

УДК 622.775

DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-5-28-36

ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГИДРОГЕННЫХ РУД НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ КОЛЬМАТАНТОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ

INFLUENCE OF THE MATERIAL AND GRANULOMETRIC COMPOSITION OF HYDROGENIC ORES ON THE INTENSITY OF DEPOSITION OF COLMATANTS DURING UNDERGROUND BOREHOLE LEACHING



А. Н. Михайлов,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
Mihailov.A.N@hiagda.ru

A. Mikhailov,
Transbaikal State
University,
Chita



В. А. Овсейчук,
Забайкальский
государственный
университет, г. Чита
MKS3115637@Yandex.ru

V. Ovseychuk,
Transbaikal State
University,
Chita

При отработке гидрогенных месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания постепенно происходит сокращение производительности технологических скважин. Причиной являются процессы кольматации и продуктивного пласта. Наиболее негативное влияние на потерю производительности скважин оказывают механическая и химическая виды кольматации. Механическая кольматация связана с накоплением в прифильтровой зоне закачных скважин тонких глинистых частиц, закупоривающих прифильтровое пространство. Химическая кольматация заключается в отложении химических соединений, образовавшихся при разрушении серной кислотой породообразующих минералов продуктивного пласта в прифильтровой зоне откачных скважин. Ранее проведенные исследования этих явлений показали прямую связь между интенсивностью образования кольматантов и вещественным составом породообразующих минералов, слагающих вмещающие породы гидрогенных месторождений и их гранулометрическим составом. Каждое месторождение характеризуется определенным набором горно-геологических и гранулометрических параметров, поэтому кольматационные процессы для каждого месторождения индивидуальны. Исследование посвящено установлению зависимости интенсивности кольматационных процессов на месторождениях Хиагдинского рудного поля от их характеристик. *Объект исследования* – технологические установки по подземному скважинному выщелачиванию. *Задачи исследования* – установить интенсивность кольматационных явлений в прифильтровой зоне технологических скважин и разработать режимы ремонтно-восстановительных работ применительно к горно-геологическим и гидрогеологическим условиям месторождений Хиагдинского рудного поля. *Методика исследований* – сбор информации, химико-статистическая ее обработка и установление связи между вещественным и гранулометрическим составом руд с целью прогнозирования кольматационных явлений. *Методы исследований* – химический и гранулометрический анализ процессов, происходящих при подземном скважинном выщелачивании гидрогенных урановых руд, математико-статистический анализ полученных результатов, моделирование процессов осаждения и ликвидации кольматантов из прифильтровой зоны технологических скважин

Ключевые слова: скважинное подземное выщелачивание, технологическая скважина, продуктивный раствор, закачная скважина, откачная скважина, дебит скважины, коэффициент фильтрации, приемистость скважины, механическая кольматация, химическая кольматация, породообразующие минералы, кольматанты, прифильтровая зона, серная кислота, внемоимпульс, соляная кислота, бишофит аммония

During the development of hydrogenous uranium deposits using the in-situ well leaching method, there is a gradual loss of productivity of technological wells. This phenomenon is caused by colmatation processes in the productive formation. The most negative impact on the loss of well productivity has mechanical and chemical types of colmatation. Mechanical colmatation is related to the accumulation of thin clay particles in the near-filter zone of injection wells, which plug up the near-filter space. Chemical colmatation is the deposition of chemical compounds formed during destruction of rock-forming minerals of the productive formation in the near-wellbore zone by sulfuric acid. Earlier studies of these phenomena showed a direct relationship between the intensity of colmatants' formation and the material composition of rock-forming minerals composing the host rocks of hydrogenous deposits and their granulometric composition. Each deposit is characterized by a specific set of mining-geological and granulometric parameters, so the colmatation processes for each deposit are individual. This article is devoted to establishing the correlation between the intensity of colmatation processes in the deposits of the Khiagda ore field and their characteristics. The object of the study - technological installations for in-situ borehole leaching. The research objectives are to establish the intensity of colmatation phenomena in the near-filter zone of technological wells and to develop regimes of repair and restoration work with reference to mining and geological and hydrogeological conditions of deposits of Khiagda ore field. *The research methodology* are presented by collection of information, its chemical and statistical processing and establishment of connection between the material and granulometric composition of ores in order to predict colmatation phenomena. *The following research methods:* chemical and granulometric analysis of processes occurring during underground borehole leaching of hydrogenous uranium ores, mathematical and statistical analysis of the results, simulation of processes of sedimentation and liquidation of colmatants from the filter zone of technological wells have been used

Key words: downhole in-situ leaching, , process well, productive solution, injection well, pumping well, well flow rate, filtration coefficient, well injectivity, mechanical colmatation, chemical colmatation, rock-forming minerals, colmatants, near-field zone, sulfuric acid, extravioimpulse, hydrochloric acid, ammonium bischofite

Введение. Скорость и эффективность выщелачивания зависят от многих факторов: типа вскрываемых минералов, вида и концентрации выщелачивающего реагента, величины удельной поверхности вскрываемого минерала, режимов работы технологических скважин. Однако не всегда удается достичь постоянных режимов работы технологических скважин. В процессе разработки ухудшается приёмистость закачных скважин и дебит откачных скважин, падает содержание металла в пробах. Причин этому несколько – постепенная кольматация фильтров и прифильтровой зоны скважин, неправильное расположение скважинных фильтров в продуктивных пластах из-за слабой изученности геологического разреза, уменьшение проницаемости межскважинного пространства [1; 7].

По мере уменьшения проницаемости фильтров возникает необходимость проведения циклов ремонта оборудования, при этом частота ремонтов по мере эксплуатации скважин возрастает [9; 10].

Ликвидация продуктов кольматации осуществляется механическим и химическим воздействием на кольматанты, накопленные в прифильтровой зоне скважин.

Актуальность работы обосновывается необходимостью восстановления работо-

способности технологических скважин для поддержания ритмичной работы полигона по подземному скважинному выщелачиванию в течение всего периода отработки запасов.

Объект исследования – технологические установки по подземному скважинному выщелачиванию.

Задачи исследования – установить интенсивность кольматационных явлений в прифильтровой зоне технологических скважин и разработать режимы ремонтно-восстановительных работ применительно к горно-геологическим и гидрогеологическим условиям месторождений Хиагдинского рудного поля.

Методика исследований – сбор информации, химико-статистическая ее обработка и установление связи между вещественным и гранулометрическим составом руд с целью прогнозирования кольматационных явлений.

Методы исследований – химический и гранулометрический анализ процессов, происходящих при подземном скважинном выщелачивании гидрогенных урановых руд, математико-статистический анализ полученных результатов, моделирование процессов осаждения и ликвидации кольматантов из прифильтровой зоны технологических скважин.

Разработка темы. Исследование условий накопления продуктов кольматации в

прифильтровой зоне технологических скважин при подземном скважинном выщелачивании, проведенное рядом ученых, показало, что основной причиной потери производительности скважин является привнос в процессе подачи рабочих и откачки продуктивных растворов механических и химических кольматантов. Интенсивность этих процессов зависит от гранулометрического состава продуктивного пласта и вещественного состава руд [6]. Для установления влияния этих характеристик гидрогенных месторождений на интенсивность кольматации прифильтровой зоны технологических скважин применительно к условиям выщелачивания руд хиагдинского типа проведены исследования по интенсивности привноса механических и химических кольматантов в прифильтровую зону скважин.

Изучение отстойников технологических скважин показало, что большинство отстойников заполнены глинистым и песчаным кольматантом практически полностью или наполовину.

Для установления зависимости влияния гранулометрического состава гидрогенных руд на интенсивность накопления механических кольматантов в прифильтровой зоне проведены лабораторные исследования.

Гранулометрический состав рудных песков месторождений Хиагдинского рудного поля приведен в табл. 1.

На рис. 1 показана взаимосвязь гранулометрического состава осадочных пород, представляющих продуктивный пласт месторождений, с интенсивностью накопления механических кольматантов. Удаление продуктов механической кольматации, как правило, осуществляется физико-механически-

ми способами очистки прифильтровой зоны скважин [5].

Зависимость описывается эмпирическим выражением

$$V_{п.з.} = 0,15 + 0,003 / K_{кр} - 0,0001 / (K_{кр}^2), \% \quad (1)$$

где $K_{кр}$ – класс крупности, мм.

К химическим способам восстановления производительности скважин относится реагентная (химическая) обработка скважины, заключающаяся в подаче химических растворов в фильтровую колонну и прифильтровую зону для растворения кольматирующих образований [5]. Она применяется на технологических скважинах, характеризующихся химической кольматацией, т. е. когда физико-механические способы очистки фильтровой колонны и прифильтровой зоны не дают положительного результата. Реагентная обработка технологических скважин выполняется совместно с проведением РВП по удалению песчаных пробок, промывки фильтровой колонны и отстойника, эрлифтной прокачки скважины. Удаление продуктов реакции за пределы скважины осуществляется путем эрлифтной прокачки¹.

Как показали результаты исследования причин химической кольматации, основным источником этого явления служат породообразующие минералы, слагающие продуктивный пласт.

Минеральный состав песков представлен в табл. 2.

При взаимодействии серной кислоты, являющейся основным выщелачивающим реагентом урана, происходит разрушение химических молекул, создающих структуру породообразующих минералов.

Таблица 1 / Table 1

Гранулометрический состав гидрогенных руд месторождений Хиагдинского рудного поля /
Granulometric composition of hydrogenous ores of Khiagda ore field deposits

| Наименование типа пород / Name of type of rocks | Гранулометрический класс, мм / Granulometric class, mm | Доля класса в общей массе пород, % / Share of class in the total mass of rocks, % |
|--|--|---|
| Глина/ clay | менее 0,005 | 5–10 |
| Алеврит/ siltstone | 0,005– 0,05 | 20–30 |
| Тонкозернистый песок/ fine-grained sand | 0,05– 0,1 | 18– 24 |
| Мелкозернистый песок/ fine sand | 0,1– 0,25 | 18–14 |
| Среднезернистый песок/ medium sand | 0,25–0,5 | 20–12 |
| Крупнозернистый песок/ coarse sand | 0,5–1,0 | 11– 7 |
| Гравий/ gravel | 1–20 | 8–3 |

¹ Технологический регламент эрлифтной прокачки скважин. – Чита: Хиагда, 2019. – 59 с.

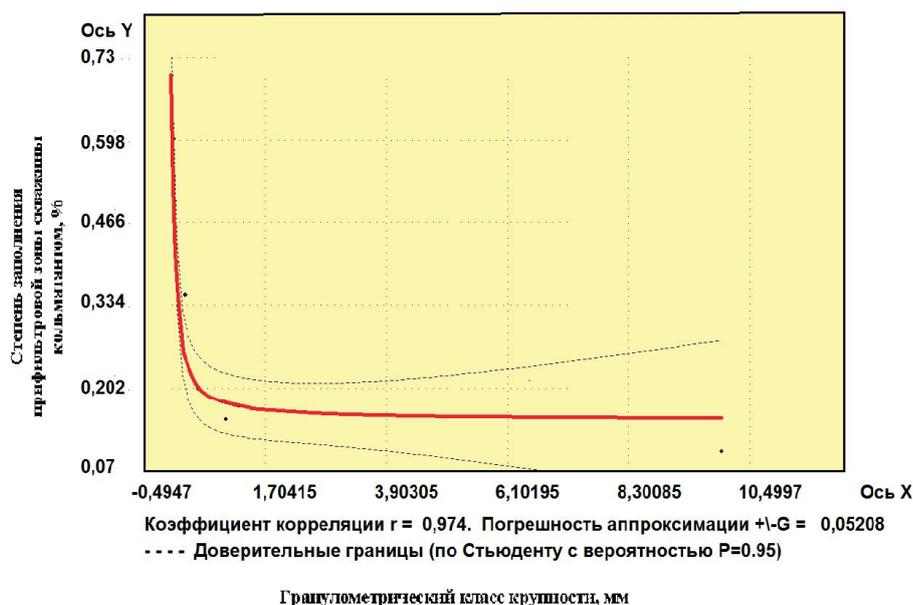


Рис. 1. Зависимость заполнения прифилтровой зоны закачной скважины от гранулометрического состава продуктивного пласта, мм / Fig. 1. Dependence of filling the near-injection zone of the injection well on the particle size distribution of the productive formation, mm

Таблица 2 / Table 2

Минеральный состав рудных песков Хиагдинского месторождения /
 Mineral composition of ore sands of Khiagda deposit

| Наименование минерала / Mineral name | Доля минерала в песках, % / Mineral content in sands, % |
|---|---|
| Кварц/ Quartz | 28-80 |
| Полевые шпаты/ Feldspars | 20-40 |
| Каолинит/ Kaolinite | Сумма от 5 до 33-35/ Amount from 5 to 33-35 |
| Гидрослюда, мусковит и серицит/ Hydromica, muscovite and sericite | |
| Оксиды титана/ Titanium oxides | - |
| Сульфиды железа/ Iron sulfides | 0,94 |
| Оксиды железа/ Iron oxides | 0,3 |
| Карбонаты/ Carbonates | ед.зн./ unit. |
| Углекислые растительные остатки / Carbonized plant remains | 0,1-5,0 |
| Циркон, турмалин, монацит, апатит и т. д. / Zircon, tourmaline, monazite, apatite, etc. | 0,5 |

Как видно из табл. 2, основной объем породообразующих минералов приходится на кварц, полевые шпаты, слоистые силикаты и глинистые минералы [3]. При взаимодействии с серной кислотой происходит разрушение кристаллической структуры этих минералов и освобождение ионов кальция, магния, марганца, алюминия, железа и кремния. Высвободившиеся ионы вступают в реакцию с различными радикалами и образуют новые соединения, выпадающие в осадок в виде кольматантов. При образовании химической кольматации происходит изменение величины pH в проникаемой массе песков в процессе движения выщелачивающих растворов от закачной скважи-

ны к откачной. По мере увеличения значения pH происходит насыщение растворов теми или иными солями, которые были попутно растворены серной кислотой (Ca, Mg, Fe) (SO_4)_n). Весь объем химических кольматантов можно разделить на два класса. К первому классу следует отнести химические соединения $Fe(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Mn(OH)_4$, образующиеся при разрушении кальцита, доломита, сидерита, полевых шпатов. Прямым определением минерального состава рудных песков различных залежей Хиагдинского месторождения установлены следующие концентрации породообразующих минералов:

– гидрослюды – 5...35 %;

- сульфиды и оксиды железа – 1...2 %;
- карбонаты – до 1 %;
- полевые шпаты – 20...40 %.

Анализ химического состава продуктивных растворов [7] показывает, что в таких растворах фиксируются устойчивые содержания марганца (130...300 мг/л), магния (400...600 мг/л), алюминия (500...1500 мг/л), кальция (500...600 мг/л), железа (II) до 1000 мг/л, железа (III) до 450 мг/л. Суммарная концентрация ионов этих металлов составляет 2530...4450 мг/л.

Соединяясь с различными радикалами, ионы этих металлов образуют отложения оксида железа Fe_3O_4 – 14 %; сульфата магния MgS – 11 %; гидроксида кальция $CaAl_2((OH)_8(H_2O)_2)$ – 1 %; доломита $Ca Mg Fe (CO_3)_3$ – 6 %.

Лабораторные испытания позволили выявить зависимость концентрации этих соединений в продуктивном растворе от суммарного содержания породообразующих минералов в рудных песках (рис. 2) [8].

Исследования, проведенные ВНИИХТ, показали, что наиболее эффективным реагентом-нейтрализатором соединений Fe, Ca, Mg, Al в условиях отработки месторождений Хиагдинского рудного поля является соляная кислота (HCl) [1]. Оптимальная концентрация соляной кислоты для растворения кольматантов находится в пределах 20...25 %. Процесс растворения существенно интенсифицируется нагревом кислоты до температуры 50...60 °С.

Дополнительные исследования позволили установить зависимость расхода соляной кислоты от массы кольматанта в продуктивном растворе (рис. 3).

Зависимость расхода соляной кислоты от массы кольматанта в продуктивном растворе описывается выражением

$$Q_{HCL} = 584966,2 + 82244,4 * \ln(C_{Mg,Ca,Al,Fe}), \text{ г/л}, \quad (3)$$

где $C_{Mg,Ca,Al,Fe}$ – концентрация ионов Mg, Ca, Fe, Al.

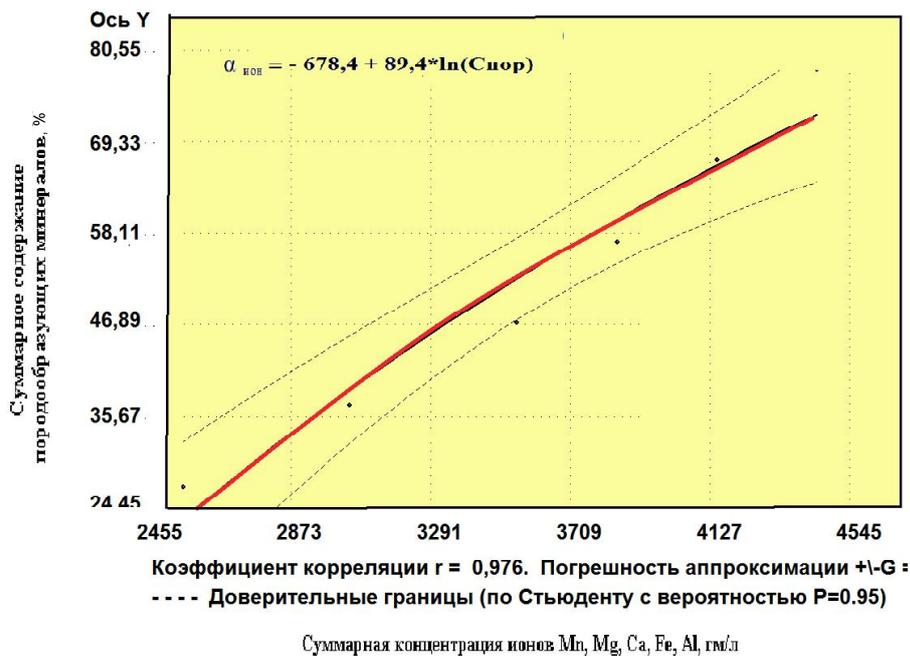


Рис. 2. Зависимость концентрации соединений Fe, Ca, Mg, Al в продуктивном растворе от суммарного содержания породообразующих минералов в рудных песках / Fig. 2. Dependence of Fe, Ca, Mg, Al compound concentration in productive solution on the total content of rock-forming minerals in ore sands

Как видно из рис. 2, зависимость концентрации соединений Fe, Ca, Mg, Al в продуктивном растворе от суммарного содержания породообразующих минералов в рудных песках описывается выражением

$$\alpha_{ион} = -678,4 + 89,4 \ln(C_{пор}), \quad (2)$$

где $\alpha_{ион}$ – концентрация соединений Fe, Ca, Mg, Al в продуктивном растворе, мг/л;

$C_{пор}$ – содержание породообразующих минералов в рудных песках, %.

Ко второму классу кольматантов относятся труднорастворимые соединения кремния. Анализ химических реакций породообразующих минералов с серной кислотой указывает, что источником образования труднорастворимых коллоидных соединений кремния являются полевые шпаты, монтмориллонит и каолинит. Образующиеся при этом кремневые кислоты (nH_2SiO_3), разлагаясь, приводят к выпадению в осадок коллоидных соединений кремнезема в виде SiO_2 .

Осаждаясь на фильтрах откачных скважин, они забивают фильтрационные отверстия фильтров, значительно понижая работоспособность скважин.

На рудах месторождения Хиагда проведены исследования по установлению зависимости интенсивности выпадения в осадок коллоидных соединений кремния от концентрации в рудных песках полевых шпатов, монтмориллонита и каолинита.

Анализ показал, что содержание полевых шпатов в различных залежах колеблется в пределах 20...40 %, а суммарное содержание монтмориллонита и каолинита составляет 5...35 %. Лабораторные испытания позволили

выявить зависимость концентрации кремниевых кислот в продуктивном растворе от суммарного содержания полевых шпатов, монтмориллонита и каолинита (рис. 4).

Как видно из рис. 4, существует эмпирическая зависимость концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе от содержания силикатных минералов в руде, описываемая формулой

$$\alpha_{\text{ион}} = -2004,4 + 937,8 \ln(C_{\text{сил}}), \text{ мг/л}, \quad (4)$$

где α – концентрация кремниевой кислоты в продуктивном растворе,

$C_{\text{сил}}$ – содержание силикатных минералов в выщелачиваемой руде, %.

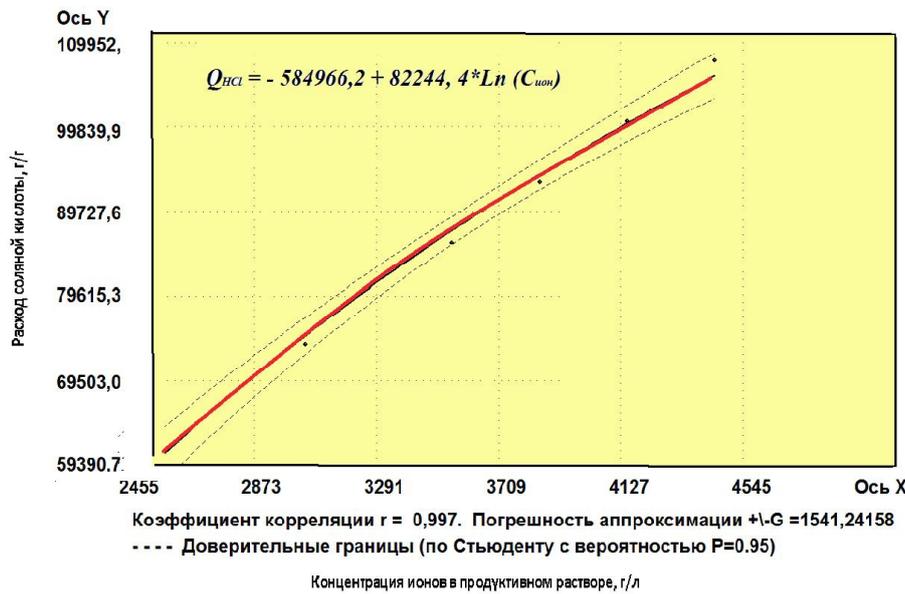


Рис. 3. Зависимость расхода соляной кислоты от массы кольтманта в продуктивном растворе / Fig. 3. Dependence of hydrochloric acid consumption on colmatant weight in productive solution

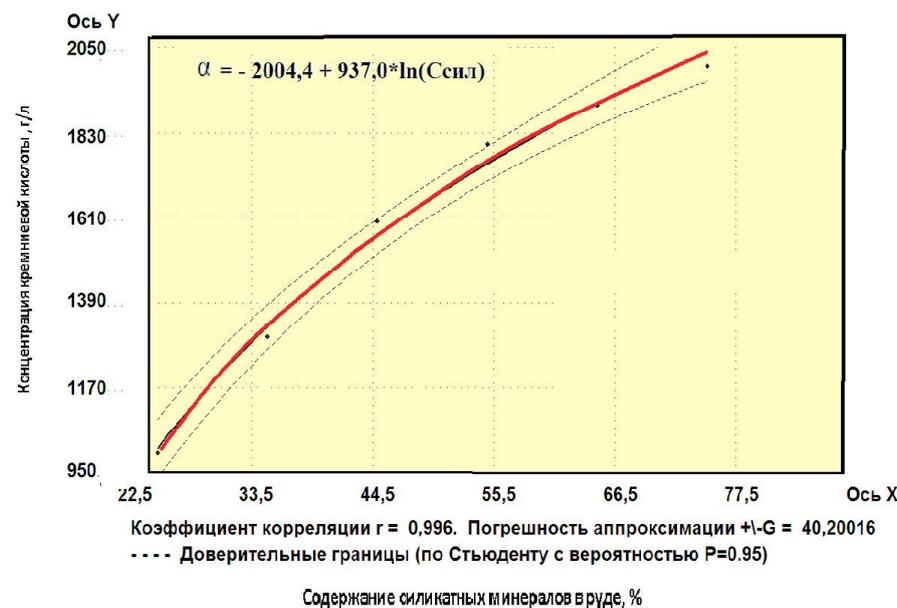


Рис. 4. Зависимость концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе от содержания силикатных минералов в руде / Fig. 4. Dependence of silicic acid concentration in the productive solution on the silicate minerals content in the ore

Проведены лабораторные исследования проб продуктивных растворов, в результате которых установлено, что для растворения 1 г аморфного кремнезема необходимо затратить 7,75 г бишофита аммония.

Проведенные расчеты позволили определить расход бишофита аммония в зависимости от концентрации кремниевой кислоты в продуктивных растворах, исходя из следующих условий:

- средняя фактическая производительность откачной скважины – 3 м³/ч;
- время обработки скважины 48 ч;
- средний межремонтный цикл работы откачной скважины 28 суток;
- повышение производительности откачной скважины после обработки бишофитом в 2 раза.

На рис. 5 представлена зависимость расхода бишофита аммония от концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе.



Рис. 5. Зависимость расхода бишофита аммония на восстановление работы закачной скважины от концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе / Fig. 5. Dependence of ammonium bischofite consumption for re-injection well operation on silicic acid concentration in productive solution

Установлена зависимость расхода бишофита аммония от концентрации кремниевой кислоты в продуктивном растворе, описываемая формулой

$$Q = -140634,3 + 22534,2 \cdot \ln(\beta_{\text{кисл}}), \text{ г/скв.}, \quad (5)$$

где Q – расход бишофита аммония, г/скв.,
 $\beta_{\text{кисл}}$ – концентрация кремниевой кислоты в продуктивном растворе, мг/л.с.

Таким образом, появляется возможность планирования расходных показателей реаген-

тов для восстановления производительности откачных скважин в зависимости от концентрации силикатных минералов в выщелачиваемых рудах.

Выводы. В процессе анализа материалов по опыту обработки гидрогенных месторождений установлено, что основной причиной потери производительности технологических скважин является кольматация их прифильтровой зоны.

Наибольшее влияние при этом оказывают механическая и химическая кольматации, в процессе которых происходит накопление в прифильтровой зоне тонких механических взвесей и осаждение продуктов химических реакций, происходящих при выщелачивании.

1. В ходе проведенных исследований процесса выщелачивания руд Хиагдинского месторождения установлены основные факторы, влияющие на образование кольматантов:

- гранулометрический и минеральный состав рудных песков, определяющих интенсивность образования механической кольматации;
- породообразующие минералы, разрушение которых серной кислотой приводит к накоплению в растворе ионов Mg , Ca , Fe , Al и Si , что инициирует образование химических соединений, выпадающих в осадок и являющихся причиной химической кольматации.

2. Установлено, что наиболее эффективным способом ликвидации механической

кольматации является пневмоимпульсная обработка прифилтровой зоны технологических скважин.

3. Установлено, что применение обработки технологических скважин соляной кислотой

и бишофитом аммония позволяет удалить большую часть химических кольматантов, осажденных на конструктивные элементы армировки скважин.

Список литературы

1. Бабкин А. С., Михайлов А. Н., Гурулев Е. А., Алексеев Н. А., Иванов Д. А., Глотова О. Ю., Забайкин Ю. В. Восстановление производительности технологических скважин при скважинном подземном выщелачивании урана // Московский экономический журнал. 2019. № 2. С. 18–22.
2. Битимбаев М. Ж. Химическая кольматация и способы ее устранения при подземном выщелачивании металлов // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2009. № 2. С. 122–125.
3. Горбатенко О. А., Чистилин П. Е., Панова Е. Н. Ремонтно-восстановительные работы на геотехнологических скважинах предприятий ПСВ урана. Алматы: Каз НИТУ, 2017. 194 с.
4. Джакупов Д. А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания // Инновационное развитие горнодобывающей отрасли: материалы междунар. науч.-техн. конф. Кривой Рог: [б. и.], 2016. С. 130.
5. Омелянюк М. В. Техника и технология физико-химического восстановления дебитов скважин. Краснодар: Кубан. гос. технол. ун-т, 2017. doi:10.23968/2305-3488. 2017. С. 90–105.
6. Ракишев Б. Р., Матаев М. М., Кенжетаяев Ж. С. Исследование минералогического состава осадкообразований в условиях скважинной добычи урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 7. С. 123–131.
7. Цымбалов А. А. Исследование процессов декольматации водозаборных скважин. 2014–2018. URL: <http://www.doktorsc.ru/index.php/issledovanie-protsessov> (дата обращения: 21.04.2022). Текст: электронный.
8. Kaiguang H., Qingliang W., Ganqiang T., Aihe W., Dexin D. Experimental study on restoration of polluted groundwater from in situ leaching uranium mining with Sulfate Reducing Bacteria and ZVI-SRB // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2011, Vol. 2. P. 150–155.
9. Ma Q., Feng Z. G., Liu P., Lin X. K., Li Z. G., Chen M. S. Uranium speciation and in situ leaching of a sandstone-type deposit from China // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2017, Vol. 311. P. 2129–2134.
10. Práválie, R., Bandoc G. Nuclear energy: Between global electricity demand, worldwide decarbonisation imperativeness, and planetary environmental implications // *Journal of Environmental Management*. 2018, Vol. 209. P. 81–92.

References

1. Babkin, A. S. Mikhaylov A. N., Gurulev Ye. A., Alekseyev N. A., Ivanov D. A., Glotova O. Yu., Zabaykin Yu. V. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* (Moscow Economic Journal), 2019, no. 2, pp. 18–22.
2. Bitimbayev M. Zh. *Vestnik Natsionalnoy inzhenernoy akademii RK* (Bulletin of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan), 2009, no. 2, p. 122–125.
3. Gorbatenko O. A., Chistilin P. Ye., Panova Ye. N. *Remontno-vozstanovitelnye raboty na geotekhnologicheskikh skvazhinah predpriyatij PSV urana* (Repair and restoration works at geotechnological wells of uranium ISR enterprises). Almaty: Kaz NITU, 2017. 194 p.
4. Dzhakupov D. A. *Innovatsionnoye razvitiye gornodobyvayushey otrasli: materialy mezhdunar. nauch.-tehn. konf.* (Innovative development of the mining industry: materials of the international. sci.-tech. conf.). Krivoy Rog: [b. i.], 2016, pp. 130.
5. Omelyanyuk M. V. *Tehnika i tehnologiya fiziko-himicheskogo vosstanovleniya debitov skvazhin* (Technique and technology of physical and chemical restoration of well flow rates). Krasnodar: Kuban. State Technol. Un-ty, 2017. doi:10.23968/2305-3488, 2017. pp.90–105.
6. Rakishev B. R., Matayev M. M., Kenzhetayev Zh. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information and analytical bulletin), 2019, no. 7, pp. 123–131.
7. Tsymbalov A. A. *Issledovaniye protsessov dekolmatatsii vodozabornykh skvazhin*. 2014–2018 (Study of the processes of decolmatation of water wells. 2014–2018). Available at: <http://www.doktorsc.ru/index.php/issledovanie-protsessov> (date of access: 04/21/2022). Text: electronic.
8. Kaiguang H., Qingliang W., Ganqiang T., Aihe W., Dexin D. *Procedia Earth and Planetary Science* (Procedia Earth and Planetary Science), 2011, vol. 2, pp. 150–155.
9. Ma Q., Feng Z. G., Liu P., Lin X. K., Li Z. G., Chen M. S. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry), 2017, vol. 311, pp. 2129–2134.
10. Práválie, R., Bandoc G. *Journal of Environmental Management* (Journal of Environmental Management), 2018, vol. 209, pp. 81–92.

Информация об авторе

Михайлов Анатолий Николаевич, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: физико-химическая геотехнология урана
Mihailov.A.N@hiagda.ru

Овсейчук Василий Афанасьевич, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: физико-техническая и физико-химическая геотехнологии, пред-концентрация минерального сырья, рудничная геология
mks3115637@Yandex.ru

Information about the author

Anatoly Mikhailov, postgraduate, Transbaikal State University, Chita, Russia. Research interests: physical and chemical geotechnology of uranium

Vasily Ovseichuk, doctor of technical sciences, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Research interests: physical-technical and physical-chemical geotechnologies, pre-concentration of mineral raw materials, mine geology

Для цитирования

Михайлов А. Н. Овсейчук В. А. Влияние вещественного и гранулометрического состава гидрогенных руд на интенсивность осаждения кольматантов при подземном скважинном выщелачивании // Вестник Забайкальского государственного университета. 2022. Т. 28, № 5. С. 28–36. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-5-28-36.

Mikhailov A., Ovseychuk V. Influence of the material and granulometric composition of hydrogenic ores on the intensity of deposition of colmatants during underground borehole leaching // Transbaikal State University Journal, 2022, vol. 28, no. 5, pp. 28–36. DOI: 10.21209/2227-9245-2022-28-5-28-36.

Статья поступила в редакцию: 25.04.2022 г.
Статья принята к публикации: 05.05.2022 г.