Заключение

Исследуя и анализируя общие тенденции развития методик инженерного (строительного) проектирования, можно сделать вывод, что BIM – это актуальный вектор развития данного направления. «*По оценкам Autodesk, примерно 17 % отечественных архитектурно-строительных компаний уже используют BIM. В России компания прогнозирует как минимум трехкратный рост в ближайшие два года. BIM будет расширять свою сферу влияния от проектирования к строительству и эксплуатации*» [5]. Для любого предприятия, нацеленного на функционирование и развитие, важны не только актуальность выполняемых задач, но и современные применяемые для этого решения. «*В любом случае BIM – это окупающаяся и прежде всего указывающая путь в будущее инвестиция в собственное знание. Чем больше BIM живет и используется на практике, и чем чаще и шире внедряется идея BIM, тем больше пользы могут извлечь из этого все участники, и тем больше теряет свою «теоретическую тяжесть» в повседневной работе проектных бюро и превращается в нечто само собой разумеющееся, как это уже произошло с черчением на компьютерах в сравнении с использованием чертежной доски*» [6].

Поэтому следует полагать, что проектный институт АО «ВНИПИпромтехнологии» следует правильному курсу развития, поддерживая и повышая конкурентоспособность на рынке проектирования, и обеспечивает возможность ведения успешной и прибыльной проектной деятельности.

Библиографический список

1. *Овсянникова А., Сазонов О.* Что такое BIM: простыми словами о сложной технологии в проектировании зданий. 2018. URL: https://softculture.cc/blog/entries/articles/bim-likbez (дата обращения: 15.12.2020).
2. *Куликова С., Талапов В.* Внедрение BIM: проблема формализации процессов и учет возраста организации. 2015. URL: https://ardexpert.ru/article/5000 (дата обращения: 15.12.2020).
3. *Степаниченко А.* 7 причин обучать проектировщиков новым технологиям САПР / ООО «ГК ИНФАРС», 2016. URL: https://infars.ru/blog/7-reason-to-study/ (дата обращения: 19.12.2020).
4. Agile-манифест разработки программного обеспечения. 2001. URL: https://agilemanifesto.org/iso/ru/manifesto.html (дата обращения: 15.12.2020).
5. Использование BIM на всех этапах жизненного цикла зданий // Рациональное управление предприятием. 2013. № 5-6. С. 82–84.
6. *Niedermaier A., Bäck R.* Allplan. BIM-Kompendium. Theorie und Praxis basierend auf dem offiziellen Release IFC4. Aktualisierte und erweiterte Auflage. – München : Allplan GmbH, 2016. – 347 s.
7. *Фещенко Е. К., Вилкова К. И., Фещенко Д. Е.* BIM-технологии в строительстве как инструмент обеспечения надежности профессиональной деятельности // Евразийское научное объединение. 2019. № 11-2(57). С. 145–148. ГЖ

УДК 622.277:001.89

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «ВНИПИПРОМТЕХНОЛОГИИ» В ОБЛАСТИ ДОБЫЧИ УРАНА МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Ю. В. КУЛЬТИН, *канд. геол.-минерал. наук*

Е. Н. КАМНЕВ, *ученый секретарь, проф., д-р геол.-минерал. наук, kamnev.e.n@vnipipt.ru*

А. И. РЫБАЛЬЧЕНКО, *ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук*

АО «ВНИПИпромтехнологии», Москва, Россия

Освещены многолетние научные исследования и проектные работы АО «ВНИПИпромтехнологии» по внедрению прогрессивной технологии скважинного подземного выщелачивания (СПВ) урана на предприятиях бывшего СССР. Описаны преимущества данного способа и результаты его реализации при освоении урановых месторождений на объектах АО «Хиагда» (Бурятия) и АО «Далур» (Зауралье).

Ключевые слова: *подземное выщелачивание, технология, продуктивный раствор, эксплуатационные скважины, окислители.*

Введение

В АО «ВНИПИпромтехнологии» (ранее «ПромНИИпроект») работы по подземному выщелачиванию (ПВ) были начаты в 1960 г. и продолжаются по настоящее время.

Впервые вопрос о выщелачивании руд подземными водами на отечественных месторождениях был рассмотрен при разработке программы гидрогеологических исследований в Кызылкумах, составленной в 1960 г. специалистами ВНИПИпромтехнологии П. П. Костиным и А. И. Калабиным. В этой программе в числе других были поставлены следующие задачи:

- обобщение материалов по вопросам выщелачивания урановых руд подземными водами;

© Культин Ю. В., Камнев Е. Н., Рыбальченко А. И., 2021

• разработка методики лабораторного моделирования процессов выщелачивания и полевых наблюдений за выщелачиванием на месторождении;

• организация режимных наблюдений в связи с работой водопонизительных скважин и шахтного водоотлива;

• разработка детальной программы дальнейших исследований для обоснования прогноза потерь полезного компонента при различных схемах осушения месторождения.

К середине 1962 г. ответственным исполнителем П. П. Костиным были составлены программа и методика работ по теме «Исследование способов добычи урана подземным выщелачиванием» на примере месторождения в Кызылкумах. Научным руководителем темы был назначен д-р геол.-минерал. наук А. И. Калабин [1].

С января 1966 г. была обоснована разработка способа ПВ в лабораториях института. Научными руководителями темы «Исследование вопросов разработки месторождений в осадочных горных породах способом подземного выщелачивания» были назначены В. П. Новик-Качан и Н. В. Губкин. Исследования по этой теме вели в течение четырех лет. Кроме того, в эти же годы разрабатывали тему «Исследование перспектив применения способа подземного выщелачивания металла» под научным руководством В. П. Шулики и В. А. Мамилова.

Специалистами научно-исследовательского отдела № 25, которым руководил М. К. Пименов, был выполнен большой объем научно-исследовательских и проектных работ, результаты которых были представлены в виде отчетов, методик, технических схем опытных участков, ТЭО, проектных заданий и технических проектов. При этом головным подразделением при выполнении проектных работ выступала научно-исследовательская лаборатория № 5, входившая в состав отдела № 25.

Сотрудниками НИЛ-5 был разработан гидродинамический стенд, который позволял моделировать процесс ПВ в условиях максимального приближения к натурным условиям при расстоянии между скважинами до нескольких десятков метров и наблюдать при этом ход процесса выщелачивания и все сопутствующие ему явления. Авторами этого стенда были Ю. В. Культин, Г. Н. Бабаджанян и В. П. Новик-Качан.

Развитие технологии добычи урановых руд методом подземного выщелачивания

В 1970-х годах впервые были осуществлены проекты промышленной разработки забалансовых и убогих по содержанию урана руд способом подземного выщелачивания.

На месторождении Девладово, а затем и на рудниках Учкудука были созданы опытные участки ПВ урана через технологические скважины непосредственно из рудных залежей. Разработаны и рекомендованы эффективные конструкции технологических скважин, а также параметры размещения этих скважин, определено расстояние между ними, что оказало существенное влияние на повышение экономической эффективности добычи урана этим способом [2].

Все опытные, опытно-промышленные, промышленные участки и рудники ПВ были запроектированы и построены по проектам института «ВНИПИпромтехнологии» и его филиалов. Разработаны основы проектирования предприятий подземного выщелачивания, необходимые нормативные документы.

За прошедший период институтом совместно с другими предприятиями Минсредмаша СССР и затем Росатома России был выполнен большой объем научно-исследовательских и проектных работ, обеспечивших промышленное использование технологии ПВ для извлечения урана.

Опыт показал, что технология подземного выщелачивания обеспечивает:

• комплексное использование недр, извлечение основных и сопутствующих компонентов руд;

• перевод в категорию активных огромных запасов бедных и забалансовых руд, считавшихся таковыми для традиционных горных методов отработки месторождений, вовлечение их в отработку с высокой экономической эффективностью;

• внедрение комплексной механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов;

• значительное снижение материало- и энергоемкости производства по сравнению с традиционными горными способами добычи;

• повышение производительности труда на добычных комплексах рудников ПВ, снижение общих и удельных капиталовложений;

• значительную минимизацию отходов производства и практически полную безопасность работ;

• существенное уменьшение загрязнения окружающей среды.

Эти положительные характеристики технологии подземного выщелачивания определили интенсивный рост добычи урана методом ПВ в бывшем СССР. К 1990 г. в промышленной эксплуатации находились такие крупные месторождения, как Учкудук, Северный и Южный Букинай, Кетменчи, Сугралы, Уванас, Конжуган и ряд других. Способом ПВ получали около 40 % общего количества урана, добываемого в СССР. С учетом этой динамики ожидалось, что к 2000 г. объемы применения ПВ должны были достигнуть уровня традиционных горных методов.

Добычу урана методом ПВ в промышленном масштабе осуществляли на 13 месторождениях, а еще на 10 проводили опытные и опытно-промышленные работы с целью организации на них промышленной добычи. Практически все рудники ПВ на месторождениях урана были построены по проектам института «ВНИПИпромтехнологии» и его филиалов.

Двадцать месторождений с наиболее благоприятными для ПВ условиями были расположены в основном в трех среднеазиатских провинциях: Чу-Сарысуйской, Кызылкумской и Сырдарьинской. Руды всех этих месторождений приурочены к морским хорошо отсортированным пескам, образующим мощные и распространенные на десятки километров водоносные горизонты. Примерно 60 % запасов урана в этих месторождениях сосредоточены в рудных телах на глубинах до 300 м и 40 % – на глубинах 300–700 м. Добычу урана на них осуществляли по схеме, показанной на **рис. 1**.

Одновременно с ростом промышленной добычи урана методом ПВ разрабатывали и совершенствовали его научно-технические основы. К отличительным признакам технологии

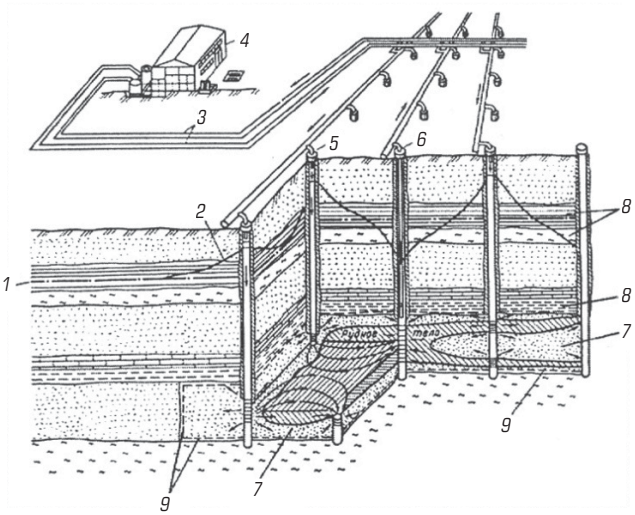

Рис. 1. Схема отработки месторождений урана способом ПВ:
1 – статический уровень подземных вод; *2* – динамический уровень; *3* – трубопровод; *4* – цех СПВ; *5* – закачные скважины; *6* – откачные скважины; *7* – рудовмещающий горизонт; *8* – водоупорные породы; *9* – граница растекания выщелачивающих растворов

СПВ, используемой на месторождениях бывш. СССР, в том числе и на предприятиях России, относятся следующие.

1. Трехэтапная последовательность освоения технологии ПВ, осуществляемая параллельно со стадиями разведки месторождения. На первом этапе (предварительная разведка) проводят опробование выщелачиваемости руд без переработки продуктивных растворов. На втором этапе (детальная разведка) осуществляют опытную или опытно-промышленную отработку представительного участка месторождения с полной переработкой растворов. На третьем этапе (промышленная эксплуатация месторождения) усовершенствуют технологию ПВ применительно к данному участку с учетом его особенностей, а также особенностей других участков месторождения. Такая последовательность выполнения работ позволила свести к минимуму риск неоправданных затрат на освоение месторождений.

2. Редкая сеть эксплуатационных скважин, характеризуемая, за редким исключением, расстояниями между закачными и откачными скважинами 50 м. Для сравнения отметим, что на месторождениях США эти расстояния колеблются в пределах 12–30 м. Это означает, что при отработке одинаковой площади месторождения число эксплуатационных скважин и затраты на их сооружение в 3 раза меньше.

3. Прямоугольная форма ячейки эксплуатационной сети скважин, приходящейся на откачную скважину. Размеры ячейки составляют: по ширине 25 м (расстояние между откачными скважинами в их ряду) и по длине 100 м (расстояние между рядами закачных скважин) или 50 м (между рядами откачных и закачных скважин). Такая форма ячейки, как установлено расчетами, является оптимальной, поскольку при сохранении площади ячейки и сжатии прямоугольника до квадрата (эта форма ячейки наиболее распространена на месторождениях США) структура потока выщелачивающих растворов в ячейках становится менее однородной, что ведет к неравномерной отработке ее площади и увеличению объемов разубоживающих растворов. При растяжении же прямоугольника, т. е. при увеличении отношения длины ячейки к ее ширине происходит рост гидравлического сопротивления движению выщелачивающих растворов в ячейке с соответствующим увеличением затрат энергии на перекачку через нее этих растворов.

4. Использование полиэтилена в качестве основного конструктивного материала для изготовления средств технического оснащения добычных участков ПВ, в том числе обсадных труб скважин, их фильтров, разводящих и магистральных трубопроводов, шлангов, фитингов и др.

5. Использование в качестве выщелачивающих растворов слабоконцентрированных (в среднем не более 10 г/л) растворов серной кислоты. Применение сернокислотных растворов, в отличие от бикарбонатных, широко используемых при ПВ в США, позволяет более интенсивно вести процесс выщелачивания, получать более насыщенные ураном продуктивные растворы и отрабатывать участки с убогим содержанием урана в рудах. В экологическом отношении преимущества бикарбонатных растворов нельзя признать достаточно существенными, так как уже на сравнительно небольших расстояниях от границ добычных участков (порядка 30–50 м) при растекании сернокислотных растворов происходит их естественная нейтрализация.

Таковы наиболее характерные отличия технологии СПВ, используемой и ныне в Казахстане и Узбекистане, от зарубежных аналогов.

Примером высокоэффективной добычи урана методом ПВ является отработка месторождения Уванас (Чу-Сарысуйская провинция в Казахстане). Здесь к середине 1980-х годов после достижения проектной производительности стоимость урана составила 11–13 руб/кг, и это в неосвоенном полупустынном районе, когда затраты на созданную инфраструктуру (дороги, жилье, системы жизнеобеспечения) полностью отнесены на себестоимость добычи. На предприятиях с традиционной схемой добычи она редко опускалась ниже 40 руб/кг.

Параллельно с ростом промышленного производства увеличивался и объем научно-исследовательских работ в АО «ВНИПИпромтехнологии». Предполагалось довести до промышленного внедрения широкий перечень перспективных разработок, ранее апробированных в лабораторных и полевых опытных и опытно-промышленных условиях. К наиболее значимым и актуальным до настоящего времени можно отнести системы отработки с использованием газонасыщенных растворов (**рис. 2**); методы изготовления искусственных и протяженных коллекторов и водоупоров с использованием технологии гидроразрыва пласта; электрофизические методы декольматации скважин и интенсификации ПВ (**рис. 3**); управление потоками растворов путем изменения режимов работы геотехнологических скважин (пульсирующий режим, реверсирование и др.); способы перевода и извлечения из продуктивных растворов сопутствующих полезных компонентов; высокопроизводительные сорбционные аппараты; специализированную буровую установку; высокопрочные трубы из металлопласта,

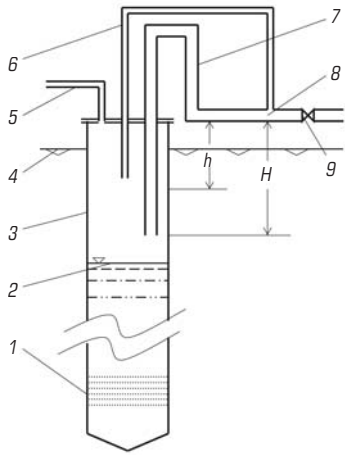

Рис. 2. Схема приготовления и подачи газонасыщенных растворов:
1 – фильтр геотехнологической скважины; *2* – уровень воды в скважине; *3* – рабочая колонна скважины; *4* – поверхность земли; *5* – шланг для подачи газа в скважину; *6* – шланг для подачи газа к узлу смешивания; *7* – газорастворопроводящий шланг; *8* – узел смешивания газа с раствором; *9* – кран для регулирования подачи растворов в скважину; *h* – высота водяного столба в шланге, соответствующая гидравлическому сопротивлению газорастворопроводящего шланга; *H* – глубина размещения нижнего конца газорастворопроводящего шланга относительно узла смешивания в геотехнологической скважине

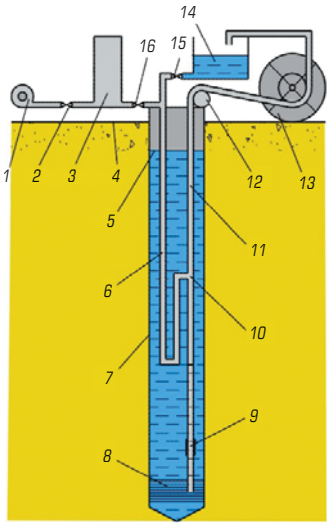

Рис. 3. Схема устройства макропневмоимпульсного воздействия на скважину для восстановления ее производительности и для отбора проб жидкости из глубоких скважин:
1 – компрессор; *2* – вентиль; *3* – емкость-накопитель; *4* – поверхность земли; *5* – уровень подземных вод; *6* – шланг; *7* – обсадная труба скважины; *8* – фильтровая зона; *9* – груз на шланге; *10* – тройник; *11* – шланг; *12* – блок-баланс; *13* – барабан; *14* – сливной бак; *15*, *16* – вентили

стеклопластика и др.; импульсные установки для раскольматации; мобильный комплекс приготовления и переработки растворов ПВ производительностью до 250 м^3/ч; АСУТП рудников ПВ; комплекс мероприятий по охране окружающей среды, включающий оценку возможности естественной деминерализации остаточных растворов, очистку их по мембранной технологии, способы хранения и захоронения вредных веществ и отходов; разработка технологии обработки скальных руд методом подземного блочного выщелачивания и др.

Накопленный опыт продолжают использовать в АО «ВНИПИпромтехнологии» при проектировании рудников ПВ на месторождениях России и для совершенствования технологии их отработки.

С участием специалистов института было издано 7 крупных монографий по различным аспектам освоения технологии подземного выщелачивания, выпущен ряд брошюр, опубликовано большое число статей в ведущих горных журналах и специальных сборниках. За это время было получено более 100 авторских свидетельств и патентов по тематике подземного выщелачивания. Государство по достоинству оценило труд ведущих специалистов, многие из которых стали лауреатами Государственной премии СССР.

Достижения в области освоения технологии СПВ

На современном этапе развития урановодобычи в пределах Российской Федерации по проектам института «ВНИПИпромтехнологии» работают два предприятия – АО «Далур» (Зауралье) и АО «Хиагда» (Бурятия) [3, 4].

Проектирование разработки Хиагдинского урановорудного поля было начато в 2000 г. Проекты включали отработку месторождений Источное и Вершинное. Сейчас к ним присоединяется месторождение Количкан.

Здесь применяют все передовые наработки прежних лет: производство собственной серной кислоты, интенсификацию технологических процессов с помощью введения в выщелачивающий раствор окислителей (озон, нитрит натрия), широкое использование ЛСУ (локальных сорбционных установок).

На АО «Хиагда» с участием специалистов института реализуется идея создания «умного рудника» – внедрение автоматизации и IT-управления всеми технологическими операциями.

Дополнительно разрабатывают технологию извлечения скандия из получаемых продуктивных растворов.

Аналогично развивают проектные работы и на АО «Далур», также проводимые в институте с 2000 г.

Здесь в добычу урана методом ПВ вовлечены месторождения Далматовское и Хохловское. На очереди – месторождение Добровольное.

Наряду с другими технологиями на АО «Далур» внедрены осушка «желтого кека», а также попутное извлечение скандия.

Суммарно АО «Хиагда» и АО «Далур» дополнительно к объемам добычи урана традиционным горным способом на ПАО «ППГХО» поставляют атомной отрасли, соответственно, 1500 и 800 т окиси-закиси урана ежегодно.

Библиографический список

1. Разработка рудных месторождений физико-химическим и микробиологическим методами. – М. : Атомиздат, 1969. – 375 с.
2. Добыча урана методом подземного выщелачивания / под редакцией В. А. Мамилова. – М. : Атомиздат, 1980. – 248 с.
3. Геотехнология урана (российский опыт) / под ред. И. Н. Солодова, Е. Н. Камнева. – М. : КДУ, 2017. – 576 с.
4. *Святецкий В. С.* Мы будем добывать уран в России на «умных» месторождениях. 2019. URL: https://ria.ru/20190812/1557356892.html (дата обращения: 15.09.2020). ГЖ