

Х.А. Юсупов¹, Е.Х. Абен¹, А.К. Омиргали¹, Н. Хайруллаев¹

¹Казахский научно-исследовательский технический университет
им. К. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ ВЫЩЕЛАЧИВАЮЩЕГО РАСТВОРА ВО ВРЕМЕНИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ КАВИТАТОРОМ

Аннотация. Несмотря на все преимущества, подземное скважинное выщелачивание имеет ряд недостатков, одним из которых является значительный срок отработки блоков из-за низкого содержания урана в продуктивном растворе. Существуют различные способы, которые приводят к сокращению времени выщелачивания и увеличению среднего содержания урана в растворах. Однако практическое осуществление этих способов требует огромных материальных и трудовых затрат. Для повышения извлечения полезных компонентов, снижения времени на выщелачивание и расхода реагентов предлагается технология, основанная на использовании эффекта кавитации для активации раствора. Активация выщелачивающего раствора повышает содержание урана в продуктивном растворе, сокращает время отработки блока. Однако, нет исследований по установлению времени сохранения активности раствора. Поэтому, в работе, на основании лабораторных исследований получены зависимости изменения активности выщелачивающего раствора во времени после обработки раствора кавитатором.

Ключевые слова: активация, полезный компонент, подземное скважинное выщелачивание, уран, кавитация, раствор.

• • •

Түйіндеме. Жерасты ұңғымалық сілтілеу әдісінің барлық артықшылықтарына қарамастан, оның бірқатар кемшіліктері бар, соның бірі өнім ерітіндісіндегі уран мөлшерінің төмен болуына байланысты блоктар қорының ұзақ уақыт игерілуінде. Өнім ерітіндісіндегі уран мөлшерін жоғарылатып, сілтілеу уақытын азайтудың әр түрлі тәсілдері бар. Алайда, осы тәсілдерді іс жүзінде жүзеге асыру үлкен материалдық және еңбек шығындарын талап етеді. Пайдалы компоненттердің түсімін арттыру, сілтілеу уақытын және реагент шығынын азайту үшін, кавитация әсерін іске қосу негізінде ерітіндіні белсендіру технологиясы ұсынылады. Сілтілеу ерітіндісін белсендіру өнімді ерітіндідегі уран мөлшерін жоғарылатып, блоқты сілтілеу уақытын азайтады. Бірақ, ерітіндіні белсендіру дәрежесінің неше уақытқа жететіні зерттелмеген. Сондықтан, бұл жұмыста лабораториялық зерттеулер барысында сілтілеу ерітіндісі кавитатормен белсендірілгеннен кейінгі өткен уақытқа байланысты белсенділігінің өзгеруі алынған.

Түйінді сөздер: белсендіру, пайдалы компонент, жерасты ұңғымалық сілтілеу, уран, кавитация, ерітінді.

Abstract. Despite all the advantages, underground borehole leaching has a number of disadvantages, one of which is a significant period of block development due to the low content of uranium in the productive solution. There are various methods that reduce the leaching time and increase the average content of uranium in solutions. However, the practical implementation of these methods requires huge material and labor investments. To increase the extraction of useful components, reduce the time for leaching and the consumption of reagents, a technology based on the cavitation effect to activate the solution is proposed. Activation of the leaching solution increases the content of uranium in the productive solution, and reduces the block's working time. However, there is no research to determine the time of preservation of the solution activity. Therefore, herein, based on laboratory studies, dependences of changes in the activity of the leaching solution in time after treatment with a cavitator were obtained.

Keywords: activation, useful component, underground leaching, uranium, cavitation, solution.

Введение. Развитие науки и техники в современном мире определяется невиданным по своим масштабам научно-техническим прогрессом, характерной чертой которого является очень быстрый рост энерговооруженности производства. Мировое потребление основных энергоресурсов достигло гигантских размеров. Особенностью научно-технической революции является ускоряющееся развитие атомной энергетики, которая становится все более весомой составляющей в производстве электроэнергии. Такие гигантские масштабы развития атомной энергетики потребуют соответствующего обеспечения ее природным ураном. В соответствии с этим возрастут потребности в уране, которые могут быть удовлетворены за счёт добычи промышленных руд, разрабатываемых традиционными способами (подземными или открытыми горными работами), и вовлечения в эксплуатацию месторождений в основном гидрогенного генезиса, представленных бедными или убогими рудами, а также месторождений, залегающих в сложных горно-геологических и гидрогеологических условиях. Месторождения второй группы – с бедными и убогими рудами, несущими в себе запасы урана, - до последнего времени не были вовлечены в промышленную разработку традиционными способами добычи по технико-экономическим соображениям. Эта важная задача, имеющая большое народнохозяйственное значение, к настоящему времени в значительной степени решена. Особенно в последнее десятилетие были проведены большие работы по разработке и внедрению в промышленных масштабах геотехнологической добычи урана, получившей название метода подземного выщелачивания (ПВ) [1,2]. Несмотря на все преимущества, подземное скважинное выщелачивание имеет ряд недостатков,

одним из которых является значительный срок отработки блоков из-за низкого содержания урана в продуктивном растворе. По своей сути все известные способы интенсификации процесса подземного выщелачивания [3-5] можно классифицировать следующим образом:

- гидродинамические;
- физико-химические;
- химические.

Все эти способы в исследуемых пределах приводят к сокращению времени выщелачивания и увеличению среднего содержания урана в растворах. Однако практическое осуществление этих способов воздействия связано с огромными материальными и трудовыми затратами [4,6,7]. Для повышения извлечения полезных компонентов, снижения времени на выщелачивание и расхода реагентов предлагается технология, основанная на использовании процесса кавитации для активации раствора. Сущность технологии заключается в том, что перед подачей выщелачивающего раствора в рудную массу её активируют с помощью кавитации, что вызывает распад молекул раствора и образование радикалов с высокой химической активностью.

Как следует из анализа литературы [6,7], обработка различного рода материалов с использованием кавитаторов всегда даёт положительный эффект. Описано применение кавитации в чрезвычайно широком диапазоне: получение эмульсий, разрушение и удаление загрязнений, получение неорганических и органических соединений, активация топлива, новейшие конструкции торпед и пр. Как показали предварительные лабораторные исследования [4], активация выщелачивающего раствора повышает содержание урана в продуктивном растворе и сокращает время отработки блока. Однако, в этих исследованиях не было установлено время действия активированного раствора, так как требуется значительное время от места активации выщелачивающего раствора (планируется активировать раствор в узле распределения выщелачивающего раствора) до пласта и откаточной скважины. Поэтому, для установления времени сохранения активности выщелачивающего раствора после ее активации были проведены лабораторные исследования.

Методика исследования. Исходя из конкретной задачи, поставленной в данной работе, основной характеристикой для ее проведения является активность выщелачивающего раствора при взаимодействии с рудой и материалами породы. Поэтому главным показателем при проведении лабораторных исследований является изменение активности раствора при различных способах его обработки. Исследования по

активации сернокислотного раствора кавитацией, были проведены на растворах с содержанием кислоты 10г/л [4]. Однако, учитывая большой объем подаваемого выщелачиваемого раствора в промышленных условиях, что требует значительных энергетических затрат для механической её активации, были проведены исследования возможности активации концентрированной серной кислоты, используемой для доукрепления маточного раствора. В установку залили около 1,5 л кислоты и провели обработку в течение 5 мин. Затем из активированной кислоты приготовили раствор с содержанием 10 г/л и проверили его активность при выщелачивании. Результаты сравнили с таким же экспериментом, но без предварительной активации кислоты.

Результаты измерений содержания полезного компонента в растворах после выщелачивания показали, что активность кислоты после кавитационной обработки увеличилась на 14%. Следовательно, в промышленных условиях нет необходимости проводить механическую активацию всего выщелачивающего раствора, следует ограничиться только обработкой доукрепляющей концентрированной серной кислоты. Это резко снижает энергетические затраты. В дальнейшем, эксперименты были проведены с использованием раствора, приготовленного с активизированной кислотой. При исследованиях раствор активировали в течение 3,5,10 и 20 мин., время для отбора проб при выщелачивании 5, 10, 20 и 30 мин. Сначала исследования проводили с исходным раствором, без активации, затем – с раствором сразу после активации, через 2 ч., через 24 ч. и через 30 дней. Для выщелачивания была использована лабораторная мешалка (рисунок 1), которая состоит из двигателя, пропеллерной мешалки и емкости для раствора.

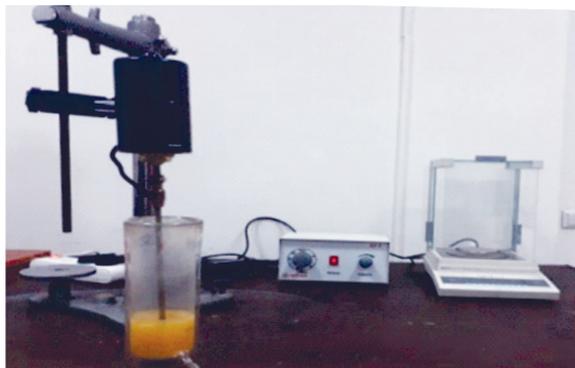


Рисунок 1 – Лабораторная мешалка

Результаты исследования. Результаты выщелачивания в течение 10 мин. и изменения активности раствора во времени представлено в таблице 1, при этом необходимо отметить, что содержание полезного компонента при проведении исследований с исходным раствором составляло 4,33 мг/л.

Таблица 1 - Изменение содержания полезного компонента в растворе во времени после активации раствора и выщелачивании 10 мин.

Содержание полезного компонента в растворе, мг/л	Время обработки кавитатором, t, мин				Время после обработки
	3	5	10	20	
С	5,08	5,1	5,17	4,33	после обработки
С	4,51	5,06	5,09	4,67	через 2 ч
С	4,55	4,91	4,78	4,55	через 24 ч
С	4,76	5,01	5,15	4,67	через 30 дн.

Анализ таблицы 1 показывает, что при активации раствора от 3 до 10 мин. и выщелачивании сразу после активации раствора, содержание полезного компонента повышается с 5,08 мг/л до 5,17 мг/л, а дальнейшая активация раствора до 20 мин., наоборот приводит к снижению содержания полезного компонента в растворе до 4,33 мг/л. Такой же характер изменения содержания полезного компонента наблюдаются и при прохождении времени после активации раствора 2, 24 ч.а и 30 дн. При активации раствора 10 мин. и выщелачивании сразу после активации раствора, содержание полезного компонента составляет 5,17 мг/л, а при выщелачивании раствором после отстаивания в течение 2 ч., 24 ч. и 30 дн., содержание полезного компонента составляло соответственно 5,09 мг/л, 4,78 мг/л и 5,15 мг/л. С течением 2 ч. и 24 ч. наблюдалось снижение содержания полезного компонента соответственно на 1,5% и 7,5%, а с течением 30 дн., активность раствора осталась без изменения. Такие же изменения содержания полезного компонента наблюдаются и при времени активации выщелачивающего раствора 3,5 и 20 мин. Среднее содержания полезного компонента в продуктивном растворе при выщелачивании с растворами сразу после активации, с течением 2, 24 ч. и 30 дн. соответственно возрастает на 13,6%, 11,6%, 8,5% и 12,9% больше, чем при выщелачивании раствором без активации. Обработкой данных таблицы получены зависимости изменения содержания полезного компонента в растворе от времени активации и выдержки раствора во времени (рисунок 2).

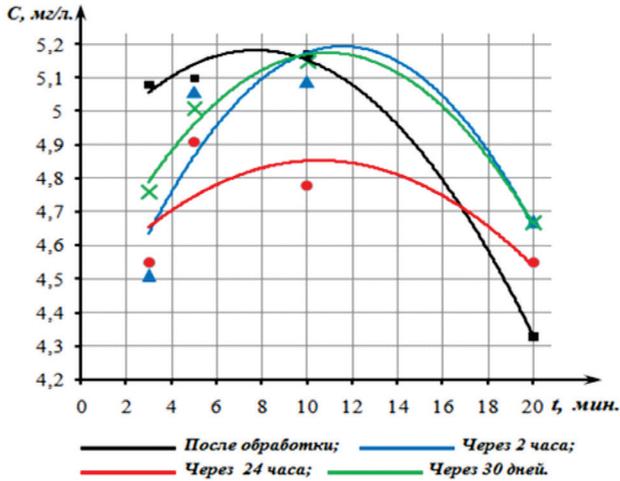


Рисунок 2 – Изменение содержания полезного компонента в растворе в зависимости от времени активации и выдержки раствора во времени при выщелачивании в течение 10 мин.

Результаты выщелачивания в течение 20 мин. и изменения активности раствора во времени представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Изменение содержания полезного компонента в растворе во времени после активации раствора и выщелачивании 20 мин.

Содержание полезного компонента в растворе, мг/л	Время обработки кавитатором, t, мин.				Время после обработки
	3	5	10	20	
C	5,18	4,90	5,29	4,60	После обработки
C	5,08	5,34	5,23	4,80	Через 2 ч.
C	4,74	5,10	5,09	4,82	Через 24 ч.
C	5,06	5,15	5,45	4,86	Через 30 дн.

Как видно из таблицы 2, при активации раствора от 3 до 10 мин. и выщелачивании сразу после активации раствора, содержание полезного компонента повышается с 5,18 мг/л до 5,29 мг/л, а дальнейшая активация раствора до 20 мин., наоборот приводит к снижению содержания полезного компонента в растворе до 4,60 мг/л. Такие же изменения содержания полезного компонента наблюдаются и при прохождении времени после активации 2, 24 ч. и 30 дн.

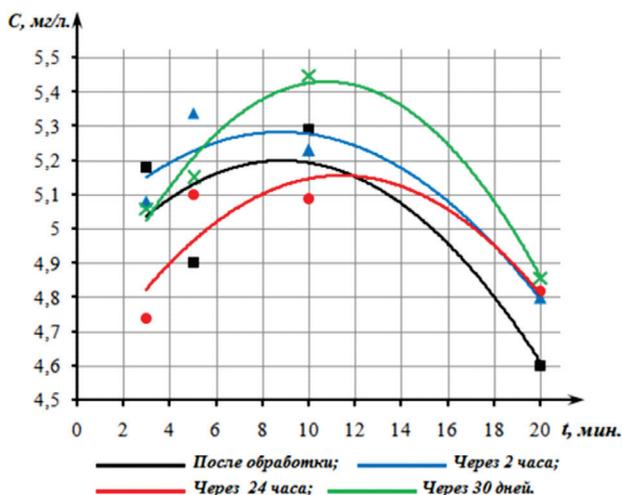


Рисунок 3 – Изменение содержания полезного компонента в растворе в зависимости от времени активации и выдержки раствора во времени при выщелачивании в течение 20 мин.

При активации раствора 10 мин. и выщелачивании сразу после активации раствора, содержание полезного компонента составляет 5,29 мг/л, а при выщелачивании раствором после отстаивания в течение 2 ч., 24 ч. и 30 дн. содержание полезного компонента составляло соответственно 5,23 мг/л, 5,09 мг/л и 5,45 мг/л. С течением 2 ч. и 24 ч. наблюдалось снижение содержания полезного компонента соответственно на 1,1% и 3,8%, а с течением 30 дн., активность раствора наоборот повысилась на 2,9%. Такие же изменения содержания полезного компонента наблюдались и при времени активации выщелачивающего раствора 3,5 и 20 мин. При обработке данных таблицы были получены зависимости изменения содержания полезного компонента в растворе от времени активации и выдержки раствора во времени (рисунок 3).

Обсуждение результатов. Таким образом, с изменением времени активации выщелачивающего раствора и с течением времени после активации до 30 дн., первичная активность раствора вначале незначительно снижалась, но сохраняла свою активность, в некоторых случаях даже немного повышалась. При этом среднее содержание полезного компонента в продуктивном растворе было выше, чем при выщелачивании с не активированным раствором.

Заключение. Активация раствора приводит к увеличению содержания полезного компонента в продуктивном растворе и ее активность сохраняется длительное время (до 30 дней) и позволяет повысить содержание полезного компонента в продуктивном растворе по сравнению с исходным раствором.

Список литературы

1 *Аренс В.Х.* Скважинная добыча полезных ископаемых / М.: Недра, 1986. [Arens V.Kh. Skvazhennaya doby`cha polezny`kh iskopayemy`kh/M.: Nedra, 1986]

2 *Голик В.И., Култышев В.И.* История и перспективы выщелачивания урана// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011.-№7.-с. 138–143 [Golik V.I., Kulty`shev V.I. Istoriya i perspektivy` vy`shhelachivaniya urana// Gornyy`j informatsy`onno-analiticheskij byullyuten`, 2011.-N7.-s.138-143]

3 *Yusupov Kh. A., Dzhakupov D. A.* Ammonium bifluoride in chemical treatment of boreholes in in-situ uranium leaching. Gornyy zhurnal. 2017, no 4, pp. 57—60. [In Russ].

4 *Aben E., Markenbayev Zh., Khairullaev N., Myrzakhmetov S., Aben Kh.,* “Study of change in the leaching solution activity after treatment with a cavitator”. Mining of Mineral Deposits”, volume 13(2019), Issue 4, pp. 114-120.

5 *Armstrong D, Jeuken B,* Management of in-situ recovery (ISR) mining fluids in a closed aquifer system. Abstracts of the International Mine Water Conference, 2009, South Africa, p. 703-712.

6 *Пирсол И.* Кавитация / Пер. с англ. Ю.Ф. Журавлёва; Под ред. Л. А. Эпштейна. — М.: Мир, 1975. — 96 с. [Pirsol I. Kavitatsy`ya/ Per.s angl. Yu.F. Zhuravlyova, pod res. L.A. Epshtejna.-Mir, 1975.-96S.]

7 *Кнепп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф.* Кавитация. — М.: Мир, 1974. — 678с. [Knepp R., Dejli D. Khemmit F. Kavitatsy`ya.- М.: Мир, 1974.-678 S.]

Юсупов Х.А. – профессор, доктор технических наук, член корреспондент Академии наук РК, e-mail: k.yussupov@satbayev.university

Абен Е.Х. – кандидат технических наук, e-mail: y.aben@satbayev.university

Омиргали А.К. - докторант, e-mail: armanbek@inbox.ru

Хайруллаев Н. – докторант, e-mail: khayrullaev.n@gmail.com