

## ПРИМЕНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЕЙ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАБОТКИ ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА

*Башилова Е.С.*

*Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

**Ключевые слова:** уран, добыча, подземное выщелачивание, месторождение, окислительно-восстановительный потенциал, окислитель, интенсификация, пероксид водорода, нитрит натрия.

**Аннотация.** Задача производственного процесса добычи урана - получение максимального эффекта при минимальных затратах. В статье рассматриваются способы интенсификации процессов подземного скважинного выщелачивания.

Анализ различных способов интенсификации выщелачивания показывает, что все они ускоряют процесс и повышают степень извлечения полезного компонента в несколько раз.

На сегодняшний день в качестве окислителей рассматриваются кислород воздуха, перекись водорода и очищенное трёхвалентное железо в виде  $Fe_2(SO_4)_3$ . Одним из перспективных направлений для исследований процесса интенсификации является применения нитрита натрия ( $NaNO_2$ ) в качестве окислителя.

## THE USE OF OXIDIZING AGENTS AS A WAY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF MINING HYDROGENOUS URANIUM DEPOSITS

*Bashilova E.S.*

*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Alamy*

**Keywords:** uranium, mining, in-situ recovery, deposit, oxidation-reduction potential, redox potential, oxidant, intensification, hydrogen peroxide, sodium nitrite.

**Abstract.** The purpose of the process of uranium mining is to obtain the maximum effect at minimum costs. The article discusses methods of intensifying in-situ recovery processes.

Analysis of various methods of leaching intensification shows that all of them accelerate the process and increase the degree of extraction of the useful component several times.

To date, air oxygen, hydrogen peroxide, and purified ferric iron in the form of  $Fe_2(SO_4)_3$  are considered as oxidizing agents. One of the promising directions for studying the intensification process is the use of sodium nitrite ( $NaNO_2$ ) as an oxidizing agent.

В мире продолжается рост спроса на электроэнергию, центр тяжести которого приходится на страны с формирующейся рыночной экономикой. В создании ядерной энергетики заинтересованы более 20 стран. Из 30 стран, уже эксплуатирующих атомные электростанции, более чем в 10 сооружаются новые энергоблоки либо активно завершается сооружение ранее приостановленных объектов, а в 16 странах имеются планы или предложения в отношении строительства новых реакторов [1].

АО «НАК «Казатомпром» является крупнейшим в мире производителем урана с добычей природного урана, пропорционально долям участия Компании, в размере около 24% от совокупной мировой первичной добычи урана в 2019 году. Казатомпром вместе с дочерними, зависимыми и совместными организациями ведет разработку 24 месторождений, объединенных в 13 уранодобывающих предприятий. Все уранодобывающие предприятия расположены на территории Республики Казахстан и применяют технологию подземного скважинного выщелачивания (ПСВ), уделяя особое внимание передовым практикам [2].

На каждом месторождении имеется ряд проблем и задач, требующих решения. Эти проблемы и задачи могут быть как индивидуальные – для конкретного месторождения, так и общие для нескольких месторождений сразу.

Одной из таких проблем является подбор оптимальных технологических параметров проведения ПСВ при наиболее благоприятных условиях на гидрогенных месторождениях.

Поведение урана при ПСВ в значительной мере зависит как от минерального состава месторождения так и от его типа и возраста. Например лучше всего растворяются черни и окисленные минералы, хуже – настуран, уранинит и смолка. При этом минералы  $U^{4+}$  (уранинит, настуран, коффинит) эффективно растворяются только в присутствии окислителей, которые способствуют повышению окислительно-восстановительного потенциала в пласте [3]. Протекающие окислительно-восстановительные реакции в пласте в значительной мере определяют эффективность технологии выщелачивания урана, полноту извлечения металлов в раствор, удельные расходы химических реагентов, энергозатрат и в целом технико-экономические и экологические показатели производства.

Четырехвалентный уран, однако, отличается слабой растворимостью, как в кислотной, так и щелочной средах. Для достижения экономически приемлемого выщелачивания урана из руды, важную роль играет его окисление до шестивалентного состояния, который имеет более высокую растворимость. Для этого обычно используются трехвалентные соединения железа.

Известно, что в интервале рН от 1,0 до 3,0, который наиболее характерен для процесса ПСВ, наиболее эффективным индивидуальным окислителем является  $Fe^{3+}$ , а комплексных – лишь те, в состав которых опять же входит Fe.

При этом скорость растворения урановых минералов в серноокислотной среде в присутствии Fe в очень существенной степени зависит от значения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), причем в интервале ОВП от 400 до 500 мВ наблюдается резкий скачок скорости выщелачивания.

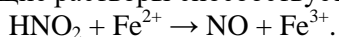
Значение ОВП, в свою очередь, напрямую связано с соотношением  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в выщелачивающем растворе. При серноокислотном ПСВ урана железо всегда в существенном количестве (0,5÷3 г/л и выше) выщелачивается из пласта, так что независимо от характера применяемого окислителя скорость процесса ПСВ определяется соотношением  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  в продуктивных растворах (ПР) [4].

Таким образом мы приходим к выводу, что интенсификация процесса ПСВ неизбежна. По своей сущности все известные способы интенсификации процесса ПСВ можно классифицировать следующим образом: гидродинамические; физические; физико-химические; химические (использование окислителей). Четко разделить физические и химические способы интенсификации процессов невозможно, поскольку между ними существует тесная взаимосвязь: физические способы всегда влекут за собой возникновение промежуточных химических процессов, также инициирующих реакции [5]. Исследования интенсификации процесса выщелачивания с использованием искусственных окислителей проводятся постоянно.

В настоящее время в качестве окислителей рассматриваются кислород воздуха, перекись водорода и очищенное трёхвалентное железо в виде  $Fe_2(SO_4)_3$ . В промышленном масштабе кислород используется на месторождениях Узбекистана, перекись водорода – на месторождении Семизбай (Северный Казахстан).

Анализ различных способов интенсификации выщелачивания показывает, что все они ускоряют процесс и повышают степень извлечения полезного компонента в несколько раз. Однако они не универсальны и могут применяться только в зависимости от условий конкретных месторождений и требуют более тщательного изучения.

Одним из перспективных направлений для исследований является применения нитрита натрия ( $NaNO_2$ ) в качестве окислителя. Лабораторные исследования показали, что введение нитрита натрия в выщелачивающие растворы способствует быстрому окислению железа (II) по следующей схеме:



Положительные лабораторные опыты свидетельствуют о необходимости проведения опытно-промышленных испытаний непосредственно на месторождениях, где планируется применять данный окислитель.

### Список литературы

1. Международное агентство по атомной энергии: Долгосрочный потенциал ядерной энергетики по-прежнему высок: доклад МАГАТЭ [Электронный ресурс]. – <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/long-term-potential-of-nuclear-power-remains-high-iaea-report-russian>
2. Официальный сайт АО «НАК «Казатомпром»: COVID-19: Текущая ситуация и последствия для Казатомпрома [Электронный ресурс]. – [https://www.kazatomprom.kz/ru/media/view/covid19\\_tekushchaya\\_situatsiya\\_i\\_posledstviya\\_dlya\\_kazatomproma](https://www.kazatomprom.kz/ru/media/view/covid19_tekushchaya_situatsiya_i_posledstviya_dlya_kazatomproma)
3. Яшин С.А. К вопросу о преимуществах малореагентного метода при серноокислотном выщелачивании из руд с высоким содержанием коффинита / С.А. Яшин, Б.О. Дуйсебаев, К.Д. Полиновский и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2006. – №9. – С. 294-301.
4. Полиновский К.Д. Закономерности влияния растительного детрита на динамику процесса ПСВ урана // Актуальные проблемы урановой промышленности: Материалы VIII-й международной научно-практической конференции, 3-5 августа 2017: Сборник трудов. – Астана: АО «НАК «Казатомпром», 2017 – С. 33-39.
5. Геотехнология урана: учебное пособие / И.П. Поеджаев, К.Д. Полиновский, О.А. Горбатенко и др. – Алматы: Изд-во «Қазақ университеті», 2017. – 328с.

### Сведения об авторе:

Башилова Елена Сергеевна – PhD докторант, КазННТУ им. К.И. Сатпаева, г.Алматы.