

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЬНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ РУДНИКОВ НАВОЙСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Ш.Ш. Аликулов¹, Х.Р. Ахадов²

¹ Навоийский государственный горный институт, Навоий, Республика Узбекистан,
e-mail: sharofovich@mail.ru

² Навоийский горно-металлургический комбинат, Зафараба, Республика Узбекистан

Аннотация: Изложены сведения о проведенных опытных работах раздельного выщелачивания урана при высоких коэффициентах фильтрации. Способ добычи урана методом раздельной отработки рудных интервалов, включающий бурение и сооружение откачных и закачных технологических скважин по контуру месторождения, в котором через систему закачных скважин в пласт закачивают технологические растворы и затем откачивают с помощью откачных скважин. Откачные скважины сооружают с различными интервалами, при этом в одной откачной скважине фильтры устанавливают в верхней части оруденения (верхний интервал фильтра), а во второй скважине — по нижней части (нижний интервал фильтра), четыре закачные скважины сооружают с фильтровой колонной на весь интервал мощности оруденения. Главной проблемой контроля полноты извлечения урана способом ПВ является определение остаточной продуктивности отработанных рудных блоков. Работа выполнена на основе геофизических исследований нейтронного каротажа деления (КНД) на участках ПВ, который позволяет получить оперативную информацию для контроля динамики процесса выщелачивания и степени полноты извлечения урана. Метод предназначен для прямого определения параметров подсчетных запасов урановых руд.

Ключевые слова: Схема вскрытия, подземного выщелачивания, уран, технологические скважины, полнота извлечения урана из недр.

Для цитирования: Аликулов Ш. Ш., Ахадов Х. Р. Разработка технологии раздельного скважинного выщелачивания урана на основе геофизических исследований в условиях рудников Навоийского горно-металлургического комбината // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12. – С. 120–131. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_120.

Separate borehole uranium leaching technology based on geophysical exploration: A case-study of mines of Navoi Mining and Metallurgical Combinat

Sh.Sh. Alikulov¹, Kh.R. Akhadov²

¹ Navoi State Mining Institute, Navoi, Republic of Uzbekistan, e-mail: sharofovich@mail

² Navoi Mining and Metallurgical Combine, Zafarabad, Republic of Uzbekistan

Abstract: The article describes the test survey results on separate uranium leaching in the conditions of high permeability. The method of separate uranium production per intervals consists in drilling, construction and operation of pumping in/out wells. The pumping-out wells are constructed at different intervals, with filters installed at the top (the first well) and at the bottom (the second well) of mineralization; four pumping-in wells are constructed with the filter column designed to embrace the ore body to the whole thickness. The key problem of the in-situ uranium leaching completeness control is the determination of the residual productivity in mined-out ore blocks. The study is based on the geophysical neutron-induced fission logging in the in-situ leaching sites, which provides real-time information to control leaching dynamics and uranium recovery completeness. This method is meant for the direct estimation of uranium ore reserves.

Key words: accessing flow chart, in-situ leaching, uranium, process wells, uranium recovery completeness.

For citation: Alikulov Sh. Sh., Akhadov Kh. R. Separate borehole uranium leaching technology based on geophysical exploration: A case-study of mines of Navoi Mining and Metallurgical Combinat. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12):120-131. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_120.

Введение

Подземное выщелачивание осуществляется посредством фильтрации приготавливаемых на пластовой воде технологических растворов через рудную залежь и вмещающие ее проницаемые отложения. Поэтому эффективность отработки месторождений гидрогенного типа способом подземного выщелачивания в значительной степени обусловлена гидрогеологическими особенностями этих месторождений, главным образом, проницаемостью руд для технологических растворов и водоносностью рудовмещающего горизонта.

Опыты проводили на урановых рудниках Навоийского горно-металлургического комбината. Исследования добычных работ на эксплуатационных участках подземного выщелачивания (ПВ) во многом зависят от полноты, качества и своевременности выполнения гидрогеологических, гидродинамических и гидрогеохимических исследований и наблюдений на различных этапах подготовки и отработки рудных площадей [1].

Состав, объем и порядок выполнения гидрогеологических исследований определяется тем, на какой стадии подготовительных или эксплуатационных работ они проводятся, могут меняться также в зависимости от геолого-гидрогеологических особенностей месторождения или его части.

Методы

При оперативном определении необходимых параметров и детального изучения геологических материалов по отработке рудного тела используются различные методы геофизического исследования скважин (ГИС). Все исследования проводятся геофизическими приборами, смонтированными на современной серийно выпускаемой компьютеризированной каротажной станции «Кобра-М», и каротажным комплектом импульсного нейтронного каротажа «АИНК-60».

Геофизические работы проводятся в обязательном порядке во всех скважинах на стадиях разведки, а в техно-

логических скважинах — на стадиях подготовки и эксплуатации участков и месторождений ПВ [2].

Целью этих исследований при эксплуатации скважин являются:

- токовый каротаж для определения точной глубины, открытости фильтров и целостности обсадной колонны;

- термометрия, наблюдение за распределением рабочих растворов в разрезе в процессе ПВ для выявления зон растекания технологических растворов по рудной залежи продуктивного горизонта и за контуры рабочего полигона, для изучения естественных и искусственных локальных тепловых полей, связанных с различными физико-химическими и термодинамическими процессами;

- каротаж нейтронного деления (КНД) на участках ПВ позволяет получить оперативную информацию для контроля динамики процесса выщелачивания и степени полноты извлечения урана. Метод предназначен для прямого определения параметров подсчетных запасов урановых руд.

В связи с постоянно расширяющимся промышленным освоением пластово-инфильтрационных месторождений урана способом подземного выщелачивания (ПВ) и необходимостью дальнейшего улучшения экономики эксплуатационных работ значительную актуальность приобретает задача разработки способов эффективного геофизического контроля процесса ПВ на протяжении всего периода отработки эксплуатационных блоков месторождений [3, 4]. Исследования дают возможность использования режимных термометрических измерений в технологических скважинах для наблюдения за состоянием фильтров, прифильтровой зоны и фильтрационной способностью продуктивного горизонта в пределах эксплуатационного блока для своевременного принятия

мер по оптимизации процесса подземного выщелачивания.

Применяемый в настоящее время гидрохимический способ контроля не обеспечивает оперативного наблюдения за ходом процесса ПВ и своевременно принятия необходимых мер по его оптимизации.

При выполнении режимных термокаротажных исследований в технологических скважинах эксплуатационных блоков месторождений урана выявлена закономерность изменений температурного режима в продуктивном горизонте на протяжении всего периода отработки блока способом подземного выщелачивания. Температурные изменения в скважинах находятся в прямой зависимости от целого ряда факторов, среди которых определяющими являются температура подаваемых в продуктивный горизонт выщелачивающих растворов, фильтрационные свойства пород, слагающих продуктивный горизонт и исправность фильтровых частей технологических скважин [5, 6].

Ранее геофизической службой была изучена возможность термокаротажа для контроля процесса ПВ. Эти работы были проведены на некоторых эксплуатационных блоках месторождений «Аксай-1», «Джэнгельды» и «Кухнур», расположенных в Букинайской урановорудной провинции и приуроченных к продуктивным стратиграфическим горизонтам — нижний эоцен, маастрихт, сантон.

Основным рудовмещающим горизонтом месторождения «Аульбек» являются песчаные породы маастрихта. В разрезе рудовмещающий горизонт маастрихта сложен двумя пачками: нижней песчаной мощностью от 12 м до 28 м, в которой локализовано урановое оруденение и верхней карбонатно-песчано-глинистой, изменчивой по мощности. В литолого-фациальном отношении разрез

представлен преимущественно кварцево-слюдистыми песками с прослоями карбонатно-глинистых песчаников, реже запесоченными алевролитами. Верхний водоупор маастрихтского горизонта представлен продуктами химического выветривания известняков палеоценового горизонта. Отложения палеоцена представлены в подошве карбонатно-глинистыми песчаниками с крупными желваками карбоната («бобовники»), выше залегают доломиты и известняки с многочисленными пустотами выщелачивания.

На участках между песчаниками и известняками прослеживаются мощные (до 10 м) прослои белых массивных ангидритов. Нижний водоупор представлен мало мощными прослоями алевролитов или глинистых песчаников, по которым проходит граница между маастрихтским и сантонскими горизонтами. Водоупор имеет прерывистый характер — песчаные породы маастрихтского горизонта местами непосредственно контактируют с песчаными отложениями сантонского горизонта.

Орудение месторождения «Кухнур» локализовано в верхнемеловых песчаных отложениях сантонского яруса (карасыгырский горизонт). Рудовмещающие отложения представлены мелкозернистыми песками. Отмечаются прослои, линзы глинистых песчаников, алевролитов. От нижележащего водоносного горизонта в верхнем туроне рудоносный (карасыгырский) горизонт отделяет мощный (10,0 — 30,0 м) водоупор, сложенный алевролитами и глинами. От вышележащего водоносного горизонта в отложениях верхнего карасыгыра рудный горизонт отделяет невыдержанный с гидравлическими окнами водоупор мощностью 0,5 до 10 м. Верхний водоупор представлен отложениями пойменно-болотных фаций (песчаники, глины, алевролиты) [7, 8].

Орудение на месторождении «Джунгельды» локализовано в песчаных отложениях маастрихта. Разрез маастрихтского яруса представлен прибрежно, мелководно-морскими хорошо отсортированными песками с мало мощными линзами и прослоями известковистых песчаников. Иногда отмечаются прослои глин и глинистых песчаников. Карбонатное вещество в песках отмечается местами в виде стяжений размером до 2 мм («гороховидная карбонизация»). Верхний водоупор сложен породами палеоцена и представлен песчаниками на глинисто-карбонатном цементе мощностью до 15 м. Водоупор выдержанный, гидравлической связи с породами маастрихта не отмечено. Нижний водоупор сложен алевролитами, глинами, песками сантона мощностью до 5 м. Местами отмечаются «эрозионные окна».

Результаты

Процесс добычи металла способом подземного выщелачивания на месторождениях пластово-инфильтрационного типа в общих чертах заключается в следующем. На подлежащем обработке участке месторождения (блоке) подготавливается производственный комплекс, состоящий из чередующихся параллельных рядов закачных и откачных скважин. Скважины обсаживаются на всю глубину трубами ПВХ. Рудный интервал оборудуется дисковыми фильтрами КДФ [9].

Выщелачивающий раствор подается непрерывными закачиваниями или прямым наливом в продуктивный пласт через закачные скважины. Скорость подачи раствора в каждую из закачных скважин определяется приемистостью скважины и регулируется специальными устройствами на распределительных рукавах. Транспортировка выщелачивающих растворов от узла подготовки к закачным скважинам осуществляется

по системе полиэтиленовых трубопроводов, размещенных на специальных эстакадах или просто на поверхности участка.

Откачные скважины оборудованы погружными насосами. Продуктивный раствор от откачных скважин подается по полиэтиленовым трубам к перерабатывающим технологическим установкам.

Закишение продуктивного горизонта выщелачивающими растворами сопровождается возникновением ряда новообразований: алюминита, гидроокислов и сульфатов железа. Причем эти осадки образуются в процессе закишения при значениях рН среды от 5 до 2,5, при дальнейшем уменьшении рН они растворяются. Химические реакции образования, а затем растворения осадков носят экзотермический или эндотермический характер. Скорость и направление изменения рН в продуктивном пласте, в свою очередь, определяется количеством и кислотностью выщелачивающих растворов, закачиваемых в продуктивный пласт. Выход металла с продукционными растворами также зависит от кислотности выщелачивающих растворов, их объема и скорости фильтрации в продуктивном пласте.

Таким образом, то или иное изменение температуры в продуктивном горизонте может указывать на характер и скорость химических реакций, определять изменение скорости фильтрации и, в конечном счете, характеризовать эффективность процесса на определенном отрезке времени.

Изучение факторов, определяющих скорость и направление изменений температуры в продуктивном горизонте, показало, что температура выщелачивающих растворов (в разное время суток и тем более в разное время года) имеет самые различные значения, зависящие от погодных условий, конструкции и

теплоизоляции транспортирующих трубопроводов и даже от протяженности их до каждой закачной скважины.

Наблюдения за температурой закачиваемых в скважины выщелачивающих растворов только за летний и осенне-зимний периоды показали разницу в температурах до 16,2 °С (от 10,5 °С до 26,7 °С).

Зимой температура подаваемых в скважины растворов снижается до 2–5 °С, а летом повышается до 30–35 °С.

Поэтому значения температуры в закачных скважинах от устья до забоя определяются температурой подаваемых растворов и режимом подачи их в скважины.

При подаче растворов в скважину со скоростью до 4 м/ч (при исправном фильтре) температура по всему стволу скважины имеет значения, близкие к температуре закачиваемых растворов. При нарушении приемистости скважины температура раствора приобретает значения, определяемые степенью изменения термоаномалий, характером теплообмена в скважине. На глубине продуктивного горизонта температурный график характеризует состояние обсадной колонны по всей ее рабочей части.

Так, по данным термометрии, если нижняя часть фильтра скважин не работает, то здесь образуется застой выщелачивающего раствора. Температура в этой части приобретает значения, близкие к таковым температуры в окрестностях скважинного пространстве, в данном случае имеющей более низкие значения.

На некоторых скважинах, проходжение растворов через фильтры скважин резко нарушено. Устанавливается это по отклонениям значений температуры по всей скважине от значения в ту или иную сторону, температура раствора в скважине успевает почти полностью воспринять температуру окружающей

скважину среды. По кривой в некоторых скважинах устанавливается, что нарушена нормальная работа в основном центральной части фильтра, что характеризует резкое замедление движения растворов через фильтр.

Скорость фильтрации выщелачивающего раствора в рудном горизонте, по существу, может быть определена по скорости распространения тепла из зоны закачной скважины в направлении движения растворов, которые являются носителями. Скорость фильтрации зависит от литологии и гранулометрического состава пород, слагающих продуктивный горизонт в определенной его части, а также от степени механической, химической или газовой коагуляции пласта, прифилтровых зон скважин и самих фильтров.

Механическая коагуляция наблюдается только в ближайшей к закачной скважине части пласта, в интервале до 0,1 м от входа выщелачивающего раствора в пласт, тем не менее влияние ее на скорость фильтрации весьма ощутимо. Газовая и химическая коагуляция является временным (обратимым) явлением: при достижении в поровом объеме пласта значений $pH = 1,8 - 1,5$ осадки, коагулирующие пласт, растворяются, и скорость фильтрации резко увеличивается. Устранение коагуляции фильтров скважин и продуктивного пласта может быть достигнуто обратным потоком растворов (в течение 10–36 ч) и периодической прокачкой скважин.

По результатам термокаротажа скважин определены изменения температуры по каждой отдельной скважине. При применении термометрии, мы перешли к изучению работ сооруженных скважин с длинными фильтрами от 8 до 12 м, на которых возникают проблемы с полной обработкой продуктивного горизонта.

После снижения дебита в скважинах с длинными фильтрами провели токовый каротаж для определения состояния скважин. На всех скважинах нижняя часть фильтра была закрыта. После проведения ремонтно-восстановительных работ, т.е. после прокачки скважин до полного открытия профильтровой части, провели термометрию для изучения естественного градиента с подачи рабочего раствора. По данным термокаротажа выяснилось, что по верхней части фильтра происходят изменения естественного градиента, т.е. предположение о том, что циркуляция рабочего раствора отмечается только по верхней части фильтров, подтвердилось. Соответственно, по всей длине фильтров происходило выщелачивание. Для того чтобы отработать весь продуктивный горизонт без потерь и экономически выгодным способом необходимо было перейти на сооружения откачных скважин с отдельным выщелачиванием горизонта.

Для проведения эксперимента выбрано две ячейки с большой мощностью оруденения до 12 м.

Первая ячейка состоит из одной откачной скважины с интервалом оруденения 204,3–215,8 м и четырех закачных скважин. В откачной скважине и во всех закачных скважинах фильтры устанавливались на всю мощность рудного тела (рис. 1).

Вторая ячейка состоит из двух откачных (интервал руды 207,2–217,8 м) и четырех закачных скважин. На одной откачной скважине фильтры были установлены в верхней части оруденения (интервал установки фильтров 207,0–212,0 м), а во второй скважине — по нижней части (интервал установки фильтров 213,0–218,0 м). Все четыре закачные скважины сооружались с фильтрационной колонной на всю мощность рудного тела (рис. 2).

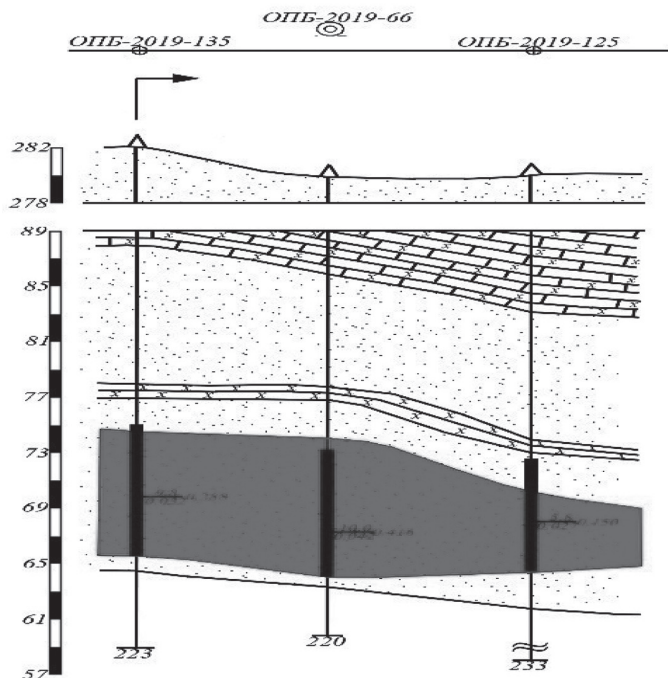


Рис. 1. Схема вскрытия, геологический разрез и результаты геофизических исследований скважины со сплошным фильтром, установленным на всю мощность оруденения: схема вскрытия ячейки № ОПБ-2019-66 с одной откачной скважиной; геологический разрез через скважины ОПБ-2019-135→→66→125; результаты КНД по скважине ОПБ-2019-66 до начала отработки запасов; результаты токового каротажа по скважине ОПБ-2019-66 до начала отработки запасов

Fig. 1. Accessing flow chart, geological section and geophysical survey data in well with continuous filter to the whole thickness of mineralization: accessing flow chart in site No. OPB-2019-66 with single pump-out well; geological section via wells OPB-2019-135→66→125; neutron logging data in well OPB-2019-66 before mining start; current logging data in well OPB-2019-66 before mining start

Обсуждение результатов

После освоения откачной скважины со сплошным фильтром, установленным на всю мощность оруденения и на двух откачных скважинах, сооруженных на одной ячейке, на расстоянии 3 м друг от друга, с установкой фильтров верхней и нижней части оруденения экспериментальных ячеек, была проведена опорная термометрия для определения естественного градиента термоаномалий в стволах скважин и интервалах продуктивного горизонта для дальнейшего изучения движения рабочего раствора [10].

Измерение температуры в скважинах проводят при двух тепловых режи-

мах — установившемся и неуставившемся. Измерения температуры при установившемся тепловом режиме проводят для определения основных естественных геотермических параметров. Измерение температуры в этом случае производят после длительного (более 10 суток) пребывания скважины в покое. Более точное значение времени пребывания скважины в покое устанавливается для данного типа скважин и района по опытным замерам в различное время. Допустимым считают такое время нахождения скважины в покое, после которого температура пород в любой точке скважины изменилась не более чем на 1 °С в течение значитель-

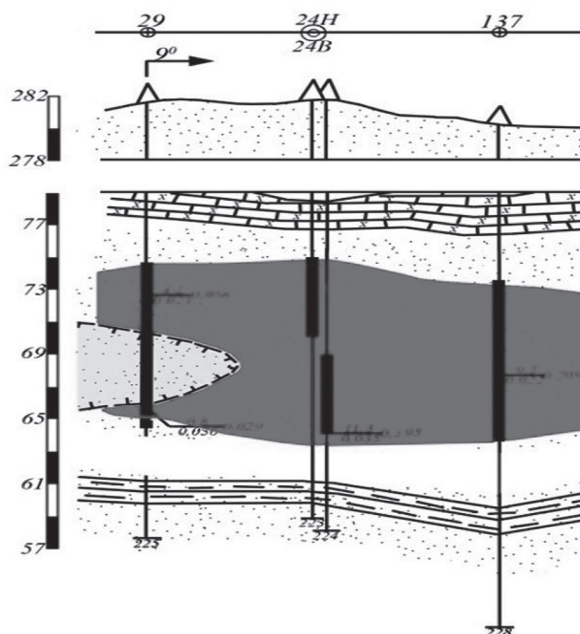


Рис. 2. Схема вскрытия, геологический разрез и результаты геофизических исследований двух откачных скважин, сооруженных на одной ячейке 3 м друг от друга, с установкой фильтров верхней и нижней части оруденения

Fig. 2. Accessing flow chart, geological section and geophysical survey data in two pump-out wells in the same site, spaced at 3 m and with filters at the top and bottom of mineralization zone

ного (не менее суток) интервала времени. В скважине, предназначенной для определения геотермической температуры, не должно быть перелива, газопроявлений, затрубного движения [11].

Определение геотермической температуры проводят в режиме, обеспечивающем необходимую точность измерений.

В процессе отработки запасов термокаротаж регулярно проводился на откачных скважинах со сплошным фильтром, установленным на всю мощность оруденения, и на двух откачных скважинах в 3 м друг от друга, сооруженных на одной ячейке, с установкой фильтров верхней и нижней части оруденения. Измерение температуры в скважинах проводили непосредственно после их сооружения при неустановившемся тепловом режиме для определения интервалов затрубных перетоков.

Результаты термометрии по опытным скважинам ячейки с двумя откачными скважинами, сооруженными с установкой фильтров на верхней и нижней части оруденения:

- результаты термометрии по скважине ОПБ-2019-24В в процессе отработки запасов;
- результаты термометрии по скважине ОПБ-2019-24Н в процессе отработки запасов.

На откачных скважинах обеих ячеек в процессе отработки одновременно с термокаротажом проводился токовый каротаж. По данным токового каротажа в скважине со сплошным фильтром, установленной на всю мощность рудного тела, нижняя часть фильтра постепенно наполнялась тяжелыми взвесями, так как движение рабочего раствора не проходило по всему интервалу обсадной колонны. Кривые токового карота-

жа приведены. Токовый каротаж рекомендуется проводить при помощи мостовой схемы: электрод, изменение сопротивления которого наблюдается, вводится в одно из плеч моста.

Для установки необходимого масштаба записи N (Ом/см) в измерительную цепь последовательно с жилой кабеля, ведущей к электроду M , вводят сопротивление R_0 и добиваются (регулируем сопротивлением плеч моста, изменением силы тока питания), чтобы отклонение пишущего устройства (см) было равно $l = R_0/n$.

Масштаб записи выбирают таким, чтобы амплитуда отклонения кривой была 5 – 8 см.

Сопротивление заземления электрода в колонне принимают равным нулю. Схему регулируют так, чтобы при нахождении зонда в колонне пишущее устройство устанавливалось против нулевой линии диаграммы. В качестве нулевой рекомендуется принимать линию, расположенную справа на расстоянии 1 см от левой границы дорожки для записи. Возрастание сопротивления заземления соответствует перемещению пишущего устройства вправо.

Токовый каротаж регулярно проводится на всех действующих геотехнологических скважинах с целью определения состояния скважин, особенно когда снижается рабочий дебит или после демонтажа и перед монтажом электропогружного агрегата.

Для оценки и сравнения результатов обработки продуктивного горизонта в скважинах со сплошным фильтром и двух откачных скважинах, сооруженных в двух интервалах рудного тела, использовался еще один метод геофизического исследования скважин. Это каротаж нейтронного деления (КНД). Внедрение метода прямого определения урана в скважинных условиях (КНД) при разведке и эксплуатации ураново-рудных

объектов, обрабатываемых способом подземного выщелачивания (ПВ), продиктовано следующими причинами.

Во-первых, руды инфильтрационно-осадочных (гидрогенных) месторождений урана характеризуются сложной радиологической зональностью, обусловленной различием в миграционной подвижности урана и его дочерних продуктов распада в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала (E_h), водородного показателя (рН) и проницаемости (коэффициента фильтрации – K_ϕ) геологической среды. Урановые руды, приуроченные к геохимическому барьеру (ГХБ) на границе выклинивания зоны пластового окисления (ЗПО), осложнены остаточными радиевыми ореолами со стороны ЗПО и диффузионными радиевыми ореолами по контакту с вмещающими породами. В пределах собственно ураново-рудных тел уран-радиевое отношение смещено в сторону недостатка радия, относительно равновесного, свойственного рудам не подверженным геохимическим процессам переотложения.

По этой причине определение параметров рудных пересечений (глубина залегания, мощность, содержание урана, линейные запасы) с помощью гамма-каротажа, основанного на измерении радиоактивности урановых руд, создаваемой продуктами распада радия, требует заверки данных каротажа результатами лабораторных анализов геологических проб на уран и радий. При этом геологическое опробование должно быть представительным по качеству керна материала (выход незашламованного керна по рудному интервалу не менее 75%) и количеству достоверно опробованных интервалов [12].

Однако на ряде месторождений существенная часть запасов урана приурочена или к гравийно-галечным отложениям или к переслаиванию рых-

лых песчаных отложений с крепкими песчаниками. В обоих случаях подъем кондиционного керна по рудным интервалам требует существенного усложнения технологии буровых работ, конструкции бурового става, и иногда (на месторождении Кетменчи) является практически невыполнимой задачей.

Во-вторых, при отработке урановых руд способом ПВ технологические растворы избирательно выщелачивают уран, а радий остается. Тем самым усугубляется нарушение уран-радиевого отношения в рудах, и гамма-каротаж в принципе не информативен для контроля протекания процесса отработки рудных блоков, оценки полноты извлечения урана из недр, поскольку с помощью ГК определяется остаточное содержание радия, а не урана.

Главной проблемой контроля полноты извлечения урана способом ПВ является определение остаточной продуктивности отработанных рудных блоков.

Заключение

Способ добычи урана методом раздельной отработки рудных интервалов, включающий бурение и сооружение откачных и закачных технологических скважин по контуру месторождения, в котором через систему закачных скважин в пласт закачивают технологические растворы и откачивают с помощью откачных скважин, при этом две откачные скважины сооружают с различным

интервалом, на одной откачной скважине обсадную колонну устанавливают в верхней части оруденения (верхний интервал фильтра), а во второй скважине — по нижней части (нижний интервал фильтра), четыре закачные скважины сооружают с обсадной колонной на весь интервал мощности оруденения.

Главной проблемой контроля полноты извлечения урана способом ПВ является определение остаточной продуктивности отработанных рудных блоков.

Работа выполнена на основе геофизических исследований. Каротаж нейтронного деления (КНД) на участках ПВ позволяет получить оперативную информацию для контроля динамики процесса выщелачивания и степени полноты извлечения урана. Метод предназначен для прямого определения подсчетных параметров урановых руд.

Автор выражает искреннюю благодарность научному консультанту — доктору технических наук, профессору К.С. Санакулову за постоянное внимание и всестороннюю помощь, за полезные замечания и ценные рекомендации при подготовке статьи, а также инженерно-техническим работникам Рудоуправления № 5 Навоийского горно-металлургического комбината за оказанную помощь в проведении полупромышленных испытаний разработанной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аликулов Ш. Ш. Интенсификация технологических процессов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд // Известия вузов. Горный журнал. — 2017. — № 1. — С. 78 — 81.
2. Аликулов Ш. Ш., Курбанов М. А., Шарафутдинов У. З., Халимов И. У. Исследование гидродинамических параметров при подземном выщелачивании путем физического моделирования // Горный вестник Узбекистана. — 2019. — № 1. — С. 77 — 82.
3. Lü Y., Lü J., Zhou J., Shen J. Surfactant study on promoting leaching rate of uranium // Chinese Journal of Rare Metals. 2016, vol. 40, no 2, pp. 182 — 187.

4. Сапаров А. Б., Шарафутдинов У. З., Ахадов Х. Р. Оценка влияния водоупоров на основные геотехнологические показатели отработки // Горный вестник Узбекистана. — 2015. — № 3. — С. 11–15.

5. Кеслер А. Г., Носков М. Д., Истомин А. Д., Носкова С. Н. Комплексная физико-химическая модель сернокислотного выщелачивания урана из песчано-глинистых пород инфильтрационных месторождений // Вестник Российской академии естественных наук. — 2013. — № 7. — С. 41–47.

6. Kaixuan Tan, Chunguang Li, Jiang Liu, Huiqiong Qu A novel method using a complex surfactant for in-situ leaching of low permeable sandstone uranium deposits. School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China 2014.

7. Kuhar L. L., Bunney K., Jackson M., Oram J., Rao A. Assessment of amenability of sandstone-hosted uranium deposit for in-situ recovery // Hydrometallurgy. 2018, vol. 179, pp. 157–166.

8. Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Neto J., Lefevre E. A study of uranium-ore agglomeration parameters and their implications during heap leaching // Minerals Engineering. 2018, vol. 127, pp. 22–31.

9. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Разоренов Ю. И. Опыт добычи урана выщелачиванием // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 4. — С. 11–18.

10. Аренс Ж. В. Физико-химическая геотехнология. — М.: Изд-во «Горная книга», 2010.

11. Ляшенко В. И., Андреев Б. Н., Куча П. М. Развитие горнотехнических технологий подземного блочного выщелачивания металлов из скальных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 3. — С. 46–60. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.

12. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Ляшенко В. И. Особенности конструирования систем подземного выщелачивания металлов // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. — 2018. — Т. 19. — № 1. — С. 80–91. [PDF](#)

REFERENCES

1. Alikulov Sh. Sh. Intensification of technological processes of underground leaching of uranium from low-permeable ores. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2017, no. 1, pp. 78–81. [In Russ].

2. Alikulov Sh. Sh., Kurbanov M. A., Sharafutdinov U. Z., Khalimov I. U. Research of hydrodynamic parameters in underground leaching by physical modeling. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2019, no. 1, pp. 77–82. [In Russ].

3. Lü Y., Lü J., Zhou J., Shen J. Surfactant study on promoting leaching rate of uranium. *Chinese Journal of Rare Metals*. 2016, vol. 40, no 2, pp. 182–187

4. Saparov A. B., Sharafutdinov U. Z., Akhadov Kh.R. Assessment of the impact of seals on the main geotechnological indicators of mining. *Gorniy vestnik Uzbekistana*. 2015, no. 3, pp. 11–15. [In Russ].

5. Kesler A. G., Noskov M. D., Istomin A. D., Noskova S. N. Complex physical and chemical model of sulfuric acid leaching of uranium from sandy-argillaceous rocks of infiltration deposits. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk*. 2013, no. 7, pp. 41–47. [In Russ].

6. Kaixuan Tan, Chunguang Li, Jiang Liu, Huiqiong Qu A novel method using a complex surfactant for in-situ leaching of low permeable sandstone uranium deposits. School of Nuclear Resources Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China 2014.

7. Kuhar L. L., Bunney K., Jackson M., Oram J., Rao A. Assessment of amenability of sandstone-hosted uranium deposit for in-situ recovery. *Hydrometallurgy*. 2018, vol. 179, pp. 157–166.

8. Hoummady E., Golfier F., Cathelineau M., Neto J., Lefevre E. A study of uranium-ore agglomeration parameters and their implications during heap leaching. *Minerals Engineering*. 2018, vol. 127, pp. 22–31.

9. Golik V. I., Zaaliishvili V. B., Razorenov Yu. I. Experience of uranium mining by leaching. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 4, pp. 11–18. [In Russ].

10. Arens Zh. V. *Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya* [Physical and chemical geotechnology], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010.

11. Lyashenko V. I., Andreev B. N., Kucha P. M. Technological development of in-situ block leaching of metals from hard ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 3, pp. 46–60. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-3-0-46-60.

12. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Lyashenko V. I. Features of designing systems for underground leaching of metals. *RUDN Journal of Engineering Researches.* 2018, vol. 19, no. 1, pp. 80 – 91. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аликулов Шухрат Шарофович – д-р техн. наук,
зав. кафедрой, e-mail: sharofovich@mail.ru,
Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан,
Ахадов Хайрулло Рофиевич – главный геолог, РУ-5,
Навоийский горно-металлургический комбинат, Республика Узбекистан.
Для контактов: Аликулов Ш.Ш., e-mail: sharofovich@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sh.Sh. Alikulov, Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair,
e-mail: sharofovich@mail, Navoi State Mining Institute,
Navoi, Republic of Uzbekistan,
Kh.R. Akhadov, Chief Geologist, RU-5, Navoi Mining
and Metallurgical Combine, Zafarabad, Republic of Uzbekistan.
Corresponding author: Sh.Sh. Alikulov, e-mail: sharofovich@mail.ru.

Получена редакцией 24.07.2021; получена после рецензии 27.08.2021; принята к печати 10.11.2021.
Received by the editors 24.07.2021; received after the review 27.08.2021; accepted for printing 10.11.2021.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

РАЗРАБОТКА АКТИВНОГО СПОСОБА ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА ГОРНОГО МАССИВА

(2021, № 9, СВ 14, 12 с.)

Розонов Евгений Юрьевич – зам. директора ООО «ММК-УГОЛЬ», e-mail: office@mmk-coal.ru.

Представлены результаты испытаний способа охраны выработок, в условиях шахты «Чертинская-Коксовая», основанного на направленном гидроразрыве горного массива, в результате поинтервального гидровоздействия происходит развитие зоны газопроводящих трещин, что способствует повышению эффективности дегазации, более чем на порядок, и как следствие предотвращению выбросов угля и газа при проведении горной выработки.

Ключевые слова: угольный пласт, выработка, пластовая дегазация, скважина, гидровоздействие.

DEVELOPMENT OF ACTIVE METHOD OF PROTECTION OF MINE WORKINGS BASED ON DIRECTIONAL HYDRAULIC FRACTURING OF MINING MASSIF

E.Yu. Rozonov, Deputy Director of LLC MMK-UGOL, Russia, e-mail: office@mmk-coal.ru.

The results of tests of the method of protection of workings are presented, in the conditions of the Chertinskaya-Koksovaya mine, based on directional hydraulic fracturing of a mountain massif, as a result of the inter-interval hydraulic action, a zone of gas-conducting cracks develops, which contributes to an increase in the efficiency of degassing, by more than an order of magnitude, and as a consequence, the prevention of coal and gas emissions during mining.

Key words: coal seam, production, reservoir degassing, well, hydraulic action.