

УДК 622.349.5:66.063.4

DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-7-27-32

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА В РАСТВОР ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ОТ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО СОСТАВА РУД

DEPENDENCE OF URANIUM EXTRACTION INTO SOLUTION DURING HEAP LEACHING ON THE PETROGRAPHIC COMPOSITION OF ORES

В. А. Овсейчук, Забайкальский государственный университет, г. Чита
Mks3115637@yandex.ru

V. Ovseychuk, Transbaikal State University, Chita



Широкое внедрение в производство физико-химических геотехнологий при добыче минерального сырья позволяет вовлечь в эксплуатацию бедные по содержанию полезного компонента руды, которые традиционными физико-техническими методами отрабатывать нерентабельно. Одной из таких новых геотехнологий является кучное выщелачивание скальных урановых руд. При планировании объемов выпуска готовой продукции необходимо иметь аналитический аппарат, который дал бы возможность, используя полученные знания, рассчитать необходимый объем добычи минерального сырья и его сортовой состав. Исходя из поставленной задачи, проведены исследования качественных и количественных характеристик руд, влияющих на показатели извлечения из них полезных компонентов. В результате исследований установлена зависимость показателя извлечения урана в продуктивный раствор при инфильтрационном серноокислотном выщелачивании от вещественного состава руд. Испытаниям подвергались руды локализованные в различных литологических разностях пород кислодо, среднего и основного состава: граниты, фельзиты, трахидациты, андезиты и конгломераты. Руды подвергались классификации по размеру куска с выделением классов крупности +200; -200 +150; -150 +100; -100+70; -70+30; -30 мм. Испытания проводились в лабораторных и полупромышленных условиях. Максимальное извлечение получено для класса – 30 мм в колонках. При выщелачивании в штабелях максимальное извлечение урана в раствор получено для класса крупности -70+30 мм. Причиной более низкого извлечения из класса -30 мм при выщелачивании в полупромышленных условиях явились процессы механической кольтматации, из-за большого количества тонких фракций. Критерием, характеризующим вещественный состав руд, является содержание кремнезема (SiO_2). В процессе испытаний установлена зависимость коэффициента извлечения урана в продуктивный раствор от содержания в рудах кремнезема. Чем выше концентрация кремнезема, тем больше урана переходит в продуктивный раствор в результате выщелачивания при стабильном составе урановой минерализации. Зависимость описывается математической формулой, что позволяет использовать ее для расчета извлечения урана в продуктивный раствор, зная вещественный состав руд

Ключевые слова: урановая руда, кучное выщелачивание, показатель извлечения урана, продуктивный раствор, вещественный состав руд, минеральный состав руд, литологическая разность пород, кольтматация, содержание кремнезема, гранулометрический состав руд

The widespread introduction of physical and chemical geotechnologies in the production of mineral raw materials makes it possible to involve ores that are poor in the content of the useful component, which are unprofitable to work out using traditional physical and technical methods. One of these new geotechnologies is the heap leaching of rocky uranium ores. When planning the volume of output of finished products, it is necessary to have an analytical apparatus that would make it possible, using the acquired knowledge, to calculate the required volume of mineral raw material production and its varietal composition. Based on their task, studies were conducted on the qualitative and quantitative characteristics of ores that affect the indicators of extraction of useful

components from them. As a result of the research, the dependence of the index of uranium extraction into a productive solution during infiltration of sulfuric acid leaching on the material composition of ores was established. Ores localized in various lithological differences of acidic, medium and basic rocks were tested: granites, felsites, trachydacites, andesites and conglomerates. The ores were classified according to the size of the piece with the allocation of fineness classes +200 mm, -200 +150 mm, -150 + 100 mm, -100+70 mm, -70+ 30 mm, -30 mm. The tests were carried out in laboratory and semi-industrial conditions. The maximum extraction was obtained for the class – 30 mm in columns. When leaching in stacks, the maximum extraction of uranium into the solution was obtained for the size class -70+30 mm. The reason for the lower extraction from the -30 mm class during leaching in semi-industrial conditions was the processes of mechanical colmatation, due to the large number of fine fractions. The criterion characterizing the material composition of ores is the content of silica (SiO_2). During the tests, the dependence of the uranium extraction coefficient in the productive solution on the content of silica in the ores was established. The higher the concentration of silica, the more uranium passes into the productive solution during leaching with a stable composition of uranium mineralization. The dependence is described by a mathematical formula, which allows us to use it to calculate the extraction of uranium into a productive solution, knowing the material composition of ores

Key words: uranium ore, heap leaching, uranium extraction index, productive solution, material composition of ores, mineral composition of ores, lithological difference of rocks, colmatation, silica content, granulometric composition of ores

Введение. По мере отработки богатых урановых руд на месторождениях Стрельцовского рудного поля все более важным источником получения закись-оксида урана становится технология кучного выщелачивания. Для устойчивого планирования выпуска готовой продукции нужен механизм простого и эффективного расчета объемов добычи бедно-балансовых руд для запитки установок кучного выщелачивания. С этой целью проведены исследования количественных и качественных характеристик добываемых руд, влияющих на показатель извлечения урана в продуктивный раствор.

Методика исследований. Исследованию подвергались руды, локализованные в различных литологических разностях вмещающих пород на предмет влияния петрографического состава на извлечение урана в продуктивный раствор при кучном выщелачивании

Результаты исследования и их обсуждение. Применение физико-химических методов добычи урана дает возможность вовлечь в эксплуатацию бедные и рядовые по содержанию руды, что в значительной мере повышает эффективность производства концентрата природного урана и расширяет сырьевую базу предприятия.

Проведенные исследования на рудах месторождений Стрельцовского рудного поля позволили установить зависимость извлечения урана при кучном выщелачивании от различных факторов: содержания урана в

добываемых рудах, гранулометрического состава руд, их вещественного и минерального состава [2].

В процессе проведения лабораторных и полупромышленных испытаний на рядовых и бедных рудах текущей добычи (0,030...0,100 %) получена зависимость перевода урана в продуктивный раствор при кучном выщелачивании от вещественного состава руд. В процессе исследований установлено, что критерием вещественного состава руд является содержание кремнезема (SiO_2). Испытаниям подвергались руды, локализованные в интрузивных породах – гранитах, эффузивных породах: фельзитах, трахидацитах, андезитах и осадочных породах: конгломератах и гравелитах. Содержание кремнезема в этих породах колеблется от 48 до 79 %. Минеральный состав урановых руд представлен настураном, уранинитом и в меньшей мере коффинитом и браннеритом. Соотношение рудных урановых минералов в различных литологических разностях пород практически одинаково [6; 7].

Руды текущей добычи подвергались грохочению с выделением классов: +200; -200 +150; -150 + 100; -100+70; -70+ 30; -30 мм [1].

Полученные классы крупности отмывались от шламов, и каждый класс выщелачивался в инфильтрационном режиме сначала в лабораторных условиях, а затем – в опытно-промышленных штабелях [4; 5].

Результаты выщелачивания приведены в таблице и на рис. 1, 2.

Результаты выщелачивания руд, локализованных в разных типах пород /
Results of leaching of ores localized in different types of rocks

Наименование вмещающих пород / Name of the host rocks	Класс крупности, мм / Class size, mm	Содержание кремнезема, %/ Silica content, %	Извлечение, % / Extract, %
Конгломераты разногалечные, гравелиты / Conglomerates of different sizes, gravelites	+200	48,73	35
	-200 +150		41
	-150 +100		48,5
	-100 +70		61,5
	-70 +30		77
	-30		89
Фельзиты / Felsites	+200	75,13	43
	-200 +150		46
	-150 +100		55
	-100 +70		69
	-70 +30		83
	-30		97
Граниты (среднезернистый) / Medium-grained granites	+200	79,25	44
	-200 +150		47
	-150 +100		57
	-100 +70		70
	-70 +30		85
	-30		95
Андезиты / Andesites	+200	52,85	38
	-200 +150		42
	-150 +100		49
	-100 +70		63
	-70 +30		79
	-30		90
Трахидациты / Trachydacites	+200	65,14	41
	-200 +150		44
	-150 +100		52
	-100 +70		66
	-70 +30		84
	-30		94

Как видно из рис. 1, для всех типов вмещающих пород отмечается четкая зависимость возрастания извлечения урана в раствор по мере уменьшения размера выщелачиваемого куска [9]. Максимальное извлечение имеет класс крупности -30 мм. Такие результаты достигнуты в лабораторных условиях. При опытно-промышленных испытаниях классы крупности +200 +30 мм выщелачиваются с аналогичными лабораторными параметрами. Класс крупности - 30 мм имеет значительно меньший коэффициент

извлечения. Анализ причин более низкого извлечения урана в раствор для класса крупности -30 мм по сравнению с лабораторными условиями показал, что причиной этого является механическая коагуляция, возникающая при наличии большого количества тонких рудных частиц [3; 8]. Исходя из полученных результатов исследований, установлено, что оптимальным размером выщелачиваемого куска является класс крупности -70+30 мм [10].

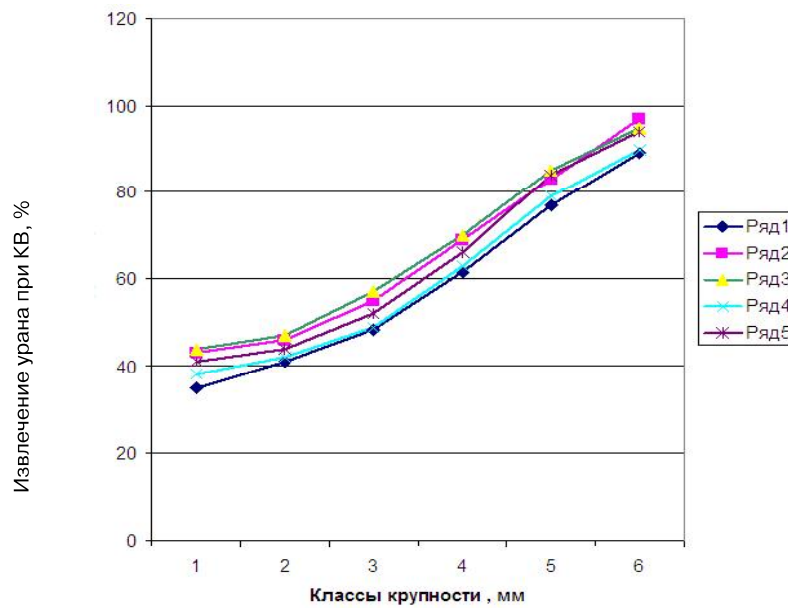


Рис. 1. Зависимость извлечения урана в продуктивный раствор при КВ от класса крупности куска: 1 ряд – конгломераты; 2 ряд – фельзиты; 3 ряд – граниты; 4 ряд – андезиты; 5 ряд – трахидациты / Fig. 1. Dependence of the extraction of uranium into a productive solution at KV on the size class of the piece: 1 row – conglomerates; 2 row – felsites; 3 row – granites; 4 row – andesites; 5 row – trachydacites

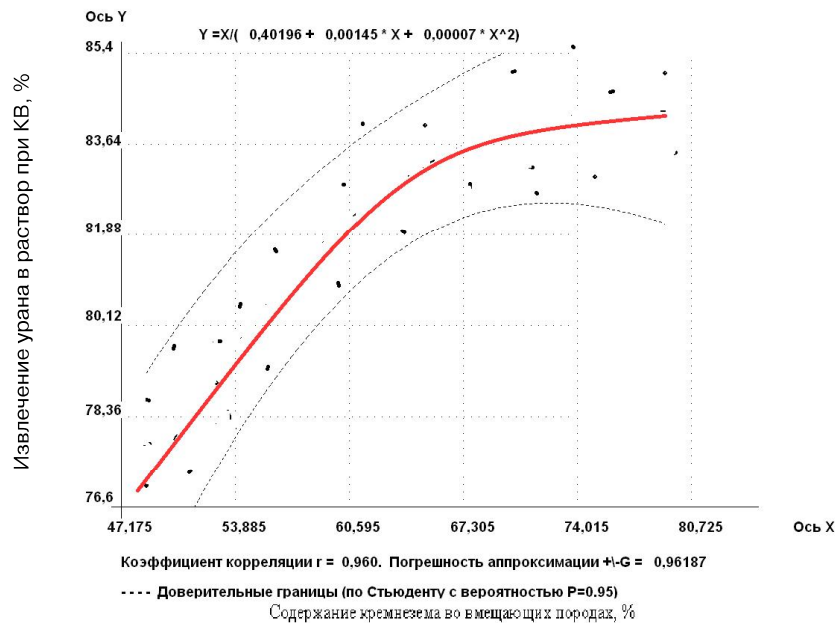


Рис. 2. Зависимость извлечения урана в продуктивный раствор от содержания кремнезема во вмещающих оруденение породах / Fig. 2. Dependence of the extraction of uranium into a productive solution on the content of silica in the rocks containing mineralization

На рис. 2 представлена зависимость извлечения урана из руд, локализованных в различных породах для класса крупности -70+30 мм, от содержания в них кремнезема.

В результате аппроксимации кривой получена зависимость, описываемая формулой

$$\varepsilon_{KB} = C_{SiO_2} / 0,402 + 0,00145 * C_{SiO_2} + 0,00007 * C_{SiO_2}^2,$$

где ε_{KB} – извлечение урана в раствор при КВ, %;
 C_{SiO_2} – содержание кремнезема во вмещающих породах, %.

Заключение. Проведенные исследования результатов кучного выщелачивания в лабораторных и полупромышленных условиях позволили установить зависимость извлечения урана в раствор от петрографического состава вмещающих оруденение

пород через содержание в них кремнезема, выраженного математической зависимостью. Полученная зависимость дает возможность планировать извлечение урана при КВ на основе анализа петрографического состава добываемых руд.

Список литературы

1. Акимов А. М., Котельникова С. А. Разработка и испытание исследовательского комплекса для выщелачивания урана из горных отвалов уранодобывающих шахт // Сборник статей по материалам научно-практической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности». Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2016. С. 238–241.
2. Бейдин А. В., Овсейчук В. А., Морозов А. А. Исследования сортируемости руд, добытых камерными системами, в зависимости от куска сортируемой горнорудной массы // Вестник ЗабГУ. 2017. Вып. № 8. С. 33–40.
3. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Разоренов Ю. И. Опыт добычи урана выщелачиванием / Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва: ООО «Горная книга», 2014. Вып. № 7. С. 97–103.
4. Голик В. И. Анализ полноты выщелачиваемости урана в кучах // Маркшейдерия и недропользование. Москва: ООО «Геомар Недра», 2017. Вып. № 3 (89). С. 24–33.
5. Долгих П. Ф., Остроумова И. Д., Бубнов В. К. Математическое моделирование процесса выщелачивания полезных компонентов из кускового рудного материала // Комплексное использование минерального сырья. 1981. № 5. С. 36–38.
6. Ищукова Л. П., Игошин Ю. А., Авдеев Б. В. и др. Геология Урулюнгуевского рудного района и молибден-урановых месторождений Стрельцовского рудного поля. М.: Геоинформмарк, 1998.
7. Маркелов С. В., Вильмис А. Л., Салахов И. Н. Локальное движение технологических растворов при насыщении рудных кусков в процессе выщелачивания // Новые идеи в науках о Земле: материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах. 2019. С. 56–58.
8. Houmady 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. Sharipov K. T., Sharafutdinov U. Z., Saparov A. B. Current state of the uranium extraction at the NMMC // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. No. 7–8.
10. Sadykov M. P. Development and evaluation of a mathematical model in an in-situ uranium leaching technique // Applied Earth Science: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy Volume 128, Issue 4, 2 October 2019, Pages 158–166.

References

1. Akimov A. M., Kotelnikova S. A. Development and testing of a research complex for leaching uranium from mining dumps of uranium mining mines / Collection of articles based on the materials of the scientific and practical conference “Topical issues of nuclear chemical technologies and environmental safety”. Sevastopol: FSAOU VO “SevSU”, 2016. pp. 238–241.
2. Beidin A. V., Ovseychuk V. A., Morozov A. A. Studies of sortibility of ores extracted by chamber systems, depending on a piece of sorted ore mass / Vestnik ZabGU. Chita: ZabGU, 2017. Issue No. 8. pp. 33–40.
3. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Razorenov Yu. I. Experience of uranium extraction by leaching / Mining information and Analytical Bulletin. Moscow: LLC “Mining Book”, 2014. Issue No. 7. pp. 97–103.
4. Golik V. I. Analysis of the completeness of uranium leachability in heaps / Surveying and subsurface use. Moscow: LLC “Geomar Nedra”, 2017. Issue. No. 3 (89), pp. 24–33.
5. Dolgikh P. F., Ostroumova I. D., Bubnov V. K. Mathematical modeling of the leaching process of useful components from lump ore material // Complex use of mineral raw materials. 1981. No. 5. pp. 36–38.
6. Ishchukova L. P., Igoshin Yu. A., Avdeev B. V., etc. Geology of the Urulyunguyevsky ore district and molybdenum-uranium deposits of the Streltsovsky ore field. M., CJSC “Geoinformmark”, 1998.
7. Markelov S. V., Vilmis A. L., Salakhov I. N. Local movement of technological solutions during saturation of ore pieces during leaching. // In the book: New Ideas in the Earth Sciences. Materials of the XIV International Scientific and Practical Conference: in 7 volumes. 2019. pp. 56–58.

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. Sharipov K. T., Sharafutdinov U. Z., Saparov A. B. Current state of the uranium extraction at the NMMC // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2016. No. 7–8.
10. Sadykov M. P. Development and evaluation of a mathematical model in an in-situ uranium leaching technique // *Applied Earth Science: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy Volume 128, Issue 4, 2 October 2019, Pages 158–166*.

Информация об авторе**Information about the author**

Овсейчук Василий Афанасьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: повышение эффективности разработки скальных руд урановых месторождений, физико-техническая и физико-химическая геотехнология
mks3115637@yandex.ru

Vasily Ovseychuk, doctor of engineering sciences, professor of Underground Mining department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: scientific substantiation and creation of new technologies of ore deposits mining

Для цитирования

Овсейчук В. А. Зависимость извлечения урана в раствор при кучном выщелачивании от петрографического состава руд // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 7. С. 27–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-7-27-32.

Ovseychuk V. Dependence of uranium extraction into solution during heap leaching on the petrographic composition of ores // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 7, pp. 27–32. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-7-27-32.

Статья поступила в редакцию: 07.07.2021 г.

Статья принята к публикации: 15.07.2021 г.