

УДК 66.935.5+66.046.44+66.061.34

## ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЫННЫРИТОВ

Г. И. Хантургаева<sup>1,2</sup>, В. Г. Ширеторова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Байкальский институт природопользования СО РАН,

ул. Сахьяновой, 6, 670047, г. Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup>Бурятский государственный университет,

ул. Смолина, д. 24а, 670000, г. Улан-Удэ, Россия

Представлены состав и свойства алюмосиликатного калийного сырья — сынныритов Калюмного участка Сыннырского щелочного массива. Показано, что сынныриты — комплексное сырье, главными породообразующими минералами которого являются калиевый полевой шпат и калисилит. Разработана комбинированная технологическая схема комплексной переработки сынныритов.

*Сыннырит, калиевый полевой шпат (микроклин), калисилит, нефелин, глинозем, квасцы, спекание, кислотное выщелачивание*

Российская Федерация занимает второе место в мире по производству алюминия, но не имеет достаточных для его обеспечения собственных, подготовленных для освоения сырьевых баз. Баланс производства и потребления глинозема в России на ближайшие годы определяет его дефицит в 55–60 % [1]. В Восточной Сибири работают четыре крупных алюминиевых завода — Братский, Красноярский, Саянский, Иркутский. Глинозема, выпускаемого в Ачинске, не хватает на нужды даже расположенного рядом Красноярского алюминиевого завода. Бокситы привозят из Гвинеи, а запасы нефелинового сырья Кия-Шалтырского месторождения иссякают [2]. В связи с деградацией плодородных земель и наступлением опустынивания Восточная Сибирь и Забайкалье остро нуждаются в бесхлорных калийных и фосфорно-калийных удобрениях. Вовлечение в переработку крупного месторождения псевдолейцитовых сиенитов Сыннырского массива, расположенного в районе хребта Сынныр на севере Бурятии и Забайкальского края, решило бы все указанные проблемы на долгие годы.

Сынныриты представляют собой ультракалиевые лейкократовые лейцитовые сиениты, состоящие из одного лейцита (псевдолейцита — распавшегося на калиевый полевой шпат и калисилит) с небольшим количеством слюды и пироксена. Это новый вид комплексного сырья для производства бесхлорных калийных удобрений, глинозема, полевошпатового концентрата, поташа, цемента. Прогнозные ресурсы сырья, доступные для открытой разработки, оцениваются в 2.6 млрд т [3, 4].

На предприятиях по переработке нефелинов и нефелиновых сиенитов в России, Казахстане и в Украине используются в основном способы спекания с известняком [5], который является энергоемким для Восточной Сибири и Забайкалья, где дорогая электроэнергия. Кроме того, при переработке пород типа лейцитовых прямое спекание с известняком не дает положительных результатов.

Большой интерес представляют способы предварительного химического обогащения нефелино-сиенитовых пород [6], основанные на щелочной обработке с получением натриевых концентратов, содержащих 27.4 %  $Al_2O_3$  и 38.5 %  $SiO_2$ , которые являются хорошим сырьем для глиноземного производства.

В Казахстане разработан автоклавный гидрохимический известково-содовый способ переработки сынныритов Пономарева – Сажина [7], который ведет к сокращению расхода извести, но связан с необходимостью периодически выводить из технологических растворов избыток калия, отрицательно влияющий на извлечение глинозема.

В работе [8] предложено предварительное обогащение высококремнистых пород путем спекания с карбонатом калия с последующим выщелачиванием спека растворами КОН. Это позволяет частично удалить кремнезем из сырья и вывести избыточный калий. При выщелачивании спека до 45 % кремнезема переходит в раствор.

Описанные методы переработки высококремнистого алюмосиликатного сырья имеют существенные недостатки, так как связаны с большими материальными потоками, значительным расходом известняка и соды. Нерентабельность щелочных методов особенно сказывается на таком глиноземсодержащем сырье, как каолин и глины.

Рассмотрены варианты бактериального обогащения сынныритов с получением калишпатового концентрата [9].

В работе [10] методом гравитационного градиентного поля удалось из калисилит-калишпатовой смеси в растворах бромформа и диметилформамида выделить индивидуальные фракции микроклина ( $d = 2.555 - 2.560$  г/см<sup>3</sup>) и калисилита ( $2.600 - 2.615$  г/см<sup>3</sup>).

Перспективными методами переработки нефелинсодержащего сырья являются варианты кислотных способов [11–13]. При кислотном разложении нефелина происходит полное разрушение его каркасной структуры с переходом в раствор ионов алюминия, натрия, калия и кремния. При этом не образуется больших количеств известняка, соды, исключается процесс обескремнивания растворов, значительно уменьшаются материальные потоки, появляется возможность извлечения рубидия и галлия.

Разработан азотнокислотный способ переработки сыннырита [14] путем смешивания его с продуктом щелочной активации полевошпатового концентрата; полученную смесь обрабатывают 35–40 % азотной кислотой. Нерастворимый остаток смешивают с поташом и спекают при 800–950 °С с получением продукта щелочной активации, подаваемого на смешение с нефелин-полевошпатовым сырьем. Азотнокислый раствор упаривают и получают смесь азотнокислых солей алюминия и щелочных элементов, которую подвергают термической обработке. Полученный при этом спек перерабатывают на глинозем и нитраты щелочных элементов или глинозем, соду и поташ.

Однако при переработке сынныритов, состоящих из микропегматитовых сростаний микроклина и калисилита, физические способы их разделения невозможны, а прямое кислотное выщелачивание позволит выделить алюминий и калий только из калисилита, так как микроклиновая составляющая сынныритов не разлагается в кислотах.

Авторами [15] разработана комплексная схема переработки небокситовых руд методами фторидной металлургии при 870–1200 °С, ликвации расплава и электролиза. На основе полученных результатов разработана технологическая схема получения глинозема, пригодного для электролитического восстановления алюминия.

Агротехнические испытания дробленого и механоактивированного сыннырита показали, что последний действует как достаточно активное бесхлорное калийное удобрение [16]. Однако перевозка его для агротехнических целей неэкономична из-за низкой доли активного компонента в сырье.

Анализ существующего положения свидетельствует об актуальности создания новых высокоэффективных технологий переработки сынныритов, особенно тех, которые могут быть реализованы непосредственно в Восточной Сибири.

В наибольшей мере этим требованиям отвечают комбинированные методы переработки сынныритов, включающие синтез калиофилита из микроклина и последующее сернокислотное выщелачивание. Серная кислота может быть получена из пиритных концентратов при обогащении колчеданных полиметаллических руд Озерного, Холоднинского, Удоканского и других месторождений Забайкалья. Экологическая предпочтительность использования серной кислоты связана с меньшей ее летучестью по сравнению с азотной и соляной кислотами.

Цель данной работы — разработка комбинированной схемы глубокой переработки сынныритов, основанной на синтезе калиофилита из калиевого полевого шпата с последующим его сернокислотным выщелачиванием в режиме вызревания.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта исследования служила проба сыннырита из Калюмного участка Сыннырского щелочного массива. Прогнозные запасы оксида калия на продуктивной полосе сынныритов Калюмного участка Сыннырского щелочного массива шириной от 180 до 840 м, протяженностью 3500 м и до глубины 400 м составляют 210 млн т., глинозема — 260 млн т. Данные ситового анализа свидетельствуют, что порода достаточно легко измельчаема (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Результаты ситового анализа сынныритов

Размер, мм	Выход, %	Размер, мм	Выход, %
– 0.09	82.74	– 0.25 + 0.3	2.43
– 0.015 + 0.09	11.56	– 0.3 + 0.25	0.30
– 0.3 + 0.15	2.93	+ 0.30	0.30

Главными породообразующими минералами сынныритов являются калиевый полевой шпат (микроклин), нефелин и калисилит при значительном преобладании микроклина (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Минеральный состав сынныритов

Минерал	Содержание, %	Минерал	Содержание, %
Калиевый полевой шпат (микроклин, санидин)	63.50	Сфен	Зн.
Калисилит	23.20	Магнетит	»
Биотит	4.25	Апатит	»
Эгирин-диопсид	8.14	Ортит	»
Эгирин-салит	Зн.*	Флюорит	»

\* Зн. — знаки

Рентгенофазовый анализ сынныритов (рис. 1), проведенный на дифрактометре D8 ADVANCE фирмы Bruker AXS, подтверждает данные минералогического анализа. Обработка результатов проводилась с помощью пакета программных средств DIFFRAC. Интервал съемки составлял от 10 до 60° по шкале 2Theta.

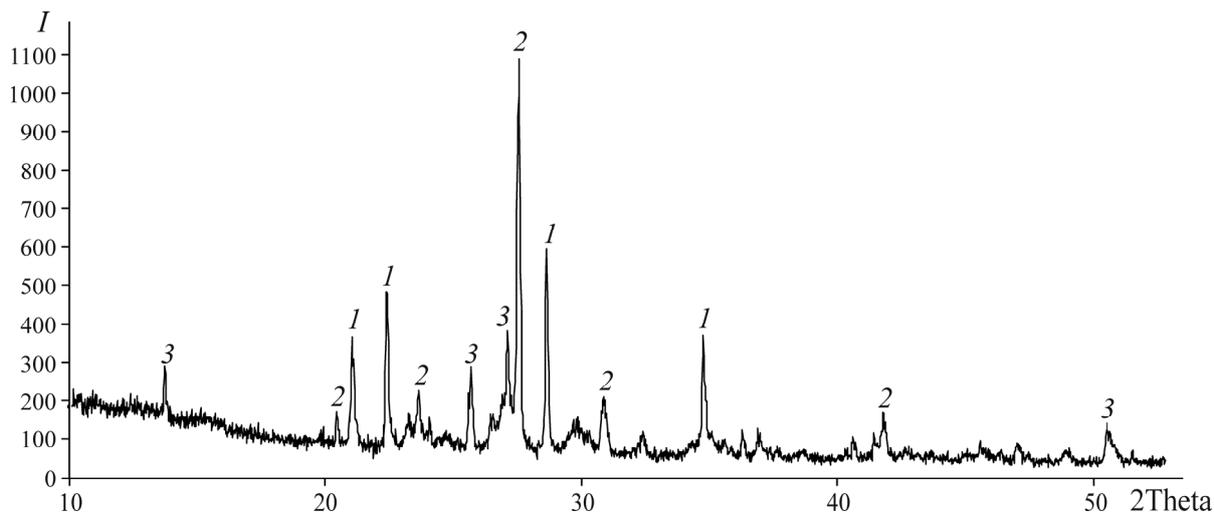


Рис. 1. Рентгенограмма сыннырита: *I* — интенсивность, кванты; 2Theta — угол отражения, град; 1 — калисилит; 2 — микроклин; 3 — ортоклаз

Высокое содержание калиевого полевого шпата, характерное для многих пород Сыннырского массива (например, для пуласкитов 75–80 %, дитроитов 60–75 %, псевдолейцит-микроклиновых сиенитов до 80 %) снижает качество сырья в отношении существующих схем обогащения нефелина.

Калий и алюминий в сынныритах находятся преимущественно в микроклине — калиевом полевом шпате. Следовательно, для полного извлечения калия и алюминия из сынныритов необходимо иметь гибкую технологию, которая не зависела бы от колебаний соотношения калиевого полевого шпата и калисилита. С этих позиций основная задача обогащения сынныритов состоит не во вскрытии и обескремнивании алюмосиликатной породы, а в синтезе из калиевого полевого шпата калиофилита. Синтез калиофилита является закономерным этапом в топотаксических превращениях алюмосиликатных минералов [17, 18].

Химический состав сынныритов, как отмечается многими исследователями, по всей площади месторождения постоянен [4, 19].

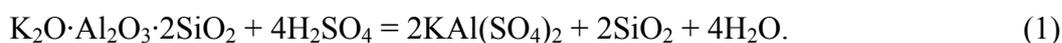
В табл. 3 представлен средний химический состав основных компонентов сынныритов Калюмного участка, полученный по результатам анализа 625 бороздовых проб в интервалах взятия технологической пробы.

ТАБЛИЦА 3. Химический состав сынныритов

Содержание, %								
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe + MgO + CaO
54.39	22.53	18.25	1.06	0.33	0.56	0.15	0.83	2.72

Учитывая минеральный состав сынныритов, принята комбинированная схема его переработки, включающая кислотное растворение калисилита, последующий синтез калиофилита путем спекания микроклинового остатка и кислотное выщелачивание калиофилита.

Калисилит обладает высокой реакционной способностью по отношению к кислотам. При кислотном выщелачивании на первой стадии из каркасной структуры калисилита удаляются крупные катионы Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, которые обмениваются на H<sup>+</sup>, а на второй стадии протекает деалюминирование Al<sup>4+</sup> → Al<sup>6+</sup>, составляющее основу в цепочке превращений алюмосиликатов:



Представляет интерес поведение кремнезема при кислотном выщелачивании: при высоких концентрациях серной кислоты (60–70 %) протекает избирательное выщелачивание калия и алюминия в раствор. Кремнезем в раствор переходит лишь в малых количествах, что облегчает процесс фильтрования растворов.

Результаты сернокислотного выщелачивания сынныритов приведены в табл. 4. Оптимальная концентрация серной кислоты принята 60 об. % (плотность 1.57 г/см<sup>3</sup>), время затворения реакционной массы 3 ч. Расход серной кислоты хорошо согласуется с реакцией (1).

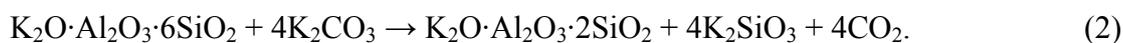
ТАБЛИЦА 4. Результаты сернокислотного выщелачивания сыннырита

Время выщелачивания, ч	Выход твердой фазы, %	Содержание в твердой фазе, %			Извлечение в раствор, %		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>
Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 % (плотность 1.32 г/см <sup>3</sup> )							
3	80.65	16.11	12.40	66.34	43.52	44.04	1.29
6	80.90	16.24	13.30	64.40	39.79	39.79	3.80
24	81.02	16.24	13.32	65.21	39.76	39.96	3.81
Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 40 % (плотность 1.42 г/см <sup>3</sup> )							
3	82.10	16.23	13.20	66.56	40.20	39.37	1.62
6	82.46	16.26	12.99	63.96	39.76	39.67	3.63
24	82.10	16.58	13.34	65.17	38.94	39.17	3.21
Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50 % (плотность 1.52 г/см <sup>3</sup> )							
3	82.85	16.45	13.42	64.36	39.86	38.67	0.55
6	82.98	16.32	13.08	63.06	39.75	39.26	2.36
24	82.55	16.50	13.32	64.75	39.64	39.23	2.50
Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 60 % (плотность 1.61 г/см <sup>3</sup> )							
3	82.45	16.44	13.54	65.41	39.63	37.52	0.44
6	85.15	16.34	12.73	61.80	39.72	39.20	1.34
24	81.35	16.24	13.04	66.00	40.00	40.65	1.85
Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 70 % (плотность 1.70 г/см <sup>3</sup> )							
3	82.15	16.67	13.70	64.76	39.56	37.02	0.41
6	82.20	16.35	13.25	64.99	39.70	39.06	1.26
24	82.60	16.24	12.99	64.77	39.82	39.96	1.20

Как следует из табл. 4, в раствор выщелачивается 0.4–1.2 % кремнезема, 40–43 % оксида алюминия и 37–44 % оксида калия. Составы полученных осадков близки к составу микроклина, но несколько обогащены кремнеземом: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16.1–16.6 %; K<sub>2</sub>O 12.99–13.7; SiO<sub>2</sub> 64.7–66.3 %.

Данные рентгенофазового анализа (рис. 2) подтверждают, что остаток после кислотного выщелачивания соответствует микроклину — основные рефлексы на рентгенограмме совпадают с эталоном рентгенограммы микроклина. По данным кристаллооптического анализа, зерна микроклина хорошо выражены без видимых следов замещения. Угасание относительной спайности с Ng составляет 15°, Ng = 1.524, Nm = 1.518.

Для извлечения калия и алюминия из микроклина необходимо микроклин превратить в фазу нефелина (калиофилита). Синтез калиофилита возможен в твердофазной реакции при спекании микроклина с поташом или известью:



По уравнению реакции образования калиофилита (2) соотношение молекулярных весов (K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub>):(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) равно единице. Это совпадает с условиями спекания на практике. Синтез калиофилита связан с перестройкой структуры калиевого полевого шпата [18].

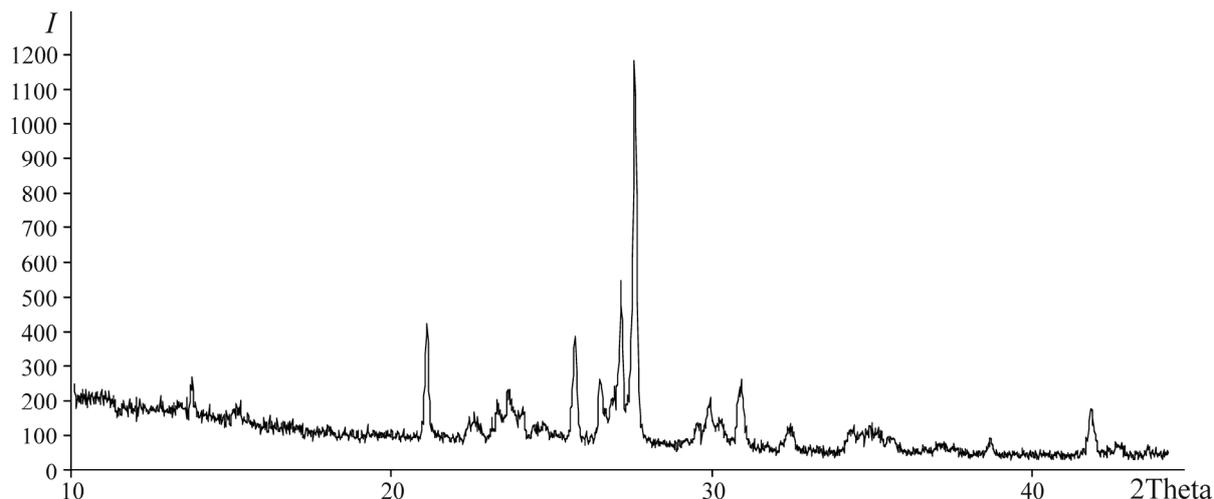


Рис. 2. Рентгенограмма остатка после кислотного выщелачивания: *I* — интенсивность, кванты; 2Theta — угол отражения, град

Установлены оптимальные условия спекания микроклинового остатка с поташом, которые полностью совпадают с теоретическими условиями образования калиофилита: соотношение микроклинового остатка и поташа 1:1, температура спекания соответствует температуре плавления поташа (900 °С). Полноту превращения микроклина в калиофилит контролировали по анализу остатка после выщелачивания спека серной кислотой.

Результаты исследований по спеканию микроклинового остатка с выделением метасиликата калия водным выщелачиванием спека приведены в табл. 5.

ТАБЛИЦА 5. Результаты спекания и водного выщелачивания спека, %

Продукт	Выход	Содержание			Извлечение		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
Калиофилитовая фаза	32.98	43.39	21.63	13.70	46.21	100.00	8.32
Раствор метасиликата	67.02	24.85	Н/о*	74.26	53.79	0	91.68
Спек микроклина	100	30.97	7.26	57.29	100.00	100.00	100.00

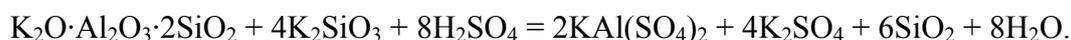
\* Н/о — не обнаружено

Выщелачивание метасиликатного раствора проводили ледяной водой для исключения образования труднофильтруемого осадка. В процессе выщелачивания из-за большой концентрации ионов калия из раствора полностью осаждаются алюминий в виде гидроалюмината калия. Метасиликат калия остается в растворе.

Как следует из табл. 5, в метасиликатный раствор переходит более 60 % спека, в который извлекается 53.79 % кремнезема и 91.68 % K<sub>2</sub>O.

Установлено, что спек микроклина с поташом можно полностью разложить горячей водой, однако в этом случае из раствора выпадает в виде труднофильтруемого осадка K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O. Вследствие того что в растворе имеется большая концентрация ионов калия, алюминий полностью осаждается в виде гидроалюмината калия, а в растворе остается чистый метасиликат калия.

Калиофилитовый продукт полностью разлагается 60 % серной кислотой по реакции



Результаты кислотного выщелачивания калиофилитовой фазы приведены в табл. 6.

ТАБЛИЦА 6. Результаты кислотного выщелачивания калиофилитовой фазы (60 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, время 3 ч), %

Продукт	Выход	Содержание			Извлечение		
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
Кремнезем	46.65	98.00	1.54	Н/о	100.00	3.32	0
Раствор (квасцы)	63.35	Н/о*	39.19	13.70	0	96.68	100.00
Калиофилитовая фаза	100.00	43.34	21.63	13.70	100.00	100.00	100.00

\* Н/о — не обнаружено

Следует отметить, что весь процесс переработки сыннырита значительно упростится, если после спекания микроклина с поташом спек выщелачивать сразу раствором серной кислоты (исключив водное выщелачивание). Но в таком случае значительно возрастает объем сернокислотных растворов, а главное, теряется возможность регенерации поташа.

Щелочно-кислотное окончание технологической схемы переработки сынныритов может быть включено в схему как с гидрохимическим, так и с термохимическим обогащением сыннырита, поскольку во всех случаях продуктом переработки сыннырита на стадии обогащения является калиофилит. При таком варианте часть концентрата можно перерабатывать по нефелиновому циклу, а часть — по кислотному с получением глинозема и сульфата калия. Комбинированная технологическая схема комплексной переработки сынныритов представлена на рис. 3.

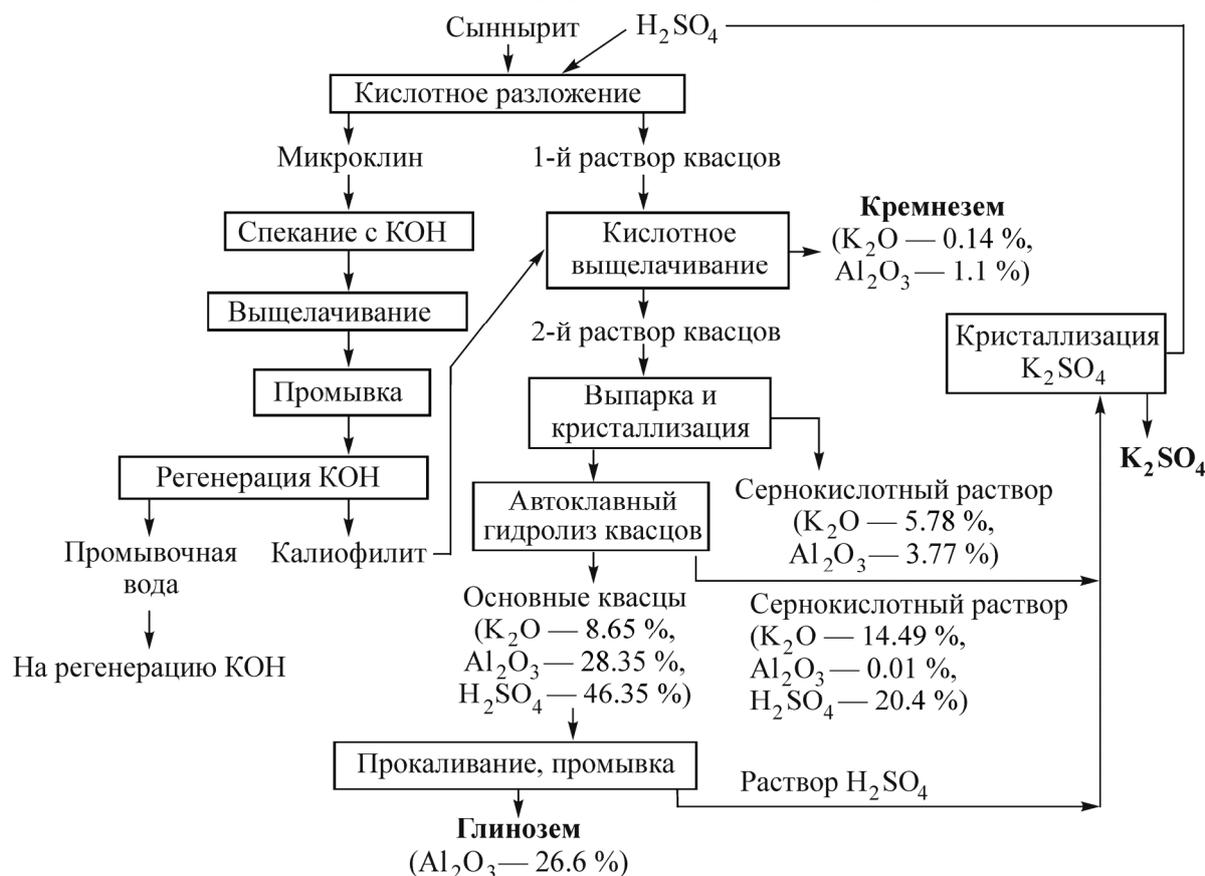


Рис. 3. Комбинированная технологическая схема комплексной переработки сынныритов

Проведенные балансовые опыты по технологической схеме показали высокую степень извлечения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и K<sub>2</sub>O в сернокислый раствор — 97.5 и 98 % соответственно.

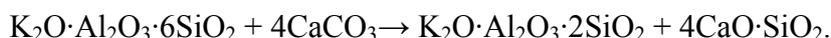
Из объединенных сернокислых растворов после выщелачивания сыннырита и калиофилита выделяют вакуум-кристаллизацией алюмокалиевые квасцы со средним составом, %:  $Al_2O_3$  — 11.06;  $K_2O$  — 8.45; S — 14.26. Состав квасцов близок к составу  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ .

Одним из широко используемых методов переработки алюмокалиевых квасцов является обработка их в автоклаве (соотношение Т:Ж = 1:1, температура 200 °С, продолжительность 1 ч, добавка  $K_2SO_4$  10 % от массы квасцов) до основных квасцов. После отделения от сернокислого раствора квасцы подвергают термическому разложению при температуре 1000 °С в течение 2 ч на черновой глинозем и сульфат калия. После промывки прокаленного образца получен черновой глинозем в  $\alpha$ -форме. Выход глинозема из основных квасцов составляет 100 %. Технико-экономический расчет выхода продукции при переработке сынныритов по комбинированной схеме на 1 т сульфата калия (53 %  $K_2O$ ) представлен в табл. 7.

ТАБЛИЦА 7. Показатели технико-экономического расчета выхода продукции

Сырье	Количество, т	Выход продукции	Количество, т
Сыннырит	6.074	Глинозем (98 % $Al_2O_3$ )	1.164
Серная кислота (100 %)	1.196	Шихтоф (33 % $SiO_2$ )	1.473
		Кремнегель (95 % $SiO_2$ )	1.806

Следует отметить, что калиевый полевой шпат без труда переходит в калиофилит и при обжиге с известью [20]. Известь подается в процесс обжига из расчета получения не двухкальциевого силиката (как это принято в глиноземном производстве), а волластонита, т. е. в значительно меньших количествах (мольное соотношение в шихте  $CaO:Al_2O_3 = 1:0.55$ ). При этом протекает реакция:



Использование извести в технологии является наиболее экономичным, поскольку крупное Аиктинское месторождение известняков находится в районе ст. Таксимо на БАМе в 12 км к северу. Запасы сырья по категории С3 оценены в объеме 177 684 тыс. т.

Вблизи от Сыннырского месторождения находятся крупные месторождения апатитового сырья — Селигдарское и магнийсиликатного сырья Йоко-Довыренское. Переработка сынныритов в комплексе с близлежащими месторождениями других полезных ископаемых позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции.

## ВЫВОДЫ

Результаты минерального и рентгенофазового анализов свидетельствуют о том, что главными породообразующими минералами сынныритов являются калиевый полевой шпат (микроклин) и калисилит. Установлены оптимальные условия синтеза калиофилита в твердофазной реакции путем спекания микроклинового остатка с поташом: соотношение микроклинового остатка и поташа 1:1, температура спекания соответствует температуре плавления поташа (900 °С).

Разработана комбинированная схема переработки сынныритов, включающая кислотное растворение калисилита, последующий синтез калиофилита и его выщелачивание в режиме кислотного выщелачивания, при котором кремнезем практически не переходит в раствор, что позволяет получать легко фильтруемые растворы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владыкин В. Е. Сынныриты — новый перспективный тип Al-K-SiO<sub>2</sub> руд и их месторождения / Материалы Всерос. науч.-практ. конф. “Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья”. — Улан-Удэ: ЭКОС, 2010.

2. **Сизяков В. М.** Состояние и проблемы развития алюминиевой промышленности России в условиях экономики переходного периода (аналитический обзор) // Цв. металлы. — 2000. — № 11 – 12.
3. **Панина Л. И.** Сынныриты Сибири: обоснование целесообразности освоения // Регион: экономика и социология. — 1997. — № 3.
4. **Андреев Г. В.** Петрология формации калиевых нефелиновых и щелочных сиенитов. — Новосибирск: Наука, 1981.
5. **Манвелян М. Г.** Химия и технология глинозема. — Ереван: АрмСНХ, 1964.
6. **Буховец В. Г., Сажин Б. С.** Разложение алюмосиликатов натриево-калиевыми щелочными растворами / Химия и технология глинозема. — Новосибирск: Наука, 1971.
7. **Пономарев В. Д., Сажин В. С., Ни Л. П.** Гидрохимический щелочной способ переработки алюмосиликатов. — М.: Металлургия, 1964.
8. **Абрамов В. Я., Алексеев А. И., Бадалянц Х. А.** Комплексная переработка нефелино-апатитового сырья. — М.: Металлургия, 1990.
9. **Пат. № 1606531 RU, МПК C12N1/14, C22B3/00, C12R1/14, C12R1:82, C12N1/14, C12R1:845.** Способ переработки сыннырита / А. А. Корневский, З. А. Авакян, Г. И. Каравайко, Г. Г. Балашова, В. П. Кузнецов, В. И. Паукер. — № 4645832; заявл. 15.11.90; опубл. 15.11.90, Бюл. № 42.
10. **Юсупов Т. С., Королева С. М., Шумская Л. Г.** Основные направления в технологии переработки сынныритов / Всесоюз. конф. по развитию производительных сил Сибири “Горнодобывающие комплексы Сибири и их минерально-сырьевая база”. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 1986. — Ч. 3.
11. **Матвеев В. А.** Переработка нефелинового концентрата фосфорнокислотным методом // Хим. технология. — 2008. — № 7.
12. **Пат. 2179527 RU, МПК С 01 В 33/187.** Способ переработки силикатного сырья / Д. В. Захаров, К. В. Захаров, В. А. Матвеев, Д. В. Майоров; ЗАО «ХОРС». — № 2001101307/12; заявл. 15.01.01; опубл. 20.02.02, Бюл. № 5.
13. **Захаров В. И., Матвеев В. А., Майоров Д. В., Захаров К. В.** Новые направления комплексной переработки нефелина сернокислотными методами / Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. “Металлургия цветных металлов. Проблемы и перспективы”. — М.: МИСиС, 2009.
14. **Пат. № 2372290 RU, МПК C01F/24.** Способ переработки нефелин-полевошпатового сырья / Е. С. Горбунова, В. И. Захаров, С. Г. Федоров и др.; ЗАО СЗФСК. — № 2008105853/15; заявл. 15.02.08; опубл. 10.11.09, Бюл. № 42.
15. **Римкевич В. С., Маловицкий Ю. Н., Демьянова Л. П., Воробьев Ю. А, Белов Р. В.** Исследование процессов комплексной переработки небокситовых руд Дальневосточного региона России // Тихоокеан. геология. — 2006. — Т. 25. — № 3.
16. **Пат. № 1188152 RU, МПК C01F/24.** Калийное удобрение / Ф. В. Янишевский, К. А. Дзикович, В. П. Кузнецов, В. И. Паукер, Г. Г. Балашова, В. А. Паниткин. — № 3710313; заявл. 30.10.85; опубл. 30.10.85, Бюл. № 40.
17. **Белов Н. В.** Кристаллохимия силикатов с крупными катионами. — М.: АН СССР, 1961.
18. **Никифоров К. А., Ревнивцев В. И.** Направленные превращения минералов. — Новосибирск: Наука, 1991.
19. **Жидков А. Я., Ушаков А. А., Хрусталева В. К.** Калюминское месторождение сынныритов — первое месторождение ультракалиевого глиноземного сырья Сыннырского массива / Проблемы хозяйственного освоения зоны БАМа, 1981.
20. **А. с. № 142193 СССР.** Способ переработки сыннырита / К. К. Константинова, К. А. Никифоров, М. В. Мохосоев. — № 4237719/31-02; заявл. 31.07.87; опубл. 07.09.88, Бюл. № 33.

*Поступила в редакцию 6/VI 2013*