

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАЦИОНАЛЬНАЯ АТОМНАЯ КОМПАНИЯ «КАЗАТОМПРОМ»
АО «ВОЛКОВГЕОЛОГИЯ»



СБОРНИК ТРУДОВ

IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

7-9 ноября 2019, г. Алматы, Республика Казахстан



KAZATOMPROM
NATIONAL ATOMIC COMPANY



АО «НАЦИОНАЛЬНАЯ АТОМНАЯ КОМПАНИЯ «КАЗАТОМПРОМ»
АО «ВОЛКОВГЕОЛОГИЯ»



СБОРНИК ТРУДОВ
IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УРАНОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

7 - 9 ноября 2019 года

Часть 2

Алматы
2019

УДК 622.34(063)
ББК 33.2
А43

Редакционная коллегия:

*Пирматов Г.О., Бекмуратов Б.М., Молдаши Д.М.,
Омиргали А.К., Горкун В.И.*

Актуальные проблемы урановой промышленности: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Часть 2. 7-9 ноября 2019 г. – Алматы: Казак университеті, 2019. – 434 с.

ISBN 978-601-04-4116-3

В сборнике представлены доклады по актуальным проблемам атомной отрасли и урановой промышленности, связанным с расширением и укреплением урановой минерально-сырьевой базы, современными методами ее прогнозирования и разведки; актуальными вопросами повышения эффективности и интенсификации технологии подземного выщелачивания урана; технологиями и актуальными проблемами дореакторного ядерно-топливного цикла – конверсией, обогащением и производством ядерного топлива; ресурсами и эффективными технологиями производства редких, редкоземельных металлов и высокотехнологичной продукции на их основе; безопасным функционированием предприятий атомной отрасли и управлением техногенными отходами. А также по актуальным вопросам энерго- и ресурсосбережения в атомной промышленности. Не остались без внимания вопросы по правовым, макроэкономическим и образовательным аспектам функционирования атомной отрасли. Сборник рекомендуется для специалистов атомной отрасли и урановой промышленности.

**УДК 622.34(063)
ББК 33.2**

Құрметті конференцияға қатысушылар!

Сіздерді «Уран өнеркәсібінің өзекті мәселелері» атты ІХ Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында қошеметтеймін.

«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ әлемнің әртүрлі елдеріндегі әріптестерімен атом энергетикасын қауіпсіз дамыту, білім беру, ғылым және өндіріс саласындағы ынтымақтастық үшін әрқашан ашық.

Осы конференция тәжірибе алмасу үшін және атом саласындағы келешегі мол ғылыми әзірлемелермен және инновациялық жобалармен танысу үшін халықаралық ғылыми-практикалық өзара ықпалдасудың жарқын мысалы болып табылады, бұл энергетикалық даму мәселелерінің кешенін анағұрлым тереңірек түсінуге, ядролық-отын циклінің барлық буындарын жетілдіру бойынша тиімді шешімдер жасап шығаруға ықпал ететін болады.

Ғалымдар мен атом саласы мамандарының ғылыми-техникалық саладағы жемісті бірлескен жұмысы минералдық-шикізат базасын болжау, барлау және дамыту, уран өндіру технологиясы және уран өнімдерін алу, қоршаған ортаны қорғау және өндіріс қауіпсіздігі саласында заманауи және жаңашыл әдістерді айқындауға мүмкіндік беретініне сенемін.

Сіздерге әлемдік атомды дамыту үшін жемісті шығармашыл жұмыс пен жаңа кәсіби жетістіктер тілеймін!



**«Қазатомөнеркәсіп» ҰАК» АҚ
Басқарма төрағасы**

Ғ. Пірматов

Уважаемые участники конференции!

Приветствую вас на IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности».

АО «НАК «Казатомпром» всегда открыт к сотрудничеству в области безопасного развития атомной энергетики, образования, науки и производства с партнерами из разных стран мира, следуя политике Казахстана по развитию исключительно мирного атома.

Настоящая конференция является ярким примером эффективного международного научно-практического взаимодействия для обмена опытом и ознакомления с перспективными научными разработками в атомной отрасли и инновационными проектами, что будет способствовать более глубокому пониманию комплекса проблем энергетического развития, выработке эффективных решений по усовершенствованию всех звеньев ядерно-топливного цикла.

Уверен, что плодотворная совместная работа ученых и специалистов атомной отрасли в научно-технической сфере позволит выявить самые современные и новаторские методики в сфере прогнозирования, разведки и развития минерально-сырьевой базы, технологии добычи урана и получения урановой продукции, охраны окружающей среды и безопасности производства.

Желаю вам плодотворной творческой работы и новых профессиональных достижений для развития мирного атома!

**Председатель Правления
АО «НАК «Казатомпром»
Г. Пирматов**

Dear conference participants!

It is with great pleasure that I welcome you at the IX International Scientific Conference “Topical Issues of Uranium Industry”.

NAC Kazatomprom JSC is always open for cooperation in the field of safe nuclear energy development, education, science and production, with partners from around the world, following the adherence of Kazakhstan to the development of a peaceful atom.

This conference is a good example of successful international cooperation for exchange of experience and introduction of promising nuclear developments and innovative projects, that will contribute to a deeper understanding of a range of nuclear energy problems, finding solutions for improvement of all stages of the nuclear fuel cycle.

I am sure that the fruitful joint work of scientists and experts will result in finding the up-to-date and innovative methods of forecasting, exploration and expansion of the mineral resource base, technologies of uranium mining, uranium products output, environmental protection and occupational safety.

I wish you fruitful creative work and new professional achievements for the development of a peaceful atom!

**Chief Executive Officer
NAC Kazatomprom JSC
G. Pirmatov**

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ РУДНИКА «КУЛАНДЫ» АО «СП «АКБАСТАУ»

Тасибеков Х.С., Әзімхан Қ. Ә., Буркурманов Б.Б., Бекишев Ж.Ж.

ДГП «ЦФХМА» РГП КазНУ им. аль-Фараби,
ТОО «Каратау», ДЗО АО «НАК «Казатомпром»,
АО «СП «Акбастау» АО «НАК «Казатомпром»

Актуальность. В государственной программе индустриально-инновационного развития утвержденная Указом Президента Республики Казахстан – Назарбаевым Нурсултан Абишевичем №874 от 1 августа 2014 года, особо отмечено о необходимости «Создание и развитие редкоземельной промышленности как один из важнейших стратегических направлений в долгосрочной Программе развития нашего государства» [1].

Рост спроса на редкоземельные металлы (РЗМ) в мире в ближайшие 5–7 лет прогнозируется на уровне 8–11 % в год, что свидетельствует о необходимости запуска новых проектов в течение ближайших 3–5 лет. Перспективы мирового рынка РЗМ являются благоприятными для поставщиков. При этом считается, что в среднесрочной перспективе мировые перерабатывающие мощности будут адекватны прогнозируемому уровню мирового спроса на редкие земли, однако в ближайшие годы на рынке будет остро ощущаться нехватка сырья [2].

Имеющийся потенциал у АО «НАК «Казатомпром» в области редких и редкоземельных элементов позволяет в ближайшей перспективе решить вопрос обеспечения отечественных производств: радиоэлектроники, приборостроения, атомной техники, машиностроения, химической промышленности, металлургии и др. Стоит отметить, что спотовые цены на уран в мировом рынке сырья значительно снизились, на 40% за последние 5 лет [3], что в свою очередь, стимулирует искать пути диверсификации действующих уранодобывающих предприятий в области попутного извлечения редких элементов для достижения дополнительной прибыли от реализации готового продукта в виде коллективного концентрата РЭ, а также увеличения стоимости АО «НАК «Казатомпром» в целом.

В целях возможности диверсификации производства нами была проведена работа по оценке разведанных запасов по участкам 1, 3 и 4 месторождения «Буденовское», расположено в юго-западной части Шу-Сарысульской депрессии, относящий к пластово-инфильтрационному типу месторождения, которое выявлено в 1979 году экспедицией №27 ВПГО при бурении поисково-рекогносцировочного профиля XV в процессе проведения поисков масштаба 1:200000 в проницаемых отложениях верхнего мела.

Минерально-сырьевая база. Подсчет запасов попутных полезных компонентов (ППК) производился в соответствии с "Требованиями к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов" (ГКЗ СССР, 1982 г.). Согласно вышеуказанной инструкции ППК участка в зависимости от форм нахождения, связи с основным полезным ископаемым и учетом требований к условиям их извлечения, отнесены к третьей группе, вследствие их содержания в урановой руде.

Подсчет запасов ППК проведен в пределах контуров подсчетных блоков балансовых запасов урана категорий С₁ и С₂ по формуле:

$$P=Q_p \cdot C_{ппк}, \quad (1)$$

где: Q_p – урановая горнорудная масса блока, тыс. т; $C_{ппк}$ – среднее содержание ППК, г/т.

Определение содержаний ППК проведено по результатам опробования керна буровых скважин. Для этих целей из дубликатов рудных проб формировались групповые пробы по балансовым (по урану) скважинам, выход керна в которых был не менее 70% по урановой руде. В групповую пробу отбирались навески частных проб из урановых интервалов пропорционально их длине. Всего за этап разведочных работ по участку были исследованы 166 групповые пробы, по которым были выведены средние содержания (таблица 1).

Среднее содержание скандия, иттрия и суммы редких земель определялось, как среднеарифметическое содержаний групповых проб и составили на участках 1 и 3: Y – 11,87 г/т, Sc – 2,38 г/т, Re – 0,335 г/т и Σ TR – 68,23 г/т, на участке 4: Y – 10,39 г/т и Σ TR – 113,63 г/т, а принятые по аналогии средние содержания для инкудукского горизонта участка 4 составляют Y – 8,26 г/т и Σ TR – 65,64 г/т. Ввиду небольших колебаний содержаний вышеперечисленных элементов пределах одного продуктивного горизонта, средние содержания приняты едиными по каждому участку. Средние содержания компонентов определялись статистически и являются надежными. Вследствие вышеуказанного, распространение средних содержаний на весь горизонт является корректным.

Также проведен подсчет запасов скандия, иттрия, рения и суммы редких земель на участках 1, 3 и 4 месторождения «Буденовское», который представлен в таблице 1. ППК подсчитывались только в проницаемых отложениях в контуре балансового уранового оруденения.

Согласно таблице 1 значительные запасы имеют скандий, иттрий и сумма РЗМ. Рений имеет десятки тонн только на участке 1, а по участкам 3 и 4 незначительные запасы.

Ежеквартально по участкам месторождения «Буденовское» отбираются пробы продуктивных растворов (ПР) на состав РЗМ, скандия, иттрия и рения, результаты которых приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что содержания скандия, иттрия, рения и РЗМ в ПР относительно стабильные, в связи с чем, были взяты сумма средних концентраций скандия, иттрия, рения и РЗМ. Так как содержания рения незначительные, для переработки были взяты сумма средних содержаний скандия, иттрия и РЗМ, который составляет 14,73 мг/л ввиду возможности проведения сорбции на анионных смолах.

Таблица 1 – Подсчет запасов скандия, иттрия, рения и суммы редких земель на участках 1, 3 и 4 месторождения «Буденовское» в контурах подсчетных геологических блоков

№ участка	Общая урановая горнорудная масса	Средние содержания, г/т				Запасы, т			
		Sc	Y	Σ TR	Re	Sc	Y	Σ TR	Re
Участок 1	23324	2,24	12,7	67,8	0,69	52,4	296,4	1581,3	16,05
Участок 3	29548	2,7	14,6	71,4	0,30	79,6	431,2	2110,1	8,85
Участок 4	7779	0,40	9,9	103,7	0,000	3,5	77,2	807,0	0,026
Итого	60 651	2,23	13,27	74,17	0,041	135,5	804,8	4 498,4	24,926

Таблица 2 – Содержание скандия, иттрия, рения и РЗМ

Квартал года	№ участка	Содержание, мг/дм ³ Sc	Содержание, мг/дм ³ Y	Содержание, мг/дм ³ Σ TR	Содержание, мг/дм ³ Re
3 квартал 2018 года	Участок 1	0,19	1,78	11,90	0,059
	Участок 3	0,22	1,78	11,89	0,058
	Участок 4	0,18	2,78	13,48	0,041

РАЗДЕЛ IV. РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

1 квартал 2019 года	Участок 1	0,20	1,58	11,84	0,085
	Участок 3	0,17	1,49	11,71	0,067
	Участок 4	0,11	2,11	12,20	0,069
2 квартал 2019 года	Участок 1	0,21	1,81	13,11	0,086
	Участок 3	0,21	1,84	13,97	0,076
	Участок 4	0,15	2,61	13,35	0,092
	Среднее содержани е	0,16	1,96	12,61	0,07
Среднее содержание: Σ TR+Y+Sc	14,73				

Для оценки производительности предприятия и усредненных показателей подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) основные геотехнологические параметры отработки урановых блоков для месторождения «Буденовское» были взяты по аналогии с другими ближайшими месторождениями Чу-Сарысуйской урановорудной провинции. Для большинства месторождений коэффициент извлечения урана составляет 85-90% при среднем отношении Ж:Т = 3:1. Таким образом, учитывая результаты опытов по выщелачиванию, можно предположить, что при ориентировочном достижении Ж:Т = 3:1 на месторождении «Буденовское» сумма РЗМ будет переходить в раствор на 10–20%, что позволяет вести параллельную добычу РЗМ с ураном.

Для предварительных расчетов целесообразности проекта по попутному извлечению суммы РЗМ принимается степень извлечения суммы РЗМ из руды – 20%.

Ниже приведены принимаемые в расчете показатели подземного выщелачивания:

- горнорудная масса 60 651 тыс. т;
- процент извлечения РЗМ – 20 %;
- показатель Ж:Т = 3:1;
- среднее содержание суммы РЗМ в продуктивном растворе 14,73 мг/дм³;
- срок отработки 15 лет;
- часовой поток продуктивного раствора 1200 м³/час;
- годовая производительность по сумме РЗМ 72,46 т;
- стоимость предоставления маточных растворов сорбции урана на участок извлечения суммы РЗМ не учитывается и принимается равной нулю. Данные расчеты взяты без учета запасов участка 2 месторождения «Буденовское», если учитывать, что объемы ПР перерабатываются в общих цехах переработки, то годовую производительность по сумме РЗМ увеличиться в 2 раза.

Объем циркулирующего раствора можно приблизительно определить, исходя из суммы рассчитанного объема циркулирующего раствора в недрах выщелачиваемых блоков и его количества в оборудовании технологического цикла.

При запасах РЗМ 5 438,7 т и длительности эксплуатации месторождения 15 лет можно определить поток выщелачиваемого РЗМ:

$$Q_{\text{РЗМ}} = (5\,438,7 \text{ т} \cdot 0,2 \cdot 0,99) / 15 \text{ лет} = 71,79 \text{ т/год или } 8,35 \text{ кг/час} \quad (2)$$

Описание технологии извлечения РЗМ

Разработка комбинированного метода извлечения, разделения и концентрирования РЗМ. Получение коллективного концентрата РЗМ с низким содержанием примесных элементов. Для этого применяются следующие технологические приемы: разделение по основности,

осаждение некоторых металлических примесей в виде сульфидов, а также осаждение РЗМ в виде сульфатов, двойных сульфатов, оксалатов, карбонатов или гидроокисей [4]. После фильтрации из раствора можно осадить редкоземельные металлы в виде двойных сульфатов [5]. Известны работы по возможности растворения смеси гидроокисей редкоземельных металлов в азотной кислоте [6].

Экономическое сравнение двух методов, представленных в работах [5-6] говорит в пользу сернокислотного процесса. Тем не менее, в тех случаях, когда целью производства является получение товарных РЗМ, обычно предпочитают вскрытие щелочным способом, так как он обеспечивает получение чистых РЗМ на ранней стадии процесса [7].

РЗМ характеризуются чрезвычайно низким содержанием в природном сырье, что обуславливает специфические способы их получения. Следует отметить, что нами исследуются техногенные растворы, т.е. маточные растворы сорбции со следами урана и содержащие РЗМ порядка 12-14 мг/дм³. После кислотного либо щелочного вскрытия природного или техногенного сырья в технологической цепи происходит постепенное концентрирование РЗМ, для чего применяют различные методы – экстракцию, ионный обмен, осаждение. В ходе этого процесса получают 60-70 %-ный концентрат, содержащий все РЗМ. Далее, после разделения концентрата на отдельные фракции или индивидуальные вещества, их подвергают тщательной перечистке. Товарными продуктами являются либо оксиды, либо карбонаты РЗМ [8]. Важнейшая роль в технологии получения РЗМ отводится методам разделения и концентрирования и, несмотря на их разнообразие, основными являются экстракция и осаждение. Следует отметить, что эти методы применяют в многостадийном варианте, причём удовлетворительных результатов можно достичь, если методы комбинировать. В качестве промышленных экстрагентов РЗМ используют катионообменные и нейтральные реагенты. Из нейтральных экстрагентов наиболее широко применяют ТБФ, который извлекает РЗМ из нейтральных и сильноокислых нитратных растворов. Из органических кислот применяют ди-2-этилгексилфосфорную кислоту (Д2ЭГФК, НА), которая отличается хорошей селективностью к лантаноидам, но имеет малую ёмкость. Алифатические монокарбоновые кислоты обладают низкой селективностью при экстракции смесей РЗМ, их используют для операций группового концентрирования. Повысить селективность экстракции можно за счёт применения смесей реагентов, а также тщательным выбором условий извлечения (рН, температура, высаливатели, разбавители) [9].

Относительно новым направлением в экстракционной технологии получения некоторых металлов стало применение бинарных экстрагентов (БЭ) – ионных пар, образованных органическим основанием и органической кислотой. Использование БЭ дает сочетание свойств исходных ионообменных экстрагентов с новыми возможностями управления процессом распределения. Основными преимуществами бинарных экстрагентов являются: возможность прогнозирования свойств БЭ на основе данных об исходных ионообменных экстракционных системах; простота способов получения ионных пар и доступность экстрагентов; увеличение коэффициентов распределения и разделения; упрощение проведения реэкстракции; высокие скорости экстракции и реэкстракции [10]. Качественное изменение технологических схем получения РЗМ с учетом современных достижений в области химии экстракции может быть связано с применением для извлечения, концентрирования и разделения РЗМ бинарных экстрагентов.

На основании проведенных укрупнено-лабораторных исследований [11] была разработана технология переработки маточных растворов сорбции урана с получением коллективного концентрата РЗМ товарного качества.

Технологические потоки и рассчитанные на их основе экономические показатели носят предварительный характер и не могут быть применены непосредственно для проектирования. Однако проведенные расчеты позволяют продемонстрировать перспективность

разработанной технологии с точки зрения экономики и комплексности использования минерального сырья.

Узел сорбции РЗМ из маточных растворов сорбции урана представлен одной/двумя напорными колоннами типа СНК (сорбционная напорная колонна) с производительностью 240 м³/час. Степень извлечения РЗМ из маточных растворов сорбции урана принята 99,0%.

Через определенные промежутки времени насыщенный сорбент перегружают в колонны десорбции РЗМ. Десорбция осуществляется в колонне с противоточным движением фаз с обеспечением полу-непрерывной работы. Десорбция осуществляется растворами на основе аммиачной селитры, подкрепленными азотной кислотой.

Отдесорбированный ионит перемещается в колонну промывки технической водой и в последующем возвращается в колонну сорбции.

Десорбат, содержащий 430 мг/дм³ по сумме РЗМ, направляют на операцию аммиачного осаждения гидроксидов металлов. При этом в аппарат с перемешивающим устройством подается концентрированный раствор аммиака из емкости хранения, причем рН раствора доводится до значения 7–7,5. Аппарат работает в периодическом режиме с частотой разгрузки в 1 час. Полученная пульпа направляется на сгущение и фильтрацию, а растворы маточников фильтрации используется для регенерации десорбирующего раствора.

Маточник осаждения перекачивается в бак с мешалкой для корректировки кислотности концентрированным раствором азотной кислоты с добавлением необходимого количества нитрата аммония (при необходимости).

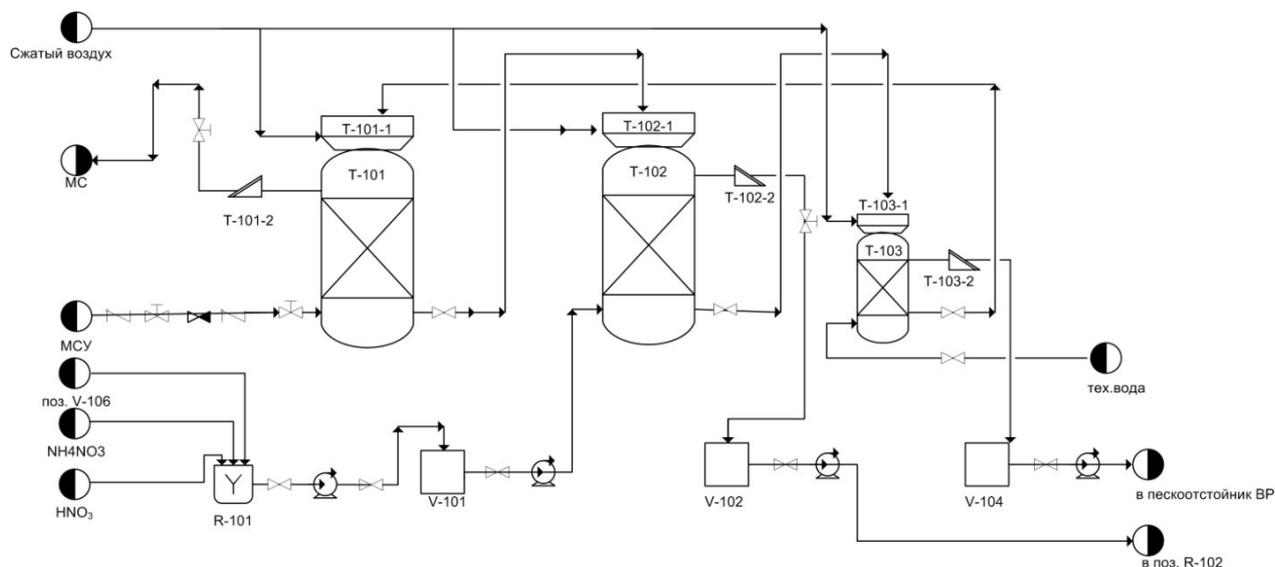
Осадок гидроксидов металлов, содержащий РЗМ, подается на узел растворения раствором азотной кислоты концентрацией 5–10 г/дм³, который осуществляется в баке с мешалкой из нержавеющей стали. Длительность растворения составляет 1 час.

Полученный раствор с содержанием 4,17 г/дм³ по сумме РЗМ перекачивается в реактор с перемешивающим устройством на операцию щавелевокислого осаждения. Подача гидрата щавелевой кислоты осуществляется дозатором. Корректировка рН при осаждении осуществляется концентрированным раствором аммиака. Длительность осаждения составляет 1 час.

Полученная пульпа направляется на фильтрацию и промывку осадка маточником фильтрации. Осадок прокаливается в печи в течение 2 часов при температуре 800°С. После чего коллективный концентрат РЗМ затаривают и отправляют в склад ГП.

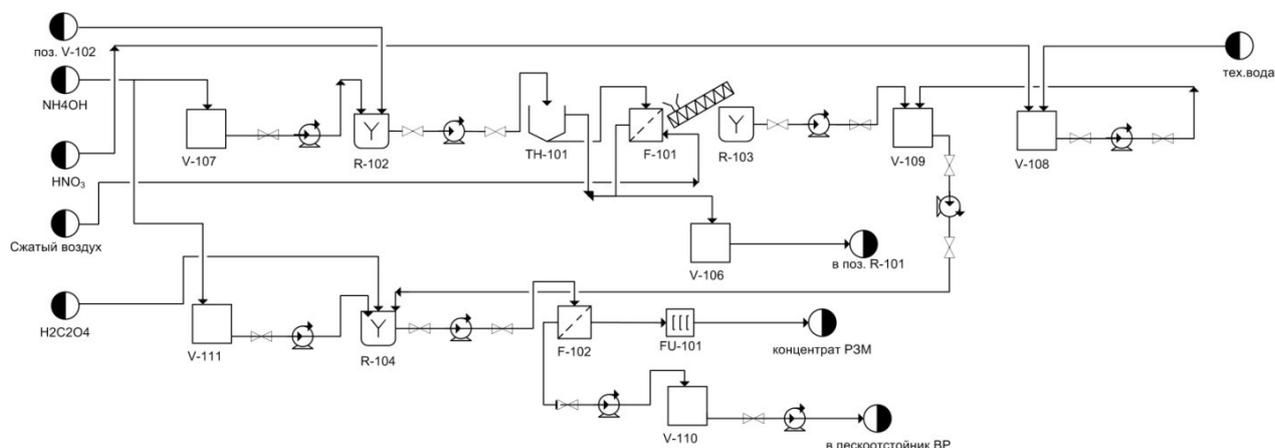
Для организации попутной добычи РЗМ на базе предприятия АО «СП «Акбастау» и ТОО «Каратау» необходимо спроектировать и изготовить дополнительное основное и специальное оборудование.

На рисунках 1 и 2 схематично изображена аппаратная схема технологии попутного извлечения РЗМ:



T-101 - сорбционная колонна, T-101-1 – бункер ионита, T-101-2 - доулавливатель сорбента, R-101÷102 – насос, T-102 - десорбционная колонна, T-102-1- бункер ионита, T-102-2 - доулавливатель сорбента, R-101 - реактор корректировки десорбирующего раствора, V-101÷102 - емкость растворов колонны, V-103 - емкость хранения HNO₃, T-103 - колонна отмывки, T-103-1 - бункер ионита, T-103-2 - доулавливатель сорбента, V-104 - емкость растворов колонны.

Рисунок 1 – Принципиальная аппаратурная схема операций сорбции-десорбции-отмывки



V-105 - емкость хранения NH₄OH, R-102 - реактор-осадитель, TH-101 - ступититель пластинчатый, F-101 - камерный фильтра пресс, V-106 - бак фильтрата, V-107 - бак NH₄OH, R-103 - реактор растворения осадка РЗМ, V-108 - бак HNO₃, V-109 - бак продуктивного раствора, R-104 - реактор-осадитель, F-102 - камерный фильтра пресс, V-110 - бак фильтрата, V-111 - бак NH₄OH, FU-101 - высокотемпературная трубчатая вращающаяся электропечь.

Рисунок 2 – Принципиальная схема операций осаждения-растворения-прокалки

Нами были ориентировочно рассчитаны необходимые инвестиционные затраты на мероприятия подготовительного периода и капитальные затраты. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Необходимые инвестиционные затраты

№ п/п	Вид работ	Стоимость, тыс.\$
1	2	3
1	Затраты подготовительного периода	210,000
1.1	Разработка ТЭО извлечения РЗМ из урановых растворов	30,000
1.2	Разработка технологического регламента	30,000
1.3	Проектирование опытно-промышленной установки по извлечению РЗМ	150,000
2	Капитальные затраты Проекта	5 886,21
2.1	Оборудование для сорбции	2093,5
2.2	Оборудование для десорбции	1337,7
2.3	Оборудование для отмывки	398,0
2.4	Аммиачное осаждение гидроксидов РЗМ	902,2
2.5	Растворение осадка	81,3
2.6	Осаждение оксалатов	86,8
2.7	Прокалка оксалатов	16,8
2.8	Аналитическое оборудование	15,0
2.9	Ионообменная смола	156,8
2.10	Строительство зданий и сооружений	243,0
2.11	Инжиниринг	20,0
2.12	Неучтенные расходы 10 %	535,11

Исходя из годового объема перерабатываемых растворов был проведен ориентировочный расчет затрат сырья, материалов и электроэнергии из расчета годовой работы установки (таблица 4).

Таблица 4 – Годовые эксплуатационные затраты

№	Наименование	Годовой расход, т	Годовые затраты, тыс.\$
1	Азотная кислота 57 %	12 862,08	2 572,41
2	Аммиачная вода 25 %	20 950,5	1 755,35
3	Щавелевая кислота (гидрат)	783,2	626,57
4	Ионообменная смола	32,34	10,35
5	Техническая вода	577,5	82,7
	Итого за год:		5 051,8
6	Электроэнергия (МВт*ч)	3 360	149,3
7	Ремонт оборудования и расходные материалы	(5% от кап.затрат на оборудование)	294,3
	Итого за год:		5 495,4

Затраты на персонал не был учтен, так как можно использовать имеющийся персонал.

Годовые эксплуатационные затраты предприятия составят 5 495 400 \$.

Для целей расчета финансово-экономической модели необходимо установить цены на оксиды РЗМ, исходя из которых, будет возможно определить стоимость коллективного концентрата РЗМ. Известно, что в идеальном случае рыночных взаимоотношений между поставщиком и потребителем методика образования цены на коллективные концентраты РЗМ имеет свои характерные особенности:

- 1) цена на коллективный концентрат РЗМ зависит от текущих рыночных цен на индивидуальные соединения тех коммерческих РЗМ, которые входят в состав концентрата;
- 2) для определения текущей цены коллективного концентрата карбонатов РЗМ (чистотой около 40 %) применяется формула:

$$P_{CONC} = (c_1P_1 + c_2P_2 + \dots + c_iP_i) - k \times (c_1S_1 + c_2S_2 + \dots + c_iS_i) \quad (3)$$

где:

c_1, c_2, \dots, c_i – концентрация коммерческих РЗМ в коллективном концентрате;

P_1, P_2, \dots, P_i – текущая рыночная цена коммерческих РЗМ;

S_1, S_2, \dots, S_i – стоимость прямых затрат на разделение коммерческих РЗМ.

k – коэффициент, учитывающий накладные расходы и рентабельность затрат переработчика коллективного концентрата РЗМ. Значение k принято равным 2,5, исходя из 100% накладных расходов и 25% рентабельности затрат переработчика.

Для расчета финансово-экономической модели цена была рассчитана по 1-му методу с учетом затрат на разделение оксидов металлов из концентрата РЗМ 30% от общей цен, принимая во внимание, что коллективный концентрат РЗМ, полученный попутно с ураном, будет иметь чистоту не менее 70%, можно предположить, что затраты на разделение не должны превысить 30%. Оценка цены концентрата РЗМ был произведен с учетом цен на оксиды металлов на 31.12.2018г. При этом из-за невозможности определения содержаний оксидов металлов в концентрате РЗМ, было рассчитано по концентрации каждого металла в ПР (таблица 5).

Таблица 5 – Расчет цены на концентрат РЗМ

Название оксида металла	USD/кг	Сод. металла в ПР, мг/л	Цена
Гадолиний оксид	44	0,37	1,01
Диспрозий оксид	226	1,13	15,8
Европий оксид	99	0,52	3,2
Лантан оксид	7,8	2,10	1,0
Неодим оксид	66	2,40	9,8
Празеодим оксид	81	0,34	1,7
Самарий оксид	15	0,68	0,6
Тербий оксид	553	0,16	5,5
Церий оксид	5,59	5,10	1,8
Эрбий оксид	26	0,50	0,8
Иттербий	260	0,19	3,1
Лютеций	3500	0,42	90,9
Скандий оксид $\geq 99.95\%$	1079	0,19	12,7
Иттрий	36,5	2,08	4,7
Итого	428,492	16,18	152,41
Цена с учетом затрат на разделение 30% от общей цены			106,69

Для оценки экономической эффективности попутной добычи РЗМ из маточников сорбции урана было произведено построение финансово-экономических моделей. В основе моделей лежат следующие основные допущения:

- расчетный период существования предприятия – 15 лет;
- метод амортизации – прямолинейный;

- корпоративный подоходный налог (налог на прибыль) – 20%;
 - рабочий (оборотный) капитал принимался в размере годовых эксплуатационных затрат в первый год добычи;
 - среднегодовые постоянные затраты приняты 20% от годовых эксплуатационных затрат;
 - базовый годовой финансовый интерес (ставка дисконтирования) – 10%, 15%;
 - товарная стоимость концентрата РЗМ – 106,69 \$/кг.
- Нами были рассчитаны базовые показатели доходности. Основной годовой финансовый интерес принят на уровне 10% и 15% (таблицы 6).

Таблица 6 – Результаты расчета финансово-экономических показателей

№ п/	Показатель	Ед. изм	Значение
1	Суммарные инвестиции	тыс.\$	6096,2
2	Среднегодовые эксплуатационные затраты	тыс.\$	5 438,7
3	Чистая приведенная стоимость (NPV10%)	тыс.\$	1426,9
3	Чистая приведенная стоимость (NPV15%)	тыс.\$	-426,9
4	Внутренняя норма доходности (IRR)	%	14%
5	Срок окупаемости (РВР)	лет	5,9
6	Средняя чистая прибыль	тыс.\$	523,2
7	Рентабельность инвестиций (ROIC)	%	103,0
8	Индекс рентабельности (PI)	-	0,2

Как следует из результатов расчетов, попутное извлечение РЗМ улучшает экономическую эффективность извлечения урана за счет снижения капитальных и эксплуатационных затрат для каждого производства в отдельности.

Заключение

Проведено оценка сырьевой базы РЗМ, скандия, иттрия и рения по участкам 1, 3 и 4 месторождения «Буденновское». Общие запасы РЗМ, скандия и иттрия по всем трем участкам составили 5 438,70 т. Запасы рения не представляют интереса и не были взяты в учет. При извлечении РЗМ, скандия и иттрия из недр в пределах 20% и извлечении на сорбцию 99%, общие ожидаемые извлекаемые запасы по трем участкам составят 1 087,7 т.

В отсутствии публикации цен долгосрочных контрактов, для определения стоимости товарной продукции РЗМ был применен метод расчета цены, учитывающий состав концентрата и стоимость его переработки (разделение) на индивидуальные компоненты. Цена на РЗМ, скандия и иттрия взяты путем суммирования произведений средних концентраций оксидов РЗМ, скандия и иттрия в ПР на цены каждого металла, в связи с неизвестностью концентраций оксидов РЗМ, скандия и иттрия в товарном концентрате РЗМ. В результате расчета была получена цена в \$106,69 за кг 70%-го концентрата РЗМ.

Проведенное исследование, по технико-экономической оценке, попутного извлечения РЗМ выявило базовые условия, необходимые для осуществления производства коллективного концентрата с коммерческой выгодой.

Проведен расчет технологических потоков технологии извлечения РЗМ при коэффициенте извлечения РЗМ из руды – 20%, что позволяет ежегодно производить 71,79 т РЗМ.

Как следует из результатов расчета при извлечении РЗМ из недр в 20% и более могут быть достигнуты приемлемые показатели экономической эффективности. Срок окупаемости капитальных затрат не превышает 5,9 лет.

Список использованных источников

1. Официальный сайт Президента Республики Казахстан [Электронный ресурс] / Официальные документы / Стратегии и программы / Государственная программа индустриально-инновационного развития. – Астана, 2014. – . – Режим доступа: http://www.akorda.kz/ru/official_documents/strategies_and_programs. – Загл. с экрана.
2. Твердов А.А., «Обзор рынка редкоземельных металлов» // Информационный журнал «Глобус. Геология и бизнес» №1. – Москва, 25 августа 2013 г. - С. 16-19.
3. Kazakhstan Today информационное агентство [Электронный ресурс] / Экономика / На мировом рынке урана произошло понижение цен (обзор) / Государственная программа индустриально-инновационного развития. – Алматы, 2016. – . – Режим доступа: https://www.kt.kz/rus/economy/na_mirovom_rinke_urana_proizoshlo_ponizhenie_cen_obzor__1153624003.html. – Загл. с экрана.
4. Гиллебранд В.Ф., Лендель Г.Э., Брайт Г.А., Гофман Д.И., «Практическое руководство по неорганическому анализу» // 1966 г. – С. 629–631.
5. Пешкова В.М., Громова М.И. «Методы абсорбционной спектроскопии и аналитической химии» // 1976 г. – С. 200-204.
6. Рябчиков Д. И., Рябухин В. А. «Аналитическая химия элементов. Редкоземельные элементы и иттрий» // 1966 г. – С. 380.
7. Хохлова О.В., Богатырева Е.В., Аксенов С.М., «Совершенствование щелочного способа вскрытия комплексных концентратов редкоземельных металлов» // Журнал: Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук // 2015 г. – С. 53-56
8. Косыкин В.Д., Селивановский А.К., Федулова Т.Т., Смирнов К.М., Крылова О.К. «Комплексная переработка фосфогипса с получением химически осаженного мела, гипса и концентрата редкоземельных элементов» // Цветные металлы – 2012 г. – № 3. – С. 31-33.
9. Злобина Е.В., Пак Л.О. Совместное выделение скандия и редкоземельных металлов при бинарной экстракции // Вестник КазНУ, серия химическая. – 2013. – №4 (72). – С. 168-176.
10. Холькин А.И., Белова В.В., Пашков Г.Л. Применение бинарных реагентов // Химическая технология – 2000 г. – Т. 1. – № 12. – С. 3-11.
11. Тюлюбаев З.М. «Оценка технико-экономической целесообразности реализации проекта попутного извлечения рения и суммы редкоземельных элементов при добыче урана методом подземного скважинного выщелачивания» // Магистерская диссертационная работа. МОиН РФ Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС». – Москва, 2017. – 78 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово	I
----------------------------	---

РАЗДЕЛ IV РЕСУРСЫ И ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ, РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

<i>Рихванов Л.П., Домаренко В.А., Митрофанов Е.А.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ СОСТАВ РУД УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОВЕДЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РОССИЯ)	3
<i>Тасибеков Х.С., Әзімхан Қ. Ә., Бурқурманов Б.Б., Бекишев Ж.Ж.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ РУДНИКА «КУЛАНДЫ» АО «СП «АКБАСТАУ»	11
<i>Тасибеков Х.С., Әзімхан Қ.А., Бекишев Ж.Ж.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА РУДНИКА «КАРАТАУ»	21
<i>Муслимова А.В., Жиганов А.Н., Буйновский А.С., Софронов В.Л., Макасеев Ю.Н., Молоков П.Б., Смолкина Т.В., Лисица В.А.</i> ПЕРЕРАБОТКА МОНАЦИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОДИФТОРИДА АММОНИЯ	27
<i>Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А., Дукембаева А.Ж.</i> ПУТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЦИРКОНОВОГО ПРОМПРОДУКТА ОБУХОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	35
<i>Пирматов Э.А., Чамантаев К.К., Пирматов А.Э.,</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПЕРРЕНАТА АММОНИЯ МЕТОДОМ ИОННОГО ОБМЕНА	41
<i>Пирматов Э.А., Чамантаев К.К., Пирматов А.Э., Хасанов А.С.</i> ИОНООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ В ГИДРОМЕТАЛЛУРГИИ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ	47
<i>T.N. Khavaza, R.R. Tokrayev, Z.T. Ibraimov, A.A. Atchabarova, K.I. Beknazarov, M.K. Nauryzbayev</i> DEVELOPMENT OF NEW METHODS FOR CONCENTRATION OF RARE-EARTH METALS FROM KAZAKHSTAN PHOSPHOGYPSUM LEACHING SOLUTIONS	55
<i>Кенжалиев Б.К., Суркова Т.Ю., Есимова Д.М., Пирматов Э.А., Турко С.И.</i> ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПЕРЕДЕЛА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОНЦЕНТРАТА РЗЭ НА ТОО «SARECO»	57
<i>Коровин В.Ю., Погорелов Ю.Н., Зонтов А.В., Зонтова Л.В.</i> СОРБЦИЯ РЕНИЯ ИЗ СЕРНОКИСЛОГО РАСТВОРА АНИОНИТОМ АМР	62
<i>Карелин В.А., Шагалов В.В., Карелина Н.В.</i> СИНТЕЗ ТИТАНОВЫХ ПОРОШКОВ ВО ФТОРИДНЫХ РАСПЛАВАХ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ	63

<https://uranconference.kz>

Научное издание

СБОРНИК ТРУДОВ
IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
УРАНОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
7 - 9 ноября 2019 года

Часть 2

ИБ № 13149

Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 21,5. Тираж 160 экз. Заказ № 7160.

Издательский дом «Қазақ университеті»
Казахского национального университета им. аль-Фараби
050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті»