуатацию с приготовления закисляющих растворов через отдельный стационарный узел закисления, который входит в состав пескоотстойника возвратных растворов и отделен от него гидроизолированной железобетонной перегородкой.

Рабочие растворы для закисления готовят путем смешивания на технологическом узле закисления пластовой воды, откачиваемой из откачных скважин, и серной кислоты. Концентрация последней в рабочих растворах для закисления устанавливается в зависимости от конкретных горно-геологических условий закисляемого блока и принятых проектных решений.

Контроль за качеством приготовления рабочих растворов осуществляют с помощью замеров массы кислоты приборами КИПиА, по которым расчетным путем определяют количество  $H_2SO_4$  в закачных растворах. Контроль за количеством кислоты в рабочих растворах выполняют химико-аналитическим методом.

Технологические узлы закисления предназначены для доукрепления оборотных растворов на стадии закисления и выщелачивающих растворов на этапе отработки. Дозированная подача серной кислоты в закачные магистрали осуществляется с целью дифференцирования и оптимизации расхода химических реагентов в зависимости от выходных характеристик закисляемых и эксплуатационных блоков по свободной серной кислоте и другим геотехнологическим параметрам.

На стадии *активного выщелачивания* происходит процесс массового перехода урана в раствор, который обеспечивается поддержанием содержания серной кислоты и окислителя (нитрит натрия) в выщелачивающих растворах в соответствии с ежемесячным регламентом. Кислотность рабочих растворов для каждого блока (группы блоков) устанавливается в зависимости от количества остаточной свободной кислоты в продуктивных растворах данных блоков, степени отработки блоков, горно-геологических условий и геотехнологических особенностей отработки. Как и в процессе закисления блоков, в период активного выщелачивания должно обеспечиваться гидродинамическое равновесие (баланс растворов). В этом случае система скважин блоков и участков работает в стационарном режиме фильтрации, что позволяет максимально локализовать зону циркуляции растворов в плане и разрезе рудной залежи, минимизировать растекание растворов за контуры блоков, снизить их разубоживание.

На стадии активного выщелачивания продуктивные растворы из откачных скважин извлекают на поверхность погружными насосами и через щелевой расходомер подают в самотечный откачной коллектор, смонтированный на эстакаде, по которому транспортируют в пескоотстойник продуктивных растворов добычного участка. Транспортирование самотеком обеспечивается благодаря соблюдению соответствующих уклонов эстакады. В случае

значительной удаленности блоков обустраивают промежуточный пескоотстойник, оснащенный насосной станцией, для перекачки продуктивных растворов. После извлечения урана из продуктивных растворов на перерабатывающей установке маточные растворы сбрасывают в пескоотстойник возвратных растворов, откуда насосами доукрепленные серной кислотой растворы подают в нагнетательную сеть добычного комплекса.

*Довыщелачивание (доработка) эксплуатационных блоков* — это период времени, относящийся к завершающей стадии работ по добыче урана. Он характеризуется, как правило, степенью отработки запасов и снижением содержаний металла в продуктивных растворах до некондиционных содержаний (устанавливается внутренним регламентом предприятия).

На этапе доработки концентрация кислоты в рабочих растворах постоянно снижается, вплоть до маточных растворов [1, 4, 6, 10, 11], использование окислителей продолжается. Маточными растворами завершается отработка блока путем вытеснения из рудовмещающих водоносных горизонтов технологических растворов с повышенной кислотностью. Гидродинамический режим работы откачных и закачных скважин при этом сохраняется аналогичным этапу активного выщелачивания, но с учетом ликвидации растеканий рабочих растворов за контуры эксплуатационных блоков. Метод реверсирования или дисбаланс в сторону откачки предназначен для того, чтобы законтурный ореол растекания растворов вернуть в контур дорабатываемого блока (участка). Образовавшийся при этом избыток растворов выводят из основного технологического растровооборота и используют для закисления новых блоков.

### Переработка продуктивных растворов

Перерабатывающий комплекс [1, 4, 11, 12] предназначен для гидрометаллургического концентрирования природного урана и включает в себя:

- извлечение урана из продуктивных растворов сорбцией на ионите;
- регенерацию ионита.

Основным звеном данной технологии является ионит. Для сорбционной переработки растворов ПВ применяют сильноосновные аниониты, представляющие собой высокомолекулярные полимерные соединения трехмерной гелиевой структуры, содержащие функциональные группы основного характера. Все сильноосновные анионообменные смолы имеют повышенный коэффициент распределения урана, в особенности в области его низких (1–50 мг/л) концентраций; это обеспечивает снижение концентрации урана в маточниках сорбции (до менее 1 мг/л) [13–16].

Сорбцию урана осуществляют как на центральной промышленной площадке — на участке переработки продуктивных растворов (УППР), так и на локальных сорбционных установках (ЛСУ).

Продуктивные растворы с эксплуатационных блоков откачивают погружными насосами в пескоотстойник, где происходит их осветление от илов и механических взвесей, а далее растворы направляют на сорбционный передел.

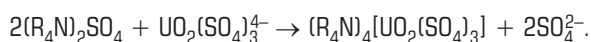
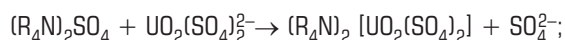
Сорбционное извлечение урана ионитом в сорбционной напорной колонне СНК-3000 (см. **рисунок**) протекает в динамическом режиме, при котором через неподвижный слой ионита фильтруется продуктивный раствор, в процессе которого происходят ионный обмен и сорбция урана на ионит. Это наиболее сложная ситуация для анализа и управления процессом массообмена, поскольку в этом случае концентрация извлекаемого урана в обеих фазах непрерывно меняется и по высоте слоя, и во времени.

После сорбции образовавшиеся маточники сорбции (МС) через смолоуловитель поступают в пескоотстойник возвратных растворов. Далее при помощи насосов под давлением распределяются по эксплуатационным блокам. МС перед подачей в эксплуатационные блоки докрепляют серной кислотой до необходимой концентрации на технологических узлах закисления.

Эффективность сорбционной переработки оценивается по:

- сорбционной емкости смолы;
- селективности по извлекаемым металлам;
- степени извлечения металла из растворов ПВ;
- единовременной загрузке ионита;
- продолжительности контакта раствора с ионитом;
- линейной скорости продуктивных растворов в сорбционной колонне 20–40 м/ч;
- кинетическим показателям сорбции и регенерации;
- условиями десорбции.

Уран из продуктивных растворов сорбируется ионитом по уравнениям реакции:



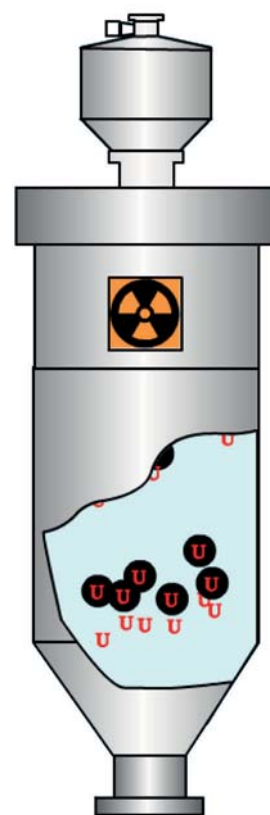
Перегрузка сорбционной напорной колонны отмечается при переработке колонной расчетного количества растворов  $V_{пр}$ , определяемых по следующей формуле:

$$V_{пр} = (a_n - a_o) \cdot V_{см} \cdot 1000 / (C_{пр} - C_c),$$

где  $a_n$  — насыщение анионита, кг/м<sup>3</sup>;  $a_o$  — остаточная емкость анионита (по данным лаборатории), кг/м<sup>3</sup>;  $V_{см}$  — объем перегружаемой смолы, м<sup>3</sup>;  $C_{пр}$  — содержание металла в продуктивных растворах, мг/л;  $C_c$  — содержание металла в маточниках сорбции, мг/л.

Процессом регенерации ионообменных материалов называется стадия цикла, состоящая из последовательных операций, приводящих к восстановлению первоначальной емкости и формы ионита и включающая:

- промывку насыщенного ионита после завершения сорбционного цикла;
- донасыщение насыщенного ионита;
- десорбцию ионита;
- денитрацию отрегенированного ионита;
- отмывку ионита после денитрации;
- осаждение товарного десорбата;



### Сорбционная напорная колонна СНК-3000

- сгущение ПК;
- фильтрацию ПК.

Промывку насыщенного ионита после завершения сорбционного цикла осуществляют с целью очищения ионита от илов и механических взвесей сорбционного цикла.

Донасыщение ионита производят товарным десорбатом и маточниками осаждения с целью:

- вытеснения межпоровых некондиционных растворов, поступающих с ионитом с цикла отмывки от илов и механических взвесей;
- вытеснения депрессирующих побочных элементов;
- перевода ионита с сульфатной в рабочую для десорбции нитратную форму;
- увеличения содержания Me в насыщенном ионите за счет сорбции урана из части товарного десорбата.

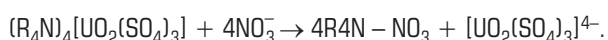
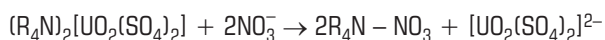
Сущность десорбции заключается в вытеснении из зерен ионита ионов уранилсульфата подходящими анионами-депрессорами без изменения ионной формы поглощенного компонента. В данном случае анионом-депрессором выступает нитрат-ион, который относится к классу вытеснительных способов десорбции.

Вещество, применяемое для десорбции урана, называется *десорбатом*, а раствор, в который перешел уран из молекул ионита, — *десорбатом*.

Десорбция ионита осуществляется последовательно в трех отмывочных колоннах противоточно, т. е. направление движения десорбирующего раствора (*элюента*), противоположно движению ионита.

Применение противотока позволяет: увеличить среднюю движущую силу процесса; сократить в 2–5 раза необходимое время контакта; снизить расход химических реагентов; реализовать большое число ступеней изменения концентрации; увеличить динамическую емкость ионита и сократить его расход.

Десорбция урана описывается следующими уравнениями реакций:



Денитрация отрегенированного ионита проводится с целью:

- замены (перезарядки) в ионите противоионов (замещение нитрат-иона на сульфат-ион);
- возврата нитратов в процесс десорбции;
- восстановления сорбционных свойств ионитов и обеспечения благоприятных условий для последующей сорбции.

Отмывку ионита после денитрации проводят технической водой в отмывочной колонне. Образующийся сульфатный раствор подкисляют технической серной кислотой, и далее он участвует в процессе денитрации.

Осаждение товарного десорбата осуществляется последовательно в три стадии в реакторах с мешалками и подогревом. Товарный десорбат подают на каскад осаждения в реактор, в качестве осадителя используют раствор углеаммонийной соли. Регулирование расхода осадителя осуществляют по уровню pH в каждом реакторе автоматически. На первой стадии осаждения происходит нейтрализация кислоты, присутствующей в товарном десорбате, т. е. образуется гидроокись уранила, а затем уже полиуранат аммония.

Процесс сгущения состоит в том, что часть жидкости отделяют от твердого материала вследствие осаждения твердых частиц в сгустителях под действием силы тяжести. С цикла осаждения пульпу подают в центральный загрузочный стакан сгустителя. Твердая фаза осаждается вниз и гребками сдвигается к центральному разгрузочному патрубку, откуда сгущенная пульпа выводится в накопительную емкость. В верхней части сгустителя восходящие потоки осветленной жидкости двигаются по направлению к кольцевому разгрузочному желобу чистого слива и направляются для приготовления десорбирующего раствора.

После цикла сгущения пульпу с накопительной емкости подают на фильтр-прессы, работающие под давлением и обеспечивающие высокую скорость фильтрации. После фильтрации и промывки рамы плиты раздвигаются, осадок сваливается в приемный бункер. После этого фильтр собирают вновь, и цикл повторяется. Готовый продукт (влажностью ~ 30–40 %) направляют на цикл сушки. Технологический процесс сушки полиуранатов аммония обеспечивает эффективное удаление влаги из суспензий или кеков и обеспечивает выпуск готовой продукции в виде желтого кека, соответствующего требованиям ASTM.

### Информационная система добычного комплекса

На предприятии совместно со специалистами Северной государственной технологической академии разработана и введена в эксплуатацию комплексная информационно-аналитическая система для автоматизации расчетов, управления, хранения и анализа данных добычного комплекса. Система позволяет: осуществлять сбор, ввод и редактирование геотехнологических данных различных типов; проводить контроль и анализ введенных данных; протоколировать работу с данными; оценивать достоверность введенных данных; хранить данные; рассчитывать значения требуемых геотехнологических параметров на основе введенных данных; контролировать результаты оценок; обеспечивать оперативность и наглядность представления данных с помощью различных способов визуализации (планы, схемы, графики, таблицы и др.); выполнять анализ и экспертную оценку данных; представлять документацию и отчеты по заданной форме; дифференцировать уровень доступа к просмотру, редактированию и обработке данных; готовить исходные данные для проведения геотехнологических расчетов.


Созданное программное обеспечение работает в многопользовательском режиме. В состав системы входят модули, обеспечивающие ее сопряжение с геологической базой данных и геотехнологическим информационно-моделирующим комплексом «Севмур». Из геологической базы данных информационная система импортирует необходимую информацию о технологических скважинах и эксплуатационных блоках. Комплекс «Севмур» обеспечивает данными, необходимыми для проведения моделирования процесса подземного выщелачивания.

Программное обеспечение реализовано на основе клиент-серверной технологии. Клиентские части программы разработаны с учетом должностных обязанностей различных пользователей. В результате внедрения информационной системы добычного комплекса на АО «Далур» обеспечивается движение трех параллельно-последовательных потоков данных. Первый поток связан с вводом в информационную систему первичной фактической информации (геологические, химические, гидродинамические и технологические данные). В результате в информационную систему поступает и накапливается вся имеющаяся информация о состоянии добычного комплекса, полученная с помощью непосредственных измерений. Второй поток включает в себя подготовку данных для дальнейших расчетов. Первичные данные контролируются, отбрасываются ошибочные, добавляются недостающие, проводится их согласование, рассчитываются геотехнологические показатели за определенный период (расходы кислоты, окислителя, масса урана, средняя концентрация урана и других компонентов раствора по блокам и т. д.). Третий поток данных формируется руководителем, который заполняет базу данных анализов и прогнозов на основе плановых и реальных показателей работы предприятия. Руководитель проводит оценку эффективности работы предприятия, выявляет недостатки в работе добычного комплекса, устанавливает корреляционные зависимости между различными геотехнологическими показателями (мощностью, временем отработки блоков, максимальной концентрацией компонентов растворов и др.).

## Заключение

Оценивая результаты работы акционерного общества за прошедшие годы, можно с уверенностью сказать, что АО «Далур» добились хороших показателей по добыче урана эффективным и экономичным способом подземного выщелачивания. Технология подземного скважинного выщелачивания на сегодняшний день достаточно развита и является контролируемым, безопасным и экологически приемлемым методом добычи, который можно применять даже при самых строгих нормативах охраны окружающей среды. Помимо ряда технологических преимуществ по сравнению с традиционными способами добычи, метод подземного скважинного выщелачивания характеризуется лучшими экономическими показателями.

### Библиографический список

1. Белецкий В. И., Богатков Л. К., Волков Н. И. и др. Справочник по геотехнологии урана. — М.: Энергоатомиздат, 1997. — 672 с.
2. Луценко И. К., Белецкий В. И., Давыдова Л. Г. Бесшахтная разработка рудных месторождений. — М.: Недра, 1986. — 176 с.
3. Шеметов П. А., Глотов Г. Н. Теоретические основы автоматизированных систем геотехнологии подземного выщелачивания урана // Горный журнал. 2011. № 11. С. 35–40.
4. Живов В. Л., Бойцов А. В., Шумилин М. В. Уран: геология, добыча, экономика. — М.: Атомредметзолото, 2012. — 301 с.
5. Перельман А. И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. — 527 с.
6. Глинский М. Л., Глаголев А. В., Дрожко Е. Г. и др. Методические рекомендации по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях Госкорпорации «Росатом». — М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010. — 188 с.
7. Канада // Горная энциклопедия. URL: <http://www.mining-enc.ru/k/kanada/> (дата обращения: 15.09.2016).
8. Сырьевой комплекс зарубежных стран. Информационно-аналитический центр «Минерал». URL: <http://www.mineral.ru/Facts/world/116/136/index.html> (дата обращения: 15.09.2016).
9. Филиппов А. П., Нестеров Ю. В. Редокс-процессы и интенсификация выщелачивания металлов. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2009. — 543 с.
10. Нормативные материалы по ведению объектного мониторинга состояния недр на предприятиях и в организациях Госкорпорации «Росатом». — М.: Гидро-спецгеология, 2010. — 64 с.
11. Самсонов Б. Г. Основы объектного мониторинга геологической среды на предприятиях по разведке, добыче и использованию атомного сырья. — М.: Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли, 2010. — 120 с.
12. Волков В. П. Сорбционные процессы действующих производств. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2014. — 160 с.
13. Brusseau M. L., Carroll K. C., Carreón-Diazconti et al. Sulfate reduction in groundwater: characterization and applications for remediation // Environmental Geochemistry and Health. 2012. Vol. 34. P. 539–550.
14. Meng H., Li Z., Ma F., Jia L., Wang X., Zhou W., Zhang L. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium(VI) // Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2015. Vol. 306. No 1. P. 139–146.
15. Ren P., Yue Y., Wang K., Wu W., Yan Z. Synthesis and characterization of N,N,N',N'-tetraalkyl-4-oxaheptanediamide as extractant for extraction of uranium(VI) and thorium(IV) ions from nitric acid solution // Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2014. Vol. 300. No 3. P. 1099–1103.
16. Guo Xiang C., Chun Ji X. Hydrodynamic regime as a major control on localization of uranium mineralization in sedimentary basins // Science China Earth Sciences. 2014. Vol. 57. P. 2928–2933. 

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 10, pp. 13–18

DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.10.02](http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.10.02)

### Uranium treatment and production by underground leaching

#### Information about authors

**N. I. Lutsenko**<sup>1</sup>, Head of Production Department, [lutsenko.n.i@dalur.ru](mailto:lutsenko.n.i@dalur.ru)

**N. M. Ravshanov**<sup>1</sup>, Leading Engineer of Production Department

<sup>1</sup>Dalur JSC, Kurgan Region, Russia

#### Abstract

Dalur company produces uranium using the method of underground sulfuric acid leaching, and has both production and processing facilities. Underground leaching of uranium is a hydrometallurgical process based on controlled circulation of process solutions in an ore-bearing aquiferous stratum, selective in situ dissolution (leaching) of uranium from ore using chemical agents (sulfuric acid) and oxidizers (sodium nitrate, peroxide, aerial oxygen) and recovery of pregnant solutions to the ground surface via production wells. The key distinction of underground uranium leaching as against the conventional methods (opencast and underground mining) is dissolution of uranium and its transition to fluid state in place, without actual mining, by means of created pressure gradient and forced circulation of leaching solutions in an ore-bearing aquiferous stratum in the direction from injection wells to pumping-out wells. The subsequent processes are pumping out of pregnant solutions to the ground surface, processing of them and final production of natural uranium concentrate (ammonium polyuranate).

As compared with the common methods of mining (opencast and underground), underground leaching is advantageous for: considerable reduction in driveage, no need to transport, crush, mill and treat ore; preservation of undisturbed land; significantly shortened commissioning period of production facilities and accelerated development of design capacities; closed cycle of solutions; substantial reduction in environmental pollution, and some other factors.

Access to a producing (ore-bearing) stratum is obtained using two basic schemes: line-drive rectilinear and hexagonal. Using the underground leaching method allows more complete utilization of mineral resources as the scope of this process em-

braces low-grade ore while the conventional mining and treatment of such ores is unprofitable. At all process stages, including access and preparation, there is no dust formation, and discharge of radioactive elements in air is reduced by 10 times. The incommensurable scaling down of processing circuit is achievable owing to elimination of ore intaking and ore pre-treatment operations from the process flow chart. In such a manner, at low labor costs and financing, in a short run (in 4–5 years) starting from the production commencement, lands are brought back to agricultural tenure without impairment of fertility. The underground leaching technology is well-developed, and offers a controllable, safe and ecology-friendly method of production, applicable even under the most stringent environmental standards.

**Keywords:** geotechnology, underground leaching of uranium, pumping-out well, pregnant solutions, subsidence tanks, acidulation, production unit, processing of pregnant solutions.

#### References

1. Beletskiy V. I., Bogatkov L. K., Volkov N. I. et al. Uranium geotechnology reference book. Moscow : Energoatomizdat, 1997. 672 p.
2. Lutsenko I. K., Beletskiy V. I., Davydova L. G. Shaft free mining of ore deposits. Moscow : Nedra, 1986. 176 p.
3. Shemetov P. A., Glotov G. N. Theoretical basis of automated systems of underground uranium leaching geotechnology. *Gornyi Zhurnal*. 2011. No. 11. pp. 35–40.
4. Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. Uranium: geology, mining, economics. Moscow : Atomredmetzoloto, 2012. 301 p.
5. Perelman A. I. Geochemistry. Moscow : Vysshaya shkola, 1989. 527 p.
6. Glinkskiy M. L., Glagolev A. V., Drozhko E. G. et al. Methodological recommendations for the object monitoring of the soil state at the Rosatom State Corporation enterprises. Moscow : Center of contribution to the social-ecological initiatives of nuclear industry, 2010. 188 p.
7. Canada. *Mining encyclopedia*. Available at : <http://www.mining-enc.ru/k/kanada/> (accessed: 15.09.2016). (in Russian)



8. Raw-material complex of foreign countries. *Information-analytical center "Mineral"*. Available at : <http://www.mineral.ru/Facts/world/116/136/index.html> (accessed: 15.09.2016). (in Russian)
9. Filippov A. P., Nesterov Yu. V. Redox-processes and intensification of metal leaching. Moscow : "Ore and Metals" Publishing House, 2009. 543 p.
10. Standard materials for the object monitoring of the soil state at the Rosatom State Corporation enterprises and organizations. Moscow : Gidrospegeologiya, 2010. 64 p. (in Russian)
11. Samsonov B. G. Basis of the object monitoring of the geological environment at the enterprises specialized at prospect, mining and use of nuclear raw materials. Moscow : Center of contribution to the social-ecological initiatives of nuclear industry, 2010. 120 p.
12. Volkov V. P. Sorption processes of operating productions. Moscow : "Ore and Metals" Publishing House, 2014. 160 p.
13. Brusseau M. L., Carroll K. C., Carreón-Díazconti et al. Sulfate reduction in groundwater: characterization and applications for remediation. *Environmental Geochemistry and Health*. 2012. Vol. 34. pp. 539–550.
14. Meng H., Li Z., Ma F., Jia L., Wang X., Zhou W., Zhang L. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium(VI). *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. Vol. 306, No. 1. pp. 139–146.
15. Ren P., Yue Y., Wang K., Wu W., Yan Z. Synthesis and characterization of N,N,N',N'-tetraalkyl-4-oxaheptanediamide as extractant for extraction of uranium (VI) and thorium (IV) ions from nitric acid solution. *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2014. Vol. 300, No. 3. pp. 1099–1103.
16. GuoXiang C., Chunji X. Hydrodynamic regime as a major control on localization of uranium mineralization in sedimentary basins. *Science China Earth Sciences*. 2014. Vol. 57. pp. 2928–2933.

УДК 622.349.5:502/504

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ



**Д. О. ЕЖУРОВ<sup>1</sup>**, зам. директора, [ezhurov.d.o@dalur.ru](mailto:ezhurov.d.o@dalur.ru)



**Л. И. АБДРЯХИМОВА<sup>1</sup>**, инженер по охране окружающей среды

<sup>1</sup>АО «Далур», Курганская область, Россия

### Введение

На сегодняшний день из всех существующих методов добычи урана самым распространенным является метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) урана из гидрогенных месторождений. Имеющийся опыт промышленного применения метода ПСВ урана убедительно доказывает, что в экологическом и социально-экономическом отношении он обладает бесспорными преимуществами по сравнению с горными методами, часто называемыми традиционными. Связано это прежде всего с тем, что гидromеталлургический процесс извлечения урана из руд переведен в недра земли и осуществляется в замкнутом цикле, с использованием одного объема пластовых вод, при строгом соблюдении баланса закачиваемых и откачиваемых растворов. Соответственно метод ПСВ урана исключает многие экологически вредные процессы, такие, как вскрышные горные работы, осушение рудоносного горизонта, подъем руды на зем-

*Рассмотрены основные принципы работы по обеспечению экологической безопасности в процессе производственной деятельности АО «Далур». Проанализировано комплексное воздействие производства на все объекты окружающей среды.*

**Ключевые слова:** скважинное подземное выщелачивание, добыча урана, экологическая безопасность, окружающая среда, природные ресурсы.

**DOI:** [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.10.03](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.10.03)

ную поверхность, дробление и обогащение руд на поверхности, складирование откачиваемых пластовых вод, отходов обогащения, пустых пород и забалансовых руд на поверхности, проведение мероприятий по защите отвалов от размывания и выветривания [1–13].

Тем не менее с этим методом, хотя и в значительно меньшей степени, но все же связано загрязнение природных объектов, попадающих в сферу деятельности добывающих предприятий. Наибольшему отрицательному воздействию на окружающую среду при добыче урана методом ПСВ подвергаются водоносные горизонты артезианских бассейнов, в значительно меньшей мере техногенное воздействие оказывается на воздушный бассейн и почвенный покров [1–7].

### Общие сведения

Основным видом деятельности АО «Далур» является добыча урана методом ПСВ. Предприятие является единственным в Уральском федеральном округе, занимающимся освоением ресурсов Зауральского ураново-рудного района, представленного, кроме Далматовского, также Хохловским и Добровольным место-