

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

РУДНЫЙ ЖУРНАЛ

194 ^{год}

Издается с 1825 года
(№ 2261)

4.2019



Шахтоуправление «Талдинское-Западное» АО «СУЭК-Кузбасс».
Памятник шахтерскому братству

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Трубецкой К. Н., Захаров В. Н., Галченко Ю. П.** О геотехнологической парадигме подземной разработки кимберлитовых труб 4
- Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Юн А. Б., Терентьева И. В.** Становление нового технологического уклада комплексного освоения недр при истощении балансовых запасов месторождений 11

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

- Панкратьев П. В., Теплякова Е. В., Степанов А. С., Коломоец А. В.** Основные направления исследований гидроминеральных ресурсов в районах нефтедобычи (на примере западной части Оренбургской области) 15

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

- Бедарев Н. Т., Любимов О. В., Шайхисламов А. Р., Григорьева Н. В.** Особенности проявлений горного давления при отработке новых угольных месторождений Кузбасса 19
- Говорухин Ю. М., Риб С. В., Никитина А. М., Фрянов В. Н.** Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли 23

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

- Копытов А. И., Першин В. В., Фадеев Ю. А., Вети А. А.** Исследование воздействия динамических нагрузок на конструкцию предохранительных устройств при углубке скиповых стволов 27

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

- Печенкин В. Г., Печенкина А. В.** О перспективах разработки россыпных месторождений золота дражным способом 32
- Нургалиев Р. З., Козикин Р. А., Фаттахов И. Г., Кулешова Л. С.** Перспективы применения новых технологий при оценке влияния геолого-технологических рисков 36
- Лапаев В. Н., Пикалов В. А., Терешина М. А., Соколовская О. А.** Применение контрольных карт при оценке эффективности функционирования и развития горнодобывающего предприятия 41

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

- Усманов Р. И.** К вопросу извлечения полезных компонентов методом подземного выщелачивания из малообводненных, слабопроницаемых и карбонатных руд 44
- Ахмедьянов И. Х., Маннанов А. Ш., Котенков А. В., Красавин А. В.** Особенности многоярусной технологии при разработке Ново-Учалинского месторождения 49

ПЕРЕРАБОТКА И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

- Сазонов А. М., Звягина Е. А., Сильянов С. А., Бабенков Д. Е.** Изучение форм нахождения золота в рудах и хвостах ЗИФ Олимпиадинского ГОКа 54
- Ожогина Е. Г., Пирогов Б. И., Горбатова Е. А.** Минералогическая оценка труднообогатимого рудного сырья (на примере железных руд и отходов обогащения) 59

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

- Бойко П. Ф., Титиевский Е. М., Тимирязев В. А., Мнацаканян В. У.** Повышение долговечности и диагностика состояния броней конусных дробилок большой единичной мощности 65
- Шешко Е. Е.** Влияние величины прижимного усилия на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой на его работоспособность и основные параметры 69
- Шешко Е. Е., Атакулов Л. Н.** Определение модуля упругости резиновых конвейерных лент 73

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО. АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Алтаева А. А., Мамганова Л. С., Жирнов А. А.** Создание цифровой модели поверхности Орловского месторождения с применением геоинформационных технологий 77

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

- Левин Л. Ю., Бутаков С. В., Клюкин Ю. А., Попов М. Д.** Исследование теплофизических свойств воды и пропиленгликоля в качестве теплоносителей рудничных систем кондиционирования воздуха 81
- Копылов К. Н., Кубрин С. С., Решетняк С. Н.** Повышение уровня энергоэффективности и безопасности выемочного участка угольной шахты 85

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Михайлов В. Г., Галанина Т. В., Михайлова Я. С.** Исследование динамики образования и использования отходов углеперерабатывающего предприятия 89

НОВАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Сычев Ю. И.** О монографии И. В. Волуева «Энциклопедия камня» 94

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Благодарность Президента РФ коллективу НИТУ «МИСиС» . . . 18
- Мальгин О. Н.** Международная научно-техническая конференция «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса» 95
- Еременко В. А.** Итоги работы Технического совета по геомеханике 97
- Памяти Беломоина Виталия Васильевича (1919–1983) 53
- Памяти Латышева Олега Георгиевича 80
- Памяти Хромина Вячеслава Васильевича 93

РЕКЛАМА

- На обложке:**
IMWA-2019 – Международная конференция «Шахтные воды: экономические и экологические вызовы»
ООО «ГЕОБРУГ»

- На цветных вкладки:**
АО «Машиностроительный холдинг»
ООО «Автотехинмаш»
ООО «Веир Минералз РФЗ»
Факторы успеха Михеевского ГОКа
АО «Шадринский автоагрегатный завод»
Компания «Тестмес SpA»
Тружнов Л. И. Расширение линейки карьерных самосвалов БЕЛАЗ грузоподъемностью 90 т.
Экономические преимущества данных моделей

УДК 622.234.44:622.349.5(575.1)

К ВОПРОСУ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ИЗ МАЛООБВОДНЕННЫХ, СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ И КАРБОНАТНЫХ РУД

Р. И. УСМАНОВ, руководитель группы инновационного центра,
r.usmanov@ngmk.uz

ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан

Введение

Метод подземного выщелачивания (ПВ) позволяет извлекать полезные компоненты из глубокого рудного тела путем их избирательного растворения на месте залегания и последующей доставке на поверхность в виде химических соединений, образованных в зоне реакции [1–11].

Рудное тело вскрывают системой нагнетательных скважин, располагаемых в плане рядами, многоугольниками, кольцами. В скважины подают реагент, который, фильтруясь по рудному телу, выщелачивает и переводит в продуктивный раствор полезные компоненты. Последний через систему технологических скважин, объединенных в ячейки и блоки, откачивают на поверхность для дальнейшей переработки. В ее процессе из продуктивного раствора извлекают содержащиеся в нем компоненты, а оставшиеся маточные растворы доукрепляют выщелачивающим реагентом и снова подают в нагнетательные скважины в качестве рабочего раствора. Таким образом цикл выщелачивания повторяется.

Обычно в эксплуатацию методом ПВ вовлекают экзогенные месторождения, рудные тела в которых находятся в хорошо проницаемых, обводненных, песчаных продуктивных горизонтах. Добыча полезных ископаемых методом ПВ из малообводненных (или даже сухих) горизонтов, рудные тела которых локализованы в слабопроницаемых, известковистых, высококарбонатных и заглинизированных песчаниках, изучена недостаточно. В связи с этим представляют интерес результаты проведенных в период 1980–1994 гг. опытных исследований по подземному выщелачиванию урана из высококарбонатных, с прослоями глин и алевритов, слабопроницаемых руд залежи № 3 месторождения Сугралы в Узбекистане.

Для достижения поставленных в исследованиях целей был разработан программный комплекс [12], основанный на решении двумерной задачи геомиграции и геофильтрации на основе математической модели взаимопроникающих и взаимодействующих сплошных сред: первой фазы – жидкости и второй – скелета породы [13]. Движение жидкости в пористой среде безынерционно и подчиняется закону Дарси. Предполагается, что в нагнетательных скважинах и вблизи них растворы вступают в реакцию с породами и образуют незначительные кольматации или закупоривания. Концентрация компонента-реагента в каждом элементарном объеме одинакова, что позволяет описывать рассматриваемые процессы в рамках двухкомпонентной модели [14].

Приводятся результаты ранее проведенных исследований по подземному выщелачиванию урана на опытных участках залежи № 3 месторождения Сугралы (Узбекистан).

Ключевые слова: подземное выщелачивание урана, гидроразрыв пласта, реверсирование потоков, математическое моделирование, геодинамика, геохимия.

DOI: 10.17580/gzh.2019.04.10

Характеристика объекта исследования

Геология района. Сугралинское рудное поле расположено в краевой части Бешбулакской впадины, примыкающей к Тамдынскому горсту. В Чарыктинском разломе северо-западного простирания, проходящем по центру рудного поля, главная роль принадлежит блочной тектонике. Смещение блоков по верхней амплитуде составляет от 10 до 150 м. Геологические образования подразделяются на два четких структурных этажа: палеозойский, образующий фундамент, сложенный консолидированными осадочно-вулканогенными и интрузивными породами нижнего и верхнего палеозоя; и мезокайнозойский (покров), представленный слабометаморфизованными осадочными породами верхнего мела, палеогена, неогена и антропогена.

Мощность отложений мезозоя и кайнозоя увеличивается в направлении от гор Тамдытау к центру Бешбулакской впадины. Максимальная мощность имеет место в Джаманкумском прогибе (примерно 1000 м), который на востоке граничит с Тамдынским горстом. Оруденение Сугралинского рудного поля относится к инфильтрационному типу и локализуется в водоносных горизонтах верхнего мела. На западе залежи рудовмещающими являются Маастрихтский и Сугралинский горизонты. На востоке залежи руду вмещает Маастрихтский горизонт.

Гидрогеологические условия. В гидрогеологическом отношении площадь Сугралинского рудного поля расположена на юго-восточном крыле крупного артезианского бассейна. В обводнении разреза участвуют горизонт грунтовых вод в верхнем палеогене – антропогене и 5 горизонтов напорных вод: сарбатырский, льялканский, рудовмещающий, сеноманский и палеозойский.

Горы Тамдытау являются местной областью питания водоносных горизонтов, создающей гидростатические напоры в горизонтах межпластовых вод. Движение подземных вод происходит от этих гор в северо-западном направлении, в сторону общего погружения палеозойского фундамента и падения пластов покрова.

Залежь № 3 расположена в сводовой части Сугралинской антиклинали, поэтому сарбатырский горизонт выступает здесь

выше уровня подземных вод и является сухим; отложения льявляканского водоносного горизонта в районе залежи № 3 отсутствуют; Сеноманский водоносный горизонт гидравлически связан с палеозойским водоносным горизонтом и образует вместе с ним водоносный комплекс.

Водообильность и водопроницаемость комплекса крайне неравномерная. Удельные дебиты изменяются от 0,005 до 3–4 м/сут. На большей части рудного поля массив представлен существенно водоупорными породами.

Рудовмещающий водоносный горизонт является сложнопостроенным и делится на два подгоризонта: маастрихтский (верхний) и сугралинский (нижний). Верхний подгоризонт имеет преимущественное распространение на площади рудного поля, нижний — развит в пределах западной части рудного поля и выклинивается к его центру.

Литологическое строение маастрихтского подгоризонта следующее: в верхней части разреза залегают мелкозернистые, реже — тонкозернистые пески, которые сменяются известковистыми песками с прослоями песчаников на известковистом цементе; нижняя часть разреза сложена почти исключительно известковистыми песчаниками. Мощность отложений в зависимости от структурных условий колеблется от 6 до 18 м.

Сугралинский водоносный подгоризонт имеет более сложное литологическое строение. Преобладающими в разрезе являются мелкозернистые, реже — среднезернистые пески мощностью 10–25 м с прослоями глин и алевроитов. В основании разреза обычно залегают песчаники на известковистом цементе. В кровле горизонта залегают влагоемкие, практически безводные глинистые песчаники нижнего эоцена мощностью 1–5 м, выше которых распространяются выдержанные по мощности и площади мергели и мергелистые глины кендыктюбинского и джейрантурского горизонтов нижнего турона мощностью 30–35 м. Глубина залегания кровли зависит от геолого-структурных условий площади. В пределах залежи № 3 эта глубина составляет 200–420 м и увеличивается к юго-западу. Пьезометрические уровни подземных вод в пределах западной части залежи находятся на глубине 130–170 м.

Напор на кровлю рудовмещающего горизонта составляет от 70 до 330 м. Проницаемость горизонта является слабой, проводимость также невысокая. По степени водообильности сугралинский подгоризонт резко отличается от маастрихтского (табл. 1). Коэффициент фильтрации маастрихтского подгоризонта гораздо ниже такового у сугралинского. Большое значение имеет степень карбонатности и глинистости песчаных отложений. В целом водообильность и водопроницаемость отложений рудовмещающего горизонта характеризуется неравномерностью в вертикальном разрезе и по площади.

В статических условиях, до начала водопонижительных работ, уровни подземных вод находились в отметках 146–147 м, а естественное направление потока было западным и северо-западным с расчетной скоростью 8–12 м в год. В результате многолетнего шахтного водоотлива поток подземных вод изменил свое направление на северо-восточное, и пьезометрические уровни подземных вод на залежи № 3 значительно понизились до 180–182 м.

Таблица 1. Гидрогеологические характеристики рудовмещающего горизонта

Гидрогеологические параметры	Маастрихтский подгоризонт	Сугралинский подгоризонт
Удельные дебиты, л/с	0,022–0,127	0,045–0,16
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,21–1,1	1,2–3,2
Проводимость, м ² /сут	5,2–16,8	18,5–19,1
Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут	1–4,1	3–5,1

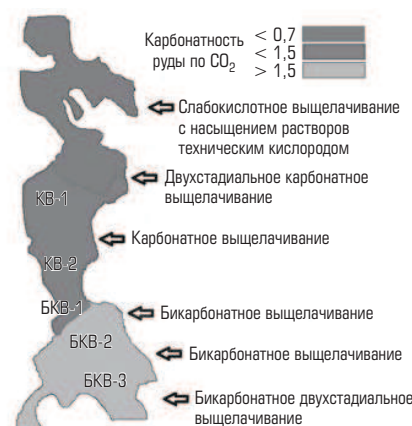


Рис. 1. План залежи № 3 с вещественной характеристикой руды и пространственным распределением применяемых способов ПВ: КВ и БКВ – блоки карбонатного и бикарбонатного выщелачивания соответственно

Морфология рудного тела. Залежь представляет собой рудный ролл с мощной мешковой частью и сравнительно маломощными крыльями, который локализуется в породах Сугралинского горизонта. В плане залежь представляет собой непрерывную полосу забалансовых руд, вытянутую в направлении с С–СВ на Ю–ЮЗ (рис. 1). Рудное поле имеет несколько плавных изгибов по границе выклинивания окисленных пород. Вся залежь характеризуется низкими содержаниями полезного компонента, равномерно распределенного во всех морфологических элементах, причем относительно высокие содержания отмечаются в виде узких полос, вытянутых вдоль границ зоны пластового окисления. Средние мощности рудного тела: мешковая часть — 3,39 м, верхнее крыло — 1,31 м, нижнее крыло — 1,52 м.

Вещественный состав рудовмещающего горизонта. Руда залежи № 3 сложена главным образом песками и известковистыми песчаниками Маастрихтского и Сугралинского горизонтов. Песчаные разности представлены мелко- и тонкодисперсными обломочными и аутогенными минералами. Содержание тонкого глинистого минерала в рудах изменяется от 15 до 26,2 %, а в нижнем крыле присутствуют линзы и обрывки глин. Тонкий глинистый материал является цементирующей массой песчаных пород. В карбонатных разностях главную роль цементации играет кальций.

Рудные минералы представлены урановыми чернями, преимущественно в тонкозернистых песках с мелкими включениями окатышей глин. Черни обволакивают песчаные и алевролитистые частицы. Текстура песков косослоистая.

На севере залежи карбонатность руды низкая (до 0,7 %), на юге, особенно в верхнем крыле, — высокая (до 5 %) (см. рис. 1). По составу руда преимущественно алюмосиликатная (табл. 2).

Геотехнологические особенности и результаты отработки залежи методом ПВ

С 1979 г. началась опытно-эксплуатационная отработка залежи № 3 способами кислотного, карбонатного и бикарбонатного выщелачивания.

Соединения шестивалентного урана U^{6+} легко переходят в рабочие растворы, а растворение соединений четырехвалентного урана U^{4+} затруднено. Ускорение этого процесса достигается повышением окислительно-восстановительного потенциала Eh рабочих растворов, в связи с чем приобретают значение потенциалобразующие компоненты минерализации воды, среди которых главными являются кислород и трехвалентное железо; его растворимость в воде достигает 10 мг/л. Повышая Eh воды, кислород способствует переводу U^{4+} в U^{6+} . Кислотность среды инициировалось подачей кислорода или перекиси водорода.

Ввиду низких пьезометрических уровней (порядка 180–182 м в относительных отметках) подземных вод на залежи был затруднен подъем технологических растворов. Для откачки использовали дорогие и несовершенные погружные насосы в коррозионностойком исполнении (вместо обычно применявшегося насоса эрлифтного раствороподъема). Кроме того, низкие уровни подземных вод затрудняли освоение технологических скважин и различные работы по восстановлению их продуктивности (прокачки, кислотные обработки и т. п.). Гидродинамический режим залежи за время эксплуатации искусственно изменялся. Соблюдать правило метода ПВ — баланс откаченных и закаченных растворов — не представлялось возможным ввиду низких уровней подземных вод. Количество закаченных растворов всегда превышало количество откаченных, поэтому на площади залежи начали постепенно формироваться в купол депрессии. Закачка велась с дисбалансом в сторону увеличения, что позволило повысить уровни на 10–15 м, а затем в 1986 г. с вводом в эксплуатацию заводнения посредством гидроразрыва продуктивного пласта — до 135–136 м. В период интенсивной эксплуатации полигона на обрабатываемой площади выделились 4 депрессионных купола на севере, в центральной части и на юге, с абсолютными отметками на глубине 129–131 м (рис. 2). В левом контуре залежи, в районе наблюдательных скважин № 44 и 51 (Н 44 и Н 51) образовалась депрессионная воронка из-за интенсивной откачки (см. рис. 2).

Повышению уровней подземных вод способствовало освоение технологических реверсивных скважин (эрлифтный раствороподъем), проводить ремонтные работы и осуществлять технологическую откачку продуктивных растворов. Чтобы освоить залежи от центра к югу потребовалось внести изменения в технологию отработки.

Как отмечалось выше, к югу залежи резко меняются вещественные и гидрогеологические характеристики руд и рудовмещающих пород. Также изменяется и морфология рудного тела, почти исчезает нижнее крыло, а верхнее крыло залегает в крепких песчаниках, не поддающихся инфильтрационному выщелачиванию.

Таблица 2. Химический состав руд

Содержание компонентов, %:	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	S _{общ}	P ₂ O ₅
Минимальное	65,9	3,57	0,74	0,19	0,7	0,28	0,03	0,01
Максимальное	80,0	8,88	2,38	0,92	4,47	0,88	2,72	0,54
Среднее	74,2	6,44	1,42	0,61	1,37	0,54	0,72	0,13



Рис. 2. Гидродинамическая обстановка на залежи № 3 на 01.12.1986 г. — наблюдательные скважины

В освоении залежи от центра к югу потребовалось изыскать нетрадиционные методы ее отработки.

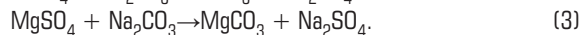
На ранней стадии опытных испытаний для выщелачивания урана использовали растворы с содержанием карбоната (5 г/л) и бикарбоната калия (4 г/л), серной кислоты (5 г/л), что не вызывало набухания глин. Степень извлечения урана составила 79 %, отношение Ж:Т = 4. Однако высокая стоимость карбоната и бикарбоната калия ограничила их использование.

В связи с этим, а также из-за высоких удельных затрат серной кислоты, на юге залежи в опытном порядке обрабатывали две схемы ПВ: карбонатную (содовую) с использованием окислителей (технического кислорода или перекиси водорода) и бикарбонатную с иницированием бикарбонат-иона в пласте.

Карбонатный способ ПВ в опытных условиях показал очень хорошие результаты. В основе карбонатного выщелачивания урана лежит реакция



Большому расходу реагентов способствуют гипс и сульфат магния:



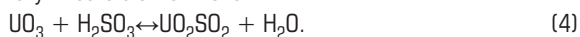
В широких масштабах без решения проблем водоочистки, умягчения растворов и подачи окислителей в пласт использование карбонатного способа не целесообразно. В пласте

активируются кольматационные химические процессы и образуются так называемые застойные зоны (рис. 3). Одним из действенных способов, позволяющих предотвратить кольматационные процессы, является реверсирование фильтрационного потока [15], умягчение растворов, обводнение и гидроразрыв пласта.

Опытные работы по подготовке рудного блока принудительным окислением с использованием технического кислорода, а также подачей сжатого воздуха, насыщенного кислородом и выщелачивающим раствором, позволили испытать в промышленных масштабах две технологии: бикарбонатно-кислотную и мини-реагентную.

Бикарбонатный способ подземного выщелачивания (БКВ) с иницированием бикарбонат-иона в пласте также нерентабелен без окислителей. Использование технического кислорода или перекиси водорода в качестве окислителей с наличием достаточного содержания карбонатов в пласте позволяет получать неплохие технологические показатели выщелачивания. Этот способ можно применять, когда содержание карбонатов в руде достаточно велико. В целом бикарбонатно-кислотное выщелачивание рекомендуется при содержании CO_2 в рудовмещающих отложениях более 2 %. Технология основана на переходе карбонат-иона при подкислении рабочих растворов до значений $\text{pH} = 2\div3$ и насыщении кислородом.

Мини-реагентную технологию выщелачивания применяют при содержании CO_2 в рудах от 0,5 до 2 % и напорном режиме пластовых вод в контурах объекта отработки. По результатам опытных исследований была предложена двухстадийная схема выщелачивания, которая объединила достоинства двух предыдущих схем — карбонатной и кислотной. На первом этапе в пласт подается окислитель (технический кислород) и минимальное количество кислоты для иницирования бикарбонат-иона. По мере расходования карбонатов в пласте и падения концентрации ионов (HCO_3^-) в откачных растворах в пласт начинают подавать серную кислоту вместе с окислителем:



Этот способ дает значительную экономию расходов серной кислоты, позволяет сократить сроки отработки и обеспечить приемлемые темпы извлечения полезного компонента.

Предварительное окисление рудной минерализации осуществлялось путем нагнетания сжатого воздуха и отжатия пластовых вод из объема эксплуатационного блока ($\text{pH} = 3,5\div4$; добавочная кислотность 0,15–0,35 усл. ед.; насыщенность кислородом воздуха 50–80 мг/л). По мере работы технологических (откачных) скважин происходит постепенное снижение как содержания полезного компонента (до 50–80 усл. ед.), так и бикарбонат-иона (до 360–450 мг/л).

Продуктивные растворы характеризуются слабощелочной реакцией ($\text{pH} = 7,6\div8$) и незначительным (20 %) повышением минерализации пластовых вод. Техногенные изменения рудовмещающих песков визуальным фиксируются по смене их окраски — с серой на белосерую окраску с мелкими (до 10 мм) бледно-желтыми пятнами. Минерализованный состав песков (среднезвешенный на мощность блока) изменяется незначительно, уменьшается количество карбонатных минералов (кальцит, доломит, сидерит) с 1,9 до 1,4 %, глинистых составляющих (монтмориллонит,

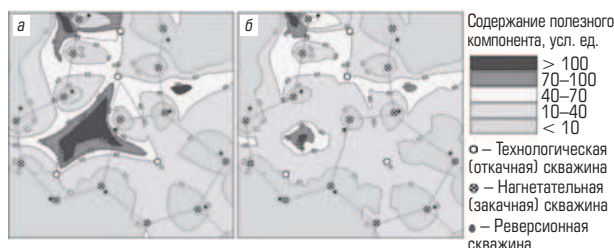


Рис. 3. Образование застойных зон в пласте (а) и их предотвращение (б)

гидрослюда, каолин) с 4,5 до 3,5 %. Из новообразований следует отметить пленки гипса и гидроксидов железа (псевдоморфозы по пириту, марказиту). Результаты спектральных анализов рудовмещающих отложений свидетельствуют о незначительном выщелачивании таких элементов, как Fe, Al, Ca, Mg, Na и K.

К концу 1989 г. на опытном полигоне в эксплуатации находились 33 блока, из них 4 блока с извлечением запасов более 70 %, 7 блоков с извлечением 50 %, 22 блока с извлечением менее 50 %. Длительность эксплуатации блоков варьировала в пределах от 27 до 129 мес, причем блоки, отрабатываемые с удельным коэффициентом извлечения более 1,5 % в месяц, отличались хорошими экономическими и технологическими показателями. Полнота отработки запасов полигона (кроме юга залежи) к моменту его закрытия составляла от 50 до 80 %. Запасы на юге залежи, где располагались опытные блоки БКВ-1, БКВ-2 и БКВ-3, отработаны на 20–30 %, не считая блоков на крайнем юге, извлечение запасов на которых составило от 1 до 10 % и время отработки — от 3 до 10 мес.

В 1989 г. опытно-промышленные работы на юге залежи были прекращены, и на весь южный полигон поданы закачные растворы с концентрацией H_2SO_4 до 6–8 г/л.

Разрабатывалась также технология слабокислотного выщелачивания урана. Ее сущность состоит в переводе карбонатного вещества из породы в раствор в виде иона HCO_3^- при подкислении пластовых вод до $\text{pH} = 4\div4,5$ и насыщении растворов кислородом воздуха. При сравнении с жесткой сернокислотной технологией эта технология не уступала по полноте выщелачивания, а по себестоимости продукции была экономичнее на 15–20 %. Главное же ее достоинство состояло в том, что при ее применении величина водородного показателя пластовых вод, общая минерализация, состав и содержание основных компонентов после его завершения в пределах контура рудного тела практически не отличались от фоновых значений.

В момент окончания эксплуатации полигон в целом представлял собой купол депрессии, который был приблизительно на 40–45 м выше среднего пьезометрического уровня бассейна. На фоне гидродинамического купола ряды откаченных скважин создавали, в свою очередь, локальные депрессионные воронки. Спустя 5 мес после остановки полигона явно выраженных локальных куполов уже не было, т. е. началось «расползание» растворов (при сохранении общего купола) и формирование потока подземных вод, направленных на север и северо-восток. Уровни подземных вод остались практически на той же глубине.

Проведенные в 1994–2000 гг. анализы представительных проб, отобранных из наблюдательных скважин с прокачкой на залежи № 3 и за ее пределами, показали, что остаточные растворы полностью сорбированы вмещающей породой и осаждены в породе.

Выводы и рекомендации

1. Рекомендуются следующие технологические приемы при добыче урана методом ПВ в рассматриваемых природных условиях:

- из малообводненных (сухих) пластов — их обводнение и закачка выщелачивающих растворов с дисбалансом в сторону увеличения;
- из слабопроницаемых высококарбонатных пластов с прослоями глин и алевроитов — гидроразрыв пласта и бикарбонатное выщелачивание.

2. Процесс ПВ необходимо вести при соблюдении следующих технологических требований:

- оптимальный объем выщелачиваемой массы, и, соответственно, оптимальные объемы закачных и откачных растворов, рассчитываемые по определенным математическим зависимостям;
- оптимальные скоростные (производительность скважин) и концентрационные (содержание реагентов) режимы эксплуатации.

3. Предотвращение образования застойных зон возможно реверсированием фильтрационного потока.

4. В районе разработки месторождений методом ПВ рекомендуется вести геоэкологический мониторинг оценки качественного состава подземных вод с составлением карт геохимических ореолов рассеяния химических элементов.

Библиографический список

1. Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 3–9. DOI: 10.17580/or.2014.02.01
2. Каплун Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // ГИАБ. 2015. Спец. выпуск 15. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Вып. 3. С. 5–11.
3. Рычков В. Н., Смирнов А. Л., Горцунова К. Р. Сорбция урана из растворов подземного выщелачивания сильноосновными анионитами // Радиохимия. 2014. Т. 56. № 1. С. 35–38.
4. Аликулов Ш. Ш. Интенсификация технологических процессов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 1. С. 117–121.
5. Solodov I. N. ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russian Federation) // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 78.
6. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Strel'tsovskoe field deposits // International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 172.
7. Neizvestnykh N. N., Bogdanov A. V., Myachin A. V., Fedotov K. V. Joint processing of ore from several gold-silver deposits at one gold-processing factory // Life Science Journal. 2014. Vol. 11. Special Issue 9. P. 277–280.
8. Tan K., Li C., Liu J., Qu H., Xia L. et al. A novel method using a complex surfactant for in-situ leaching of low permeable sandstone uranium deposits // Hydrometallurgy. 2014. Vol. 150. P. 99–106.
9. Zakrzewska-Koltuniewicz G., Herdzik-Koniecko I., Cójcaru C., Chajduk E. Experimental design and optimization of leaching process for recovery of valuable chemical elements (U, La, V, Mo, Yb and Th) from low-grade uranium ore // Journal of Hazardous Materials. 2014. Vol. 275. P. 136–145.
10. Li M., Huang C.-M., Zhang X.-W., Gao F.-Y., Wu X.-Y. et al. Extraction mechanism of depleted uranium exposure by dilute alkali pretreatment combined with acid leaching // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 180. P. 201–209.
11. Шеметов П. А., Миносьянц А. Р., Грещин В. А. Охрана окружающей среды и обеспечение радиационной безопасности при добыче урана // Недрапользование-XXI век. 2008. № 4. С. 73–77.
12. Усманов Р. И., Снитка Н. П. Математическое моделирование тепло- и массопереноса в горных породах с использованием диафрагмы фазового перехода // Современные инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых: сб. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. — М. : Горная книга, 2015.
13. Нигматуллин Р. И. Основы механики гетерогенных сред. — М. : Наука, 1978. — 336 с.
14. Рахматуллин Х. А. Основы газодинамики взаимопроницающих движений сжимаемых сред // Прикладная математика и механика. 1956. Т. 20. С. 184–195.
15. Усманов Р. И. Оптимизация извлечения полезного компонента реверсией скважин // Горный Вестник Узбекистана. 2015. № 1(60). С. 44–47. **РД**

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 4, pp. 44–49
DOI: 10.17580/gzh.2019.04.10

In-situ leaching of valuable components from low-watered, weakly permeable and carbonate strata

Information about author

R. I. Usmanov¹, Head of Innovation Center's group, r.usmanov@ngmk.uz
Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan

Abstract

The article generalizes experience of in-situ uranium leaching from low-watered (including dry) strata enclosing ore bodies inside weakly permeable calcareous, highly carbonate and clayey sandstone. The relevant semi-commercial research was carried out in 1980–1994 during extraction of ore body No. 3 of the Surgaly deposit in Uzbekistan. Mining was implemented by Navoi MMC whereas the research was performed by the Innovation Center of the Combinat (this article author is the head of the Center's group). The set of programs developed for reaching the research objectives was based on solution of a two-dimensional problem on geo-migration and geo-permeation using a mathematical model of mutually permeating and interacting continua: fluid as the first phase and rock matrix as the second phase. Based on the results of the studies, a two-stage circuit integrating advantages of carbonate- and acid-based technologies was proposed for in-situ uranium leaching. After completion of the extraction, the test site represented a trough cupola which was higher than the average piezo-metric level of the ore basin, and it was considered inexpedient to continue mining of the deposit.

At the present time, based on the data of undertaken additional research (1994–2000), this article author proposes to reactivate uranium production from weakly permeable highly carbonate strata

with clay and siltstone interbeds by hydraulic fracturing and bicarbonate leaching. To this effect, it is recommended to accomplish optimization of volumes of leaching mass as well as injection and pumping-out solutions using mathematical models, obligatory geo-ecological monitoring of qualitative composition of groundwater and mapping of geochemical envelopes of chemical elements.

Keywords: in-situ uranium leaching, hydraulic fracturing, flow reversal, mathematical modeling, geodynamics, geochemistry.

References

1. Chanturiya V. A., Vaisberg L. A., Kozlov A. P. Promising trends in investigations aimed at all-round utilization of mineral raw materials. *Obogashchenie Rud.* 2014. No. 2. pp. 3–9. DOI: 10.17580/or.2014.02.01
2. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V., Radchenko D. N. Scientific and methodological bases of design of ecologically balanced cycle of comprehensive exploitation and conservation of the earth's reserves. *GIAB.* 2015. Special issue 15. Sustainable Performance Conditions for Mineral Resources Sector of Russia. Iss. 3. pp. 5–11.
3. Rychkov V. N., Smirnov A. L., Gortsunova K. R. Sorption of uranium from underground leaching solutions with highly basic anion exchangers. *Radiochemistry.* 2014. Vol. 56, No. 1. pp. 38–42.
4. Alilikulov Sh. Sh. Intensification of engineering processes of uranium subsoil leaching out of ores of low permeability. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal.* 2017. No. 1. pp. 117–121.
5. Solodov I. N. ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russian Federation). *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues.* Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 78.

6. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Strel'tsovskoe field deposits. *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p. 172.
7. Neizvestnykh N. N., Bogdanov A. V., Myachin A. V., Fedotov K. V. Joint processing of ore from several gold-silver deposits at one gold-processing factory. *Life Science Journal*. 2014. Vol. 11, Special Issue 9. pp. 277–280.
8. Tan K., Li C., Liu J., Qu H., Xia L. et al. A novel method using a complex surfactant for in-situ leaching of low permeable sandstone uranium deposits. *Hydrometallurgy*. 2014. Vol. 150. pp. 99–106.
9. Zakrzewska-Koltuniewicz G., Herdzik-Koniecko I., Cojocar C., Chajduk E. Experimental design and optimization of leaching process for recovery of valuable chemical elements (U, La, V, Mo, Yb and Th) from low-grade uranium ore. *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 275. pp. 136–145.
10. Li M., Huang C.-M., Zhang X.-W., Gao F.-Y., Wu X.-Y. et al. Extraction mechanism of depleted uranium exposure by dilute alkali pretreatment combined with acid leaching. *Hydrometallurgy*. 2018. Vol. 180. pp. 201–209.
11. Shemetov P. A., Minosyants A. R., Gritsunov V. A. Environment protection and radiation safety in uranium production. *Nedropolzovanie-21 vek*. 2008. No. 4. pp. 73–77.
12. Usmanov R. I., Snitka N. P. Mathematical modeling of heat and mass transfer in rocks using phase transition diaphragm. *Modern Innovative Technologies of Mineral Mining and Processing: II International Scientific-Technical Conference Proceedings*. Moscow: Gornaya kniga, 2015.
13. Nigmatulin R. I. Basic Mechanics of Heterogeneous Media. Moscow: Nauka, 1978. 336 p.
14. Rakhmatullin Kh. A. Fundamentals of gas dynamics in interpenetrating motion of compressible media. *Prikladnaya matematika i mekhanika*. 1956. Vol. 20. pp. 184–195.
15. Usmanov R. I. Optimization of useful component extraction by reversion of wells. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2015. No. 1(60). pp. 44–47.

УДК 622.343.5:622.272

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЯРУСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НОВО-УЧАЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И. Х. АХМЕДЬЯНОВ¹, технический директор, канд. техн. наук

А. Ш. МАННАНОВ¹, начальник ПТО

А. В. КОТЕНКОВ², зам. начальника отдела горной науки

А. В. КРАСАВИН³, зав. кафедрой, канд. техн. наук, a.krasavin@tu-ugmk.com

¹АО «Учалинский ГОК», Учалы, Россия

²ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург, Россия

³Технический университет УГМК, Верхняя Пышма, Россия

Введение

Производственная деятельность акционерного общества «Учалинский горно-обогатительный комбинат» базируется на следующих месторождениях медноколчеданных руд: Учалинском, Узельгинском, Молодежном, Талганском, Озерном и Западно-Озерном; началось вскрытие Ново-Учалинского месторождения [1–3].

Горные работы ведут на территории двух субъектов РФ: Республике Башкортостан и Челябинской области. Месторождения Узельгинское, Молодежное и Талганское расположены на территории Челябинской области, а Учалинское, Озерное, Западно-Озерное и Ново-Учалинское – на территории Республики Башкортостан [4].

В соответствии с программой развития АО «Учалинский ГОК» на период 2017–2022 гг., с целью восполнения выбывающих мощностей по добыче на Учалинском, Молодежном и Талганском месторождениях с 2008 г. проводятся работы по вскрытию Ново-Учалинского месторождения, глубина залегания запасов руды которого составляет 600–1200 м. В дальнейшей перспективе планируется вовлечь в отработку запасы Западно-Озерного месторождения.

Многоярусная отработка Ново-Учалинского месторождения

Работы по вскрытию Ново-Учалинского месторождения осуществляют двумя наклонными съездами: один с борта Учалинского карьера, второй – с действующего горизонта 480 м Учалинского подземного рудника. До 2027 г. планируется построить основную выработку для выдачи руды – скипоплетевой ствол глубиной 1170 м.

Рассмотрена возможность многоярусной отработки Ново-Учалинского месторождения, при которой запасы разделены по вертикали на ярусы, где очистная выемка может вестись одновременно и независимо друг от друга. Учтено усложнение геомеханической обстановки, а также увеличение начальных капитальных вложений. Данные технологические решения по системам разработки, порядку выемки камер и схемам разгрузки массивов от горного давления позволяют увеличить производительность Ново-Учалинского рудника до 4,5 млн т в год за счет внедрения многоярусного порядка отработки при одновременном ведении горных работ в трех ярусах месторождения: Верхнем, Среднем и Нижнем.

Ключевые слова: Ново-Учалинское месторождение, многоярусная технология, интенсивность горных работ, вскрытие месторождения, система разработки.

DOI: 10.17580/gzh.2019.04.11

Чтобы разработка месторождения была экономически целесообразна, необходимо вовлекать в одновременную отработку большие площади и увеличивать производительность рудника [5]. Добычу руды планируется начать с 2018 г. в объеме 100 тыс. т руды в год с увеличением производительности до 4500 тыс. т руды в год к 2027 г. (рис. 1).

Одним из способов повышения концентрации горных работ на месторождении является применение технологии многоярусной

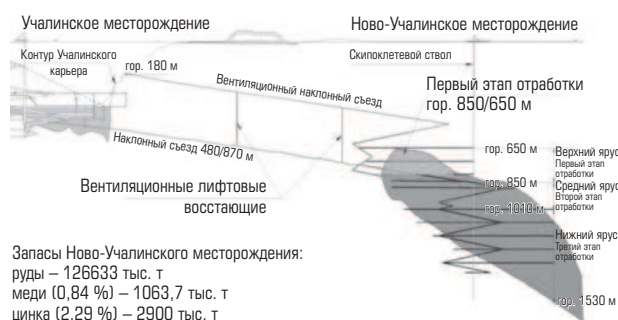


Рис. 1. Схема вскрытия Ново-Учалинского месторождения