

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі  
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,  
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері  
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған  
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»  
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

**МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Международной научно-практической конференции  
«Эффективные технологии производства цветных, редких и  
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической  
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,  
члена-корреспондента Академии наук РК,  
лауреата Государственной премии Республики Казахстан  
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

**PROCEEDINGS**

**of International scientific and practical conference  
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,  
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy  
science and industry concerns and in memory of well-known scientist  
of metallurgy, Associate Member of the National Academy  
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the  
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

**Алматы 2018**

**УДК 669**  
**ББК 34.3**  
**Э94**

**Ответственный редактор:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

**Жауапты редактор:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

**Редакционный совет:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**Редакциялық алқа:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»:** Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

**«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»:** Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

**ISBN 978-601-323-132-7**

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

**УДК 669**  
**ББК 34.3**

**ISBN 978-601-323-132-7**

© АО «ИМиО», 2018

# ПЕРСПЕКТИВА ПРОИЗВОДСТВА РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ УГЛЕРОД-КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД БОЛЬШОГО КАРАТАУ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.21>

**Козлов В.А., Байгенженов О.С., Юлусов С.Б., Жумаекынбай Н., Дагубаева А.Т.**  
ORCID: 0000-0002-6373-4234 0000-0001-5803-7680 0000-0001-8044-4186 0000-0002-2136-540X 0000-0002-2675-0577

НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан

**Аннотация.** *В работе представлены результаты лабораторных исследований по извлечению редкоземельных элементов из углерод-кремнеземистых руд с использованием процессов спекания рудной массы с гидросульфатом аммония и выщелачивания полученного спека серноокислым раствором. Определены параметры процесса, обеспечивающие комплексного извлечения РЗМ, ванадия, урана и молибдена.*

В России, Казахстане, Китае и других странах разведаны и находятся на различных стадиях освоения ряд месторождений полиметаллических руд редких и редкоземельных металлов (РиРЗМ) [1-3].

Все месторождения РиРЗМ стратиморфного биогенно-осадочного генезиса отличаются очень тонким, ультрадисперсным взаимным проникновением минералов редких металлов. Эти обогащенные органическим веществом (ОВ) с аморфным углеродом и РиРЗМ карбонатные толщи осадочной породы прослеживаются на разных континентах на одних и тех же стратиграфических уровнях и известны, как черносланцевые руды. И к каким бы типам месторождения РиРЗМ не относили (альбит-грейзеновым, штоквертовым, песчаным россыпям, коры выветривания, черные сланцы), все они являются карбонатными алюмосиликатными полиметаллическими рудами с низким содержанием РиРЗМ и сложным вещественным составом: щелочные алюмосиликаты, органическое вещество, шпинелиды, карбонаты, аморфный «скелетный» и химически связанный кремнезем. Диапазон щелочных алюмосиликатов представлен от каолина, нефелина до полевого шпата; органическое вещество – от реликтовых углеводов, микронфти до белковых соединений, шпинелиды, сульфиды, фосфаты, карбонаты и аморфный «скелетный» кремнезем, пронизанный каналами, трещинами, пустотами, заполненными CO<sub>2</sub>, ОВ, и РиРЗМ.

Наличие иных по возрасту, но близких по геохимии и минералогии черносланцевых формаций позволяет предполагать какой-то единый общий механизм их формирования во всех системах фанерозоя. Несмотря на значительный научный и практический интерес к металлогении и рудогенезу черносланцевых формаций, вопрос о природе рудных образований остается весьма дискуссионным, генезис и геологическая история черносланцевых толщ на сегодняшний день не имеет однозначного толкования. С самого начала появления интереса к РиРЗМ существовало несколько точек зрения относительно их концентрирования в земной коре. Мы придерживаемся гипотезы концентрирования РиРЗМ из морской воды живыми организмами на супрамолекулярных ансамблях порфирина, выполняющих «дыхательную функцию». РиРЗМ характеризуется достройкой внутренних электронных слоев (орбит) атома, что определяет их повышенную реакционную активность, переменную степень окисления и способность образовывать элементоорганические соединения в возбужденном состоянии с незаполненной химической связью. Живые организмы, обладая различными концентрационными функциями, извлекают из воды те металлы, которые необходимы в качестве катализаторов в различных биохимических процессах. Отработанные металлы в виде безвредных соединений (сульфиды) накаливаются в клетке и с останками собираются на дне водоемов [4].

Вне зависимости от принятой терминологии, большинство исследователей сходятся в одном: гигантские, уникальные месторождения золота, урана, ванадия и

РиРЗМ, сосредоточенные в черносланцевых толщах, становятся ведущим типом промышленных месторождений указанных металлов. Особый промышленный интерес представляют месторождения черных сланцев Большого Каратау, пластообразные тела редкоземельно-уранового типа в глинах Волго-Донской калмыцкой свиты (Ергенинский район), горючие сланцы Ленинградской области, горючие сланцы Амударьинского и Сырдарьинского бассейнов. Общие запасы и прогнозные ресурсы основных полезных элементов только Ергенинского рудного района составляют тыс. т.: U-59;  $\Sigma$ РЗМ-259,6; Y-89,8; Sc-2,83; среднее содержание U-0,2%;  $\Sigma$ РЗМ-1,13% [5].

Таким образом, в среднесрочной перспективе основным сырьевым источником металлов будут глинисто-кремнисто-карбонатные образования, содержащие органическое вещество (ОВ), комбинацию цветных, редких, благородных и радиоактивных металлов в сочетании с редкоземельными элементами.

Измельчение таких тонковкрапленных руд до стандартной крупности 80-90% класса менее 74 мкм не обеспечивает полного вскрытия сростков выделяемых минералов. Увеличение степени измельчения до 90% класса менее 50 мкм приводит к значительному образованию шлама, для которого пока не разработаны эффективные способы физической и химической селекции. Идеальным можно было бы считать измельчение до атомной или молекулярной крупности. Однако даже при измельчении до таких размеров существует фундаментальная преграда, связанная с инконгруэнтностью практически любых многокомпонентных систем, т.е. с различным составом существующих в них фаз. Эта фундаментальная преграда затормозила дальнейшее развитие классических обогатительных процессов в горно-металлургической отрасли. Создалась кризисная ситуация: классические способы обогащения не позволяют добиться эффективного концентрирования РиРЗМ из бедных ультрадисперсных глиноземсодержащих полиметаллических руд, а технологические схемы прямого извлечения РиРЗМ из сырья отсутствуют.

В НАО «КазНИТУ им. К.И. Сатпаева» разработана универсальная технология для обширной минерально-сырьевой базы черных сланцев, позволяющая комплексно, рентабельно и с достаточной полнотой вовлечь в переработку большинство месторождений сланцевых руд РиРЗМ, проверенная в опытно-промышленных условиях. В технологическую схему заложен новый подход, исключающий классическое обогащение по базовым цветным, редким и редкоземельным металлам. Технология основана на физической сепарации «скелетного» кремнезема от химически связанного с глиноземом. Химически связанный кремнезем с глиноземом (щелочной алюмосиликат) спекается с гидросульфатом аммонием, что способствует удалению сверхкритической гетерогенновстроенной двуокиси углерода, переводу кремнезема в устойчивую кристаллическую структуру из мономерной формы в полимерную, что позволяет повысить степень извлечения РиРЗМ при выщелачивании спека.

В процессе выщелачивания в растворе синтезируется комплексная соль сульфата аммония и алюминия, при снижении температуры из раствора выделяются алюмоаммонийные квасцы  $AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  (ААК).

Выбор комбинированной или прямой технологической схемы, в которой не производится разделение на глинистую или песковую фракции переработки глиноземсодержащих полиметаллических руд связан с содержанием базового металла – алюминия. Успех извлечения РиРЗМ из черных сланцев зависит от снижения или предотвращения сорбции на ОВ и сокристаллизации на ААК в процессе выщелачивания.

Рудоподготовка черносланцевых пород зависит от структурных и текстурных особенностей глинистого и органического вещества, физико-механических свойств «скелетного» кремнезема. Дезинтеграция и обезливание глины и органического вещества от песковой фракции проводится в условиях спекания черносланцевых руд с гидросульфатом аммонием, при которой РиРЗМ не сорбируются на ОВ и не сокристаллизуются на ААК.

Основными компонентами изучаемых проб явились, %: Na- 0.075, Mg - 0.193, Al - 2.42, Si - 37.5, P - 0.655, S - 1.61, Cl - 0.105, K - 0.97, Ca - 0.697, Ti - 0.128, V - 0.73, Fe - 2.8, Ni - 0.0096, Cu - 0.075, Zn - 0.0096, Rb - 0.002, Sr - 0.063,  $\Sigma$ РЗМ - 0.019 (в основном состоят из элементов иттриевой подгруппы), Mo - 0.025, Ba - 0.99, C - 15, U - 0.01

При низкотемпературном спекании рудного сырья с гидросульфатом аммония в пределах 300-350 °С и последующем выщелачивании сернокислым раствором в соотношении Т:Ж, равном 1:3, и температуре 80 °С полнота извлечения урана составляет более 98,0 %, ванадия 87,2 %, РЗМ около 80,3 % и молибдена 76,4 %. Наряду с показанными металлами технология позволяет получить товарных алюмокалиевых квасцов, состав который приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав алюмокалиевых квасцов

Наименование продукта	Содержание элементов, %									
	Al	Si	P	S	K	Ca	V	Fe	Ni	Rb
ААК	12,56	0,027	0,01	21,302	0,131	0,582	0,001	2,633	0,008	0,005

Как видно из полученных результатов, редкие и редкоземельные элементы не осаждаются вместе с квасцами, при это удаляются примесные элементы такие, как алюминий, железо, кальций и др.

В результате проведенных исследовательских работ установлено что при спекании рудного сырья с гидросульфатом аммония в пределах температуры 300-350 °С и последующем выщелачивании водным раствором серной кислоты, соотношении Т:Ж, равном 1:3, и температуре 80 °С полнота извлечения урана достигает 98,0 %, ванадия 87,2 %, РЗМ 80,3 %, молибдена 76,4 %. Данная технология позволяет комплексно перерабатывать углерод-кремнеземистых руд и увеличить номенклатуру выпускаемой товарной продукции фирмы «ТОО Балауса».

#### ЛИТЕРАТУРА

1 WEI Chang, FAN Gang, LI Min-ting, DENG Zhi-gan. Study on main factors effect of extracting vanadium from black shale containing vanadium by acid leaching with oxygen pressure // Chinese Journal of Rare Metals.- 2007.-№31.-P. 98-101.

2 Zheng, X.M., Xue, X.D., Zhang, X.Y., Shi, H., Deng, Y.Q. Extraction of vanadium pentoxide from stone coal with a wet chemical separation method // Natural Science Journal of Xiangtan University. - 2003.-№25.-P. 43–45.

3 Lozano, L.J., Juan, D. Technical note leaching of vanadium from spent sulphuric acid catalysts // Minerals Engineering (5). -2001. - №14. –P.543–546.

4 Lehmann, B., Nägler, T.F., Wille, M., Dulski, P. Highly metalliferous carbonaceous shale and Early Cambrian seawater //Ore Geology Reviews (80). - 2007. - № 4 . -P.403–406.

5 Н.М. Комекова, В.А. Козлов, М.Ж. Журинов. Сернокислотное атмосферно-автоклавное выщелачивание ванадия из черных сланцев // Доклады НАН РК (310). -2016. - №6. –С. 62-69.

#### PROSPECT OF PRODUCTION OF RARE AND RARE-EARTH METALS FROM CARBON-SILICON-POLYMETALLIC ORES OF GREAT KARATAU

**Kozlov V.A., Baigenzhenov O. S., Yulussov S.B, Zumakynbay N., Dagubayeva A.T.**  
 ORCID: 0000-0002-6373-4234 0000-0001-5803-7680 0000-0001-8044-4186 0000-0002-2136-540X 0000-0002-2675-0577

“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev” NJSC,  
 Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** *The paper presents the results of laboratory studies on the recovery of rare-earth elements from carbon-siliceous ores using the processes of sintering of ore mass with ammonium hydrogen sulfate and leaching of the resulting sinter with a sulfuric acid solution. The process parameters providing complex extraction of REM, vanadium, uranium and molybdenum are determined.*