

УДК 622.234.44:622.349.5

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕНИЯ ИЗ РУД ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ



**К. С. САНАКУЛОВ,**  
генеральный директор,  
проф., д-р техн. наук



**М. А. КУРБАНОВ,**  
главный технолог  
Рудоуправления № 5,  
mashkhur.kurbanov@mail.ru



**О. Ф. ПЕТУХОВ,**  
зам. начальника  
ЦНИЛ по науке,  
д-р техн. наук

ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навои, Узбекистан

На комбинате проведен цикл исследований по поиску и обоснованию технологии извлечения из урановых руд Кызылкумского региона рения – весьма востребованного в промышленности химического элемента.

**Ключевые слова:** экстракция, резэкстракция, рений, аммиачная вода, геохимия, уран, выщелачивание, ионит, анионит, контур.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.09.10

## Введение

Главная тенденция в сфере недропользования состоит в стремлении извлечь из природного и техногенного сырья возможно больше полезных компонентов, что достигается путем его комплексной переработки. В этом направлении интенсивно проводятся исследования во всей мировой практике горного дела [1–10].

К числу весьма востребованных производством химических элементов относится рений. Потребность в рении и его соединениях за последние годы имеет стабильный характер, что отражается на динамике цен на мировом рынке. Цена на металлический рений находится в пределах 1200–1900 долл. США/кг, а на перенат аммония – 620–700 долл. США/кг.

В основном это объясняется спросом на платинорениевые катализаторы, срок службы которых составляет около 5 лет. Особенно сильное влияние на уровень цен оказывает спрос на платинорениевые катализаторы с добавкой 0,2–0,6 % рения, используемые при производстве бессвинцовистого высокооктанового бензина. Кроме того, большое значение имеют колебания спроса на рений в энергетическом машиностроении и авиационной технике, где он применяется в качестве добавки в суперсплавы на основе никеля для производства лопаток турбин.

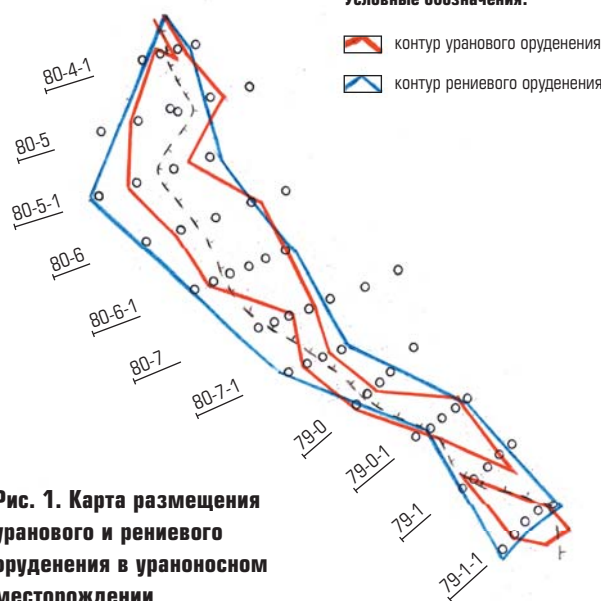
Одними из сырьевых источников рения являются месторождения урановых руд. Цель данного исследования состоит в обосновании и разработке оптимальной технологии попутного извлечения рения из урановых руд Кызылкумского региона, отрабатываемых методом подземного выщелачивания (ПВ) [11–16].

## Распределение рения в ураноносных месторождениях

На основании геологоразведочных работ, выполненных в 1990-х годах в Кызылкумском регионе, удалось установить, что

Условные обозначения:

- контур уранового оруденения
- контур рениевого оруденения



**Рис. 1. Карта размещения уранового и рениевого оруденения в ураноносном месторождении**

распределение рения, как и урана, подчиняется общей геохимической зональности (рис. 1).

Для каждого элемента, содержащегося в кислородных пластовых водах и способных осаждаться в результате восстановления, существует свой особый пространственно разобщенный (местами совмещенный) геохимический барьер. Кроме урана и селена, на восстановительном барьере происходит осаждение меди, цинка, свинца и других металлов. Эти представления подтвердились последующими геологоразведочными работами. Рениеворудные тела, отрисованные по борту, как это видно на разрезах исследуемой залежи (по профилю 80-5-1) и карте рудоносности, практически повторяют контуры уранового оруденения (рис. 2 и 3).

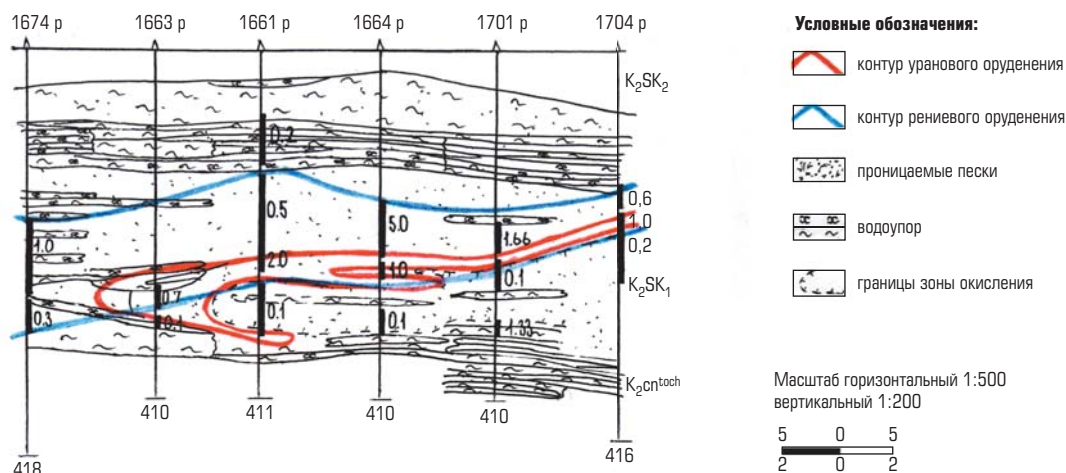


Рис. 2. Разрез зоны Коньяк-Сантон

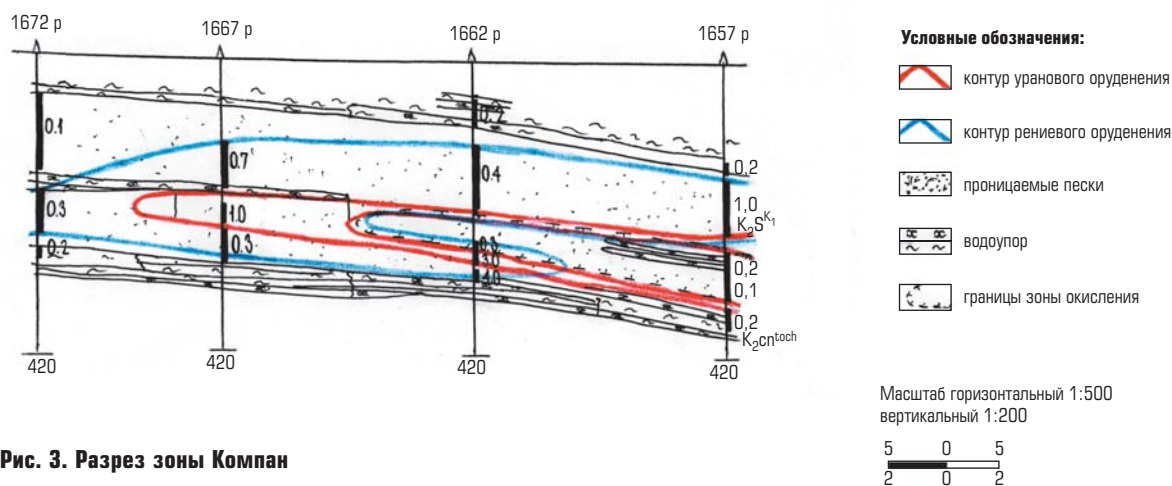


Рис. 3. Разрез зоны Компан

Однако рениевое оруденение как по вертикали, так и по горизонтали несколько дальше смещается в сторону сероцветных неизменных пород. Это, на взгляд авторов статьи, объясняется более высокой способностью рения к окислению и ми-

грации, чем урана. Наиболее далеко за головную часть ролла (иногда до 100–200 м) рениевое оруденение распространяется на ряде месторождений Кызылкумов. Но самые высокие содержания рения обычно приурочены к урановорудным телам. Распределение рения по геологическим зонам показано в табл. 1.

Таблица 1. Содержание рения по геологическим зонам, г/т

Геохимическая зона	Урановая руда	Ареал рассеяния урана	Зона окисления	Неизменные породы
Коньяк-Сантон	0,26	0,23	0,16	0,16
Компан	0,35	0,26	0,18	0,16

Таблица 2. Распределение содержаний рения в продуктивном горизонте месторождений, %

Геохимическая зона	C <sub>ср</sub> , г/т	Классы содержаний, г/т		
		0,1–0,2	0,2–0,3	0,5–0,6
Палеоген	0,148	77	14	–
Коньяк-Сантон	0,177	38	14	–
Компан	0,555	27	18	10

Распределение содержаний рения в целом по рудоносному горизонту приведено в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, наблюдается тенденция роста средних содержаний рения с северной части Центральных Кызылкумов (0,148–0,26 г/т) на юг (0,55–0,77 г/т). Такая закономерность в настоящее время не нашла объяснений и требует более детального ее изучения. Можно только предполагать, что это связано с некоторым увеличением содержаний органического углерода и сульфидов в рудоносных горизонтах в направлении с севера на юг.

Крупные урановые месторождения Сырдарьинской депрессии (Казахстан) характеризуются минимальной рениеносностью по сравнению с другими провинциями. Среднее содержание рения в рудах этих месторождений 0,1 г/т (в единичных случаях 1–2 г/т).

Рудоносные горизонты этих месторождений характеризуются самым низким содержанием сульфидов и органики [17].

Таким образом, подводя итог исследования по этому направлению, нужно отметить, что, несмотря на то, что в процессе эпигенетических изменений происходит накопление рения в породах совместно с ураном, и его содержание в них превышает кларк на 2–3 порядка, все же содержания рения довольно низкие (0,1–1 г/т), и поэтому извлечение рения при ПВ рентабельно только в комплексе с ураном и другими сопутствующими ценными компонентами, т. е. самостоятельного значения рениевое оруденение не имеет.

### Исследование процессов извлечения рения

До настоящего времени не были обнаружены минералы-концентраторы рения в силу их крайне высокой дисперсности. По аналогии с медно-сульфидными месторождениями в песчаниках (Казахстан), где определены минеральные формы нахождения рения, можно предположить, что он находится в сульфидной форме или низших оксидов.

Лабораторные исследования проводили на керновом материале согласно общепринятой методике фильтрационного выщелачивания.

При взаимодействии раствора серной кислоты (10 г/л) с рудным материалом, наиболее благоприятным с позиции выщелачивания, концентрация рения во всем диапазоне отношений Ж:Т практически не изменяется и составляет в среднем 0,3–0,4 мг/л (рис. 4). Повышение исходной концентрации серной кислоты до 20 г/л приводит к появлению пикового содержания рения в продуктивном растворе (рис. 5). Сущность явлений, происходящих при этом, нельзя объяснить однозначно. По-видимому, решающая роль принадлежит воздействию окислителя, которым в данном случае являются ионы  $Fe^{3+}$ , генерируемые в процессе закисления. Кроме того, не исключен захват микроколичеств рения свежееосажденным гидроксидом железа, обладающим, как известно, высокой сорбционной способностью по отношению к анионогенным элементам. Подтверждением вышеизложенного является соответствие пика концентрации рения тому интервалу отношений Ж:Т, в котором происходит резкое снижение pH и повышение окислительно-восстановительного потенциала продуктивного раствора (см. рис. 5).

Известно, что использование окислителя (трехвалентного железа) также приводит к концентрированию рения в процессе выщелачивания и одновременно более раннему появлению максимальных концентраций в растворе. При этом общее извлечение рения увеличивается на 8–10 %.

В одном из опытов в раствор выщелачивающего реагента вводили перекись водорода для имитации сернокислотного выщелачивания с использованием кислорода в качестве окислителя. Несмотря на высокую окислительную емкость рудного материала, и в данном опыте кривая имеет пиковый характер, что, несомненно, связано с окислением рения в процессе выщелачивания.

Аналогичный механизм выщелачивания рения растворами серной кислоты насыщенным кислородом (концентрация кислоты

2,8 г/л, кислорода 0,122 г/л) наблюдался при проведении полевых опытных работ на опытном блоке. Установленная закономерность поведения рения при сернокислотном выщелачивании урана допускает технологический прием, который позволяет повысить степень извлечения рения из продуктивных растворов, а в конечном итоге – из недр.

Известно, что среднее содержание рения в продуктивных растворах большинства месторождений, обрабатываемых методом ПВ, составляет, как правило, от 0,2 до 0,4 мг/л. По некоторым данным, экономически целесообразна сорбционная переработка растворов, содержащих от 0,8 мг/л и выше рения, с 50%-ным извлечением его в готовую продукцию. Естественно, при повышении концентрации рения в продуктивных растворах, направляемых на сорбцию, выход его в готовую продукцию увеличивается, и тем самым уменьшается его потеря за счет разубоживания.

Для исследования процесса сорбционного извлечения рения из сернокислых технологических растворов ПВ ионитом RA гелевой структуры были проведены испытания технологической схемы, включающей селективную сорбцию рения из растворов ПВ и последующую десорбцию рения разбавленными растворами:  $NH_4OH$  (5–7 %) при температуре 40–50 °C;  $NH_4CNS(0,2N)$ ,  $NH_4NO_3(2N) + HNO_3(2N)$  и  $HNO_3(4N)$ .

В процессе исследования были взяты маточные растворы ПВ (pH = 1,8), имеющие следующее содержание компонентов, мг/л: Re – 0,42; U – 0,9; Ca – 380; Mg – 960;  $Fe_{общ}$  – 917;  $SO_4^{2-}$  – 9800.

Насыщение ионита рением осуществляли в течение 15 сут путем пропускания маточных растворов через колонки с неподвижным слоем ионита RA до исходного проскока содержания рения. Емкость насыщенного ионита составила 4,1 мг/г рения, извлечение – 17 %.

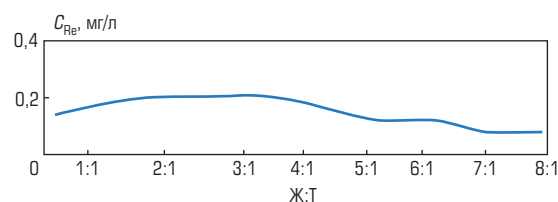


Рис. 4. Выщелачивание рения при кислотности 10 г/л

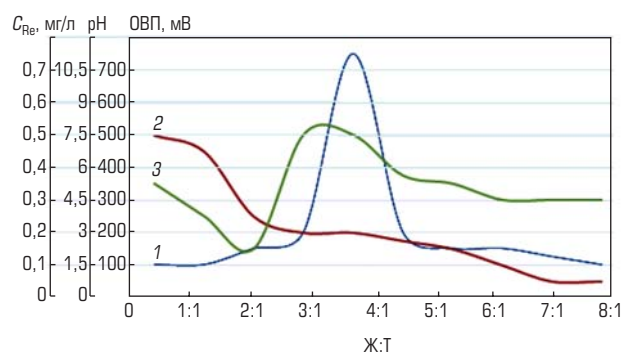


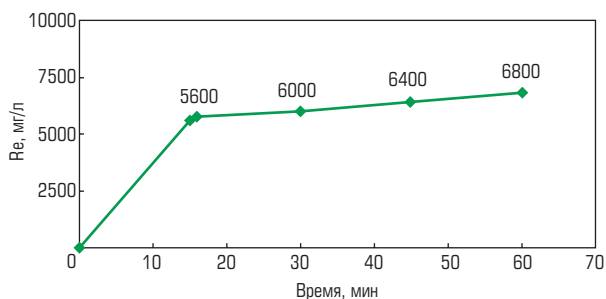
Рис. 5. Выщелачивание рения при кислотности 20 г/л: 1 –  $C_{Re}$ ; 2 – pH; 3 – ОВП

**Таблица 3. Результаты исследования десорбции насыщенного ионита RA**

Десорбирующий раствор	Содержание Re в насыщенном ионите, мг/г	Содержание Re в товарном регенерате, мг/л	Извлечение, %
NH <sub>4</sub> OH (5–7 %)	4,1	45	10,6
NH <sub>4</sub> CNS(0,2N)	4,1	132	29,8
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (2N) + HNO <sub>3</sub> (2N)	4,1	520	54,5
HNO <sub>3</sub> (4N)	4,1	570	58,1

**Таблица 4. Зависимость насыщения экстрагента рением из товарного регенерата от соотношения фаз В:О**

Соотношение фаз В:О	Насыщение экстрагента рением, мг/л	Извлечение, %
7:1	3850	96,5
10:1	5625	98,7
12:1	6820	99,7
15:1	6730	78,7
18:1	6890	67,2



**Рис. 6. Зависимость насыщения органики рением от времени контакта фаз**

Десорбцию рения с насыщенной смолы проводили в статическом режиме при следующих параметрах: соотношение смолы к десорбирующему раствору ( $V_{см}:V_p$ ) = 1:(2÷4); температура  $T = 40÷45$  °C; время  $t = 10$  ч.

Судя по представленным в **табл. 3** усредненным данным, разбавленные нагретые растворы аммиака обладают низким десорбирующим свойством по рению из ионита RA.

Из всех опробованных исходных десорбирующих растворов относительно высокое извлечение рения достигнуто раствором азотной кислоты HNO<sub>3</sub>(4N) – 58,1 %. Таким образом, использование ионита RA гелевой структуры позволяет обеспечить селективное извлечение рения не только на стадии сорбции, но и на операции десорбции. Для определения ресурсных возможностей ионита RA были проведены дальнейшие исследования. При

повторном насыщении той же партии ионита рением в маточных растворах ПВ в течение двух месяцев получены величины емкости по рению в пределах 3,4–3,7 мг/г.

Насыщенный ионит RA подвергали обработке раствором азотной кислоты HNO<sub>3</sub>(4N). Получены товарные регенераты со средним содержанием рения 550 мг/л. Таким образом, за три цикла сорбции-десорбции активность ионита RA по отношению к рению не изменилась. Регенерированный ионит вновь насыщается рением в маточных растворах ПВ. В мировой практике определено, что наиболее селективным для рения экстрагентом при извлечении из кислых растворов является триалкиламин. Несомненным преимуществом этого экстрагента является легкость рекстракции рения водным аммиаком. Именно поэтому авторами статьи была проверена возможность использования ранее испытанной смеси ТАА, ТБФ и керосина для целей экстракционного концентрирования рения из товарных регенератов, полученных при сорбции рения с ионита RA.

Для этого на растворах товарного регенерата была изучена зависимость насыщения экстрагента рением от соотношения водной и органической фаз (В:О). Ренийсодержащие регенераты в течение 60 мин при активном перемешивании подвергали контакту с подкисленным до pH = 2 раствором экстрагента (состав: 10 % ТАА, 10 % ТБФ и 80 % керосина). Соотношение объемов В:О было различным. Полученные результаты представлены в **табл. 4**.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что оптимальным соотношением фаз В:О при экстракции рения из товарного регенерата является 12:1.

Изучение кинетики экстракции рения из товарного регенерата показало, что максимальное насыщение экстрагента рением происходит в первые минуты контакта органической и водной фаз (**рис. 6**).

Исследование процесса твердофазной рекстракции рения с насыщенной органики проводили по уже известной схеме: добавлением 25%-ной аммиачной воды с интенсивным перемешиванием и последующей фильтрацией образованного ренийсодержащего осадка.

Судя по приведенным данным, применение комбинированной схемы – сорбционное извлечение рения ионитом RA из маточных растворов ПВ, последующая десорбция насыщенного ионита азотнокислым раствором, жидкофазная экстракция рения из товарного регенерата и твердофазная рекстракция аммиачной водой – обеспечивает эффективное концентрирование металла в 16200 раз.

### Заключение

На Навоийском горно-металлургическом комбинате проведен цикл исследований по поиску технологии извлечения из добываемых урановых руд рения – весьма востребованного в промышленности химического элемента. В результате лабораторных и натурных опытов наибольшую эффективность показала комбинированная технологическая схема, позволившая увеличить концентрацию рения в товарном продукте до 6800 мг/л с извлечением до 99,7 %.

**Библиографический список**

1. Каплун Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. Спец. выпуск № 15. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Вып. 3. С. 5–11.
2. Чантурия В. А., Вайсберг Л. А., Козлов А. П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 3–9. DOI: 10.17580/or.2014.02.01
3. Чантурия В. А., Козлов А. П. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал. 2014. № 7. С. 79–84.
4. Гурин К. К., Башлыкова Т. В., Ананьев П. П., Бобоев И. Р., Горбунов Е. П. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики от переработки упорных руд смешанного типа // Цветные металлы. 2013. № 5. С. 41–45.
5. Шумилова Л. Научное обоснование инновационной технологии извлечения золота: разработка, апробация в условиях Забайкалья. – Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2014. – 372 с.
6. Neizvestnykh N. N., Bogdanov A. V., Myachin A. V., Fedotov K. V. Joint Processing of ore from several gold-silver deposits at one gold-processing factory // Life Science Journal. 2014. Vol. 11. Special Issue No. 9. P. 277–280.
7. Solodov I. N. ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russain Federation) // Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 78.
8. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits // Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. P. 172.
9. Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8th ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2015. – 512 p.
10. Suhasini R., Mallick A. K., Vasumathi N., Kumar T. V. V., Rao S. S. et al. Evaluation of Flotation Collectors in Developing Zero Waste Technology for Processing Iron Ore Tailings // International Journal of Engineering Research. 2015. Vol. 4. Iss. 11. P. 604–608.
11. Мещеряков Н. М. Разработка и эксплуатация экстракционного процесса извлечения рения из урановых руд Навоийского ГМК // Рений, молибден, вольфрам – перспективы производства и промышленного применения : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – М., 1998. С. 14.
12. Холмогоров А. Г., Пашков Г. Л., Кононова О. Н., Калякина О. П. Сорбционное извлечение рения из минерального и техногенного сырья // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. № 6. С. 397–408.
13. Чекарчев А. М., Трошкина И. Д., Нестеров Ю. В., Майборода А. Б., Ушанова О. Н., Смирнов Н. С. Попутное извлечение рения при комплексной переработке продуктивных растворов подземного выщелачивания урана // Химия в интересах устойчивого развития. 2004. № 1. С. 115–119.
14. Культин Ю. В., Новгородцев А. А., Фоменко А. Е., Васюта О. Н., Алтунин О. В. Оценка возможности разработки комплексного уран-молибден-ренийевого месторождения способом подземного выщелачивания // Горный журнал. 2007. № 6. С. 47–51.
15. Скрипко С. В., Хосилов Н. Д., Петухов О. Ф. Определение возможностей попутного извлечения рения из продуктов подземного выщелачивания // Горный вестник Узбекистана. 2010. № 4(43). С. 35–40.
16. Абишева З. С., Загородняя А. Н., Тимофеев В. Н., Мылтыкбаева Л. А., Бочевская Е. Г. Интенсификация десорбции рения с аннионита АМП, насыщенного из промышленного урансодержащего раствора подземного выщелачивания полиэлементных руд // Цветные металлы. 2012. № 10. С. 78–83.
17. Загородняя А. Н., Абишева З. С., Садыканова С. Э., Шарипова А. С., Бочевская Е. Г. Растворы подземного выщелачивания урансодержащих руд – потенциальный источник увеличения производства перрената аммония в Казахстане // Цветные металлы. 2012. № 2. С. 53–60. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 9, pp. 69–74  
DOI: 10.17580/gzh.2018.09.10

**Investigation and development of hybrid extraction of rhenium during in-situ ore leaching**

**Information about authors**

**K. S. Sanakulov**<sup>1</sup>, Chief Executive Officer, Professor, Doctor of Engineering Sciences

**M. A. Kurbanov**<sup>1</sup>, Chief Production Engineer of Mine Management 5, mashkhur.kurbanov@mail.ru

**O. F. Petukhov**<sup>1</sup>, Deputy Head of Science at the Central Research Laboratory, Doctor of Engineering Sciences

<sup>1</sup> Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Navoi, Uzbekistan

**Abstract**

The primary target of subsoil management is to extract maximum possible useful component from natural materials and mining waste, which is achieved through integrated processing. The research in the indicated direction is extensively carried out in the international practice of mining.

The most industrially wanted chemical elements include rhenium. One of the sources of rhenium is the uranium deposits in the Republic of Uzbekistan. This study is aimed to substantiate and develop an optimal technology for rhenium by-recovery from Kyzylkum uranium produced by the method of in-situ leaching.

The Navoi Mining and Metallurgical Combinat has carried out an investigation cycle to develop an efficient technology for rhenium recovery from uranium. As a result of laboratory and full-scale testing, the highest efficiency has been reached with the hybrid process flowsheet including: adsorption of rhenium from ISL mother solution by ion exchanger RA; subsequent desorption of pregnant ion exchanger by nitric-acid solution; liquid extraction of rhenium from the marketable reagent and solid-phase re-extraction by ammonia water. This process flowsheet enables an increase in the concentration of rhenium in the marketable product up to 6800 mg/l at the recovery up to 99.7%.

**Keywords:** extraction, re-extraction, rhenium, ammonia water, geochemistry, uranium, leaching, ion exchanger, anion exchanger, contour.

**References**

1. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V., Radchenko D. N. Scientific-methodical basis of design of ecologically balanced cycle of complex mastering and saving of Earth soils. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2015. Special issue No. 15. Conditions of Sustainable Development in the Mineral Mining Industry of Russia. Iss. 3. pp. 5–11.
2. Chanturiya V. A., Vaisberg L. A., Kozlov A. P. Promising trends in investigations aimed at all-round utilization of mineral raw materials. *Obogashchenie Rud*. 2014. No. 2. pp. 3–9. DOI: 10.17580/or.2014.02.01
3. Chanturiya V. A., Kozlov A. P. Development of physical-chemical basis and working out of innovation technologies of deep processing of anthropogenic mineral raw materials. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 7. pp. 79–84.
4. Gurin K. K., Bashlykova T. V., Anan'ev P. P., Boboev I. R., Gorbunov E. P. Extraction of gold from the gold-extraction plant tailings, formed as a result of processing of mixed refractory ores. *Tsvetnye Metally*. 2013. No. 5. pp. 41–45.
5. Shumilova L. V. Scientific substantiation of the innovative technology of gold leaching (working, testing in conditions of Transbaikalie). Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2014. 372 p.
6. Neizvestnykh N. N., Bogdanov A. V., Myachin A. V., Fedotov K. V. Joint Processing of ore from several gold-silver deposits at one gold-processing factory. *Life Science Journal*. 2014. Vol. 11. Special Issue No. 9. pp. 277–280.
7. Solodov I. N. ISR Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine (Russain Federation). *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2014. p. 78.
8. Yurtaev A., Golovko V. Prospects of block underground leaching application on Streltsovskoe field deposits. *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear*

- Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. p. 172.
9. Wills B. A., Finch J. Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 8th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 512 p.
  10. Suhasini R., Mallick A. K., Vasumathi N., Kumar T. V. V., Rao S. S. et al. Evaluation of Flotation Collectors in Developing Zero Waste Technology for Processing Iron Ore Tailings. *International Journal of Engineering Research*. 2015. Vol. 4, Iss. 11. pp. 604–608.
  11. Meshcheryakov N. M. Development and exploitation of extraction process of rhenium extraction from uranium ores of Navoi MMC. *Rhenium, molybdenum, tungsten as the prospects of production and industrial application: theses of report of International scientific-technical conference*. Moscow, 1998. p. 14.
  12. Kholmogorov A. G., Pashkov G. L., Kononova O. N., Kalyakina O. P. Adsorption of rhenium from minerals and mining waste. *Chemistry for Sustainable Development*. 1998. No. 6. pp. 397–408.
  13. Chekmarev A. M., Troshkina I. D., Nesterov Yu. V., Maiboroda A. B., Ushanova O. N., Smirnov N. S. Associated Rhenium Extraction in Complex Processing of Productive Solutions of Underground Uranium Leaching. *Chemistry for Sustainable Development*. 2004. No. 1. pp. 113–117.
  14. Kultian Yu. V., Novgorodtsev A. A., Fomenko A. E., Vasyuta O. N., Altunin O. V. Estimation of possibility of development of complex uranium-molybdenum-rhenium deposit via underground leaching. *Gornyi Zhurnal*. 2007. No. 6. pp. 47–51.
  15. Skripko S. V., Khosilov N. D., Petukhov O. F. Determination of the possibility of accompanying extraction of rhenium from the productive solution of underground leaching. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2010. No. 4(43). pp. 35–40.
  16. Abisheva Z. S., Zagorodnyaya A. N., Timofeev V. N., Myltykbaeva L. A., Bochevskaya E. G. Intensification of rhenium desorption from anionite AMP saturated by industrial solution, resulted in underground leaching of uranium-containing polyelement ores. *Tsvetnye Metally*. 2012. No. 10. pp. 78–83.
  17. Zagorodnyaya A. N., Abisheva Z. S., Sadykanova S. E., Sharipova A. S., Bochevskaya E. G. Solutions of underground leaching of uranium-containing ores – a potential source for increasing of ammonium perrhenate production in Kazakhstan. *Tsvetnye Metally*. 2012. No. 2. pp. 53–60.

УДК 622.234.42:[546.719+546.791]

## РОЛЬ И ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА, НА ПОПУТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕНИЯ



О. П. ВАСИЛЕНКО,  
начальник ЦНИП,  
vasilyonok@ngmk.uz



Б. Т. РУЗИЕВ,  
начальник лаборатории



И. А. ИВАНОВА,

ведущий инженер-технолог

Геотехнологическая лаборатория по урану

ЦНИП, ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат»,  
Навои, Узбекистан

### Введение

В рамках установки на рациональное использование минеральных ресурсов недр важным направлением является извлечение всех имеющихся полезных компонентов из комплексных руд [1]. При подземном выщелачивании (ПВ) урана в качестве попутного компонента выступает рений. Вопросы извлечения рения из продуктивных растворов и его дальнейшего производства рассмотрены в ряде работ [2–14].

В Центрально-Кызылкумской провинции уран извлекают из руд месторождений Северный Букинай, Южный Букинай, Бешкак, Кетмончи, Сугралы, Северный Канимех, Сабырсай. Среднее содержание рения в урановых рудах составляет обычно 0,5–2 (иногда до 15) г/т.

Изложены результаты исследований по вопросам попутного извлечения рения при подземном выщелачивании урана. Проведено сравнение скоростей выщелачивания урана и рения с применением и без применения окислителей, построены графики фильтрационного выщелачивания.

**Ключевые слова:** геохимия рения, миграционная способность, окислительная среда, особенности локализации, геотехнологический режим, выщелачивание, окислитель, скорость выщелачивания.

**DOI:** 10.17580/gzh.2018.09.11

Геохимия рения во многом определяется высокой миграционной способностью  $Re^{7+}$  в окислительной среде и малой миграционной способностью  $Re^{4+}$  в восстановительной: его содержание возрастает в зоне восстановления, достигая 1,4–2,4 г/т, и уменьшается до 0,004 г/т в зоне окисления, а в безрудных породах – до 0,005 г/т. Таким образом, резкая смена окислительно-восстановительных условий, ответственных за формирование эпигенетических урановых руд, может служить причиной концентрирования рения в рудах.

На примере рений-селен-ванадий-скандий-уранового месторождения Северный Канимех (Центрально-Кызылкумская провинция) установлено, что рениевое орудинение перекрывает урано-