

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ИМ. Н.М. ФЕДОРОВСКОГО (ВИМС)

На правах рукописи

Меньшенин Александр Юрьевич

**БОКСИТЫ ИКСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КАК КОМПЛЕКСНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ГЛИНОЗЕМА, СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ
И ДРУГИХ ПРОДУКТОВ**

**Специальность: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Москва – 2001

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС).

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук
Одокий Б.Н. (ВИМС).

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
Быховский Л.З. (ВИМС),
доктор геолого-минералогических наук
Богатырев Б.А. (ИГЕМ РАН)


Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский институт экономики минерального сырья и недропользования (ВИЭМС).

Защита состоится «23» ноября 2001 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского по адресу: 109017, Москва, Старомонетный пер., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВИМСа.

Автореферат разослан 16 октября

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геол.-мин. наук**

 **Шурига Т.Н.**

ВВЕДЕНИЕ

Иксинское месторождение бокситов входит в состав Североонежского бокситорудного района (СОБР). Оно расположено на северо-западе европейской части России, в Плесецком районе Архангельской области и является одним из самых крупных в РФ.

Район экономически освоен. Через него проходит Северная железная дорога. Районный центр – поселок городского типа и железнодорожная станция Плесецк. Кроме Плесецка, имеются город Мирный и поселки городского типа: Североонежск, Савинский. Между собой населенные пункты связаны автодорогами с асфальтовым и частично бетонным покрытием.

Наиболее крупными промышленными предприятиями района являются: Североонежский бокситовый рудник (ОАО «СОБР»), отработывающий с 1974 г. Иксинское месторождение; цементный, асбесто-цементный заводы и завод железобетонных конструкций - в пос. Савинский; камнедобывающий карьер «Мяндуха» и др. По территории района ведется прокладка трассы газопровода федерального значения.

Из полезных ископаемых, кроме бокситов, разведаны месторождения известняков, глин, песчано-гравийных смесей и других стройматериалов. Предварительно разведано крупнейшее в России месторождение палыгорскитовых глин и выявлены два проявления силикатного никеля. Имеются предпосылки выявления месторождений алмазов.

Отличительной особенностью бокситов Иксинского месторождения является высокое содержание в них глинозема, при высоком, не характерном для других бокситовых месторождений мира, – кремнезема и относительно низком количестве оксидов железа. Высокая кремнеземность бокситовых руд, существенно затрудняющая их использование в глиноземной промышленности, относит Иксинские бокситы к технологически низкосортному сырью, переработка которого на глинозем возможна только капиталоемким методом спекания. В ограниченном количестве они используются только на Бокситогорском заводе. В связи с этим, среднегодовой уровень добычи бокситового рудника до настоящего времени не превышает 10% первоначально запроектированного объема, и более половины добываемых бокситов используется в цементном, огнеупорном производствах и в качестве флюсов в черной металлургии. Вместе с тем, руды Иксинского месторождения являются уникальным природным комплексным сырьем для производства синтетических цеолитов типа Na-A, глинозема и редкометалльного продукта (шлама). Поэтому повышение рентабельности переработки этих руд является одной из важнейших проблем, как рудника, так и отрасли в целом.

Синтетический цеолит типа Na-A ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) является экологически и токсикологически безупречным заменителем триполифосфата натрия в рецептурах синтетических моющих средств. Соединения фосфора, попадая через бытовые стоки в поверхностные водоемы, способствуют

бурному развитию в них водной растительности, что приводит к заболачиванию и загниванию рек. В ряде стран использование фосфатных добавок в СМС законодательно ограничено (Германия, Нидерланды, Норвегия, Австрия, Япония, Таиланд) или запрещено полностью (Швейцария, Италия, США).

Актуальность работы заключается в расширении сферы использования низкокачественных бокситов Иксинского месторождения, как комплексного *глиноземно-цеолитового сырья (ГЦС)*, путем применения разработанной в ВИМСе новой малоотходной спекательно-гидрохимической технологии, позволяющей перевести основные компоненты сырья в ценные товарные продукты - синтетический цеолит, глинозем и редкие металлы.

Цель и задачи работы. Основная цель работы заключается в выделении среди бокситоносных отложений центральной части Беловодской залежи Иксинского месторождения нового комплексного глиноземно-цеолитового сырья, пригодного для рентабельной переработки по технологии ВИМСа.

С этой целью решаются следующие задачи:

- определение приуроченности ГЦС к различным литологическим типам руд на основе геолого-технологического анализа их вещественного состава;

- уточнение генезиса бокситоносной толщи, степени влияния осадочного и латеритного процессов на формирование различных типов бокситов и ГЦС;

- оценка запасов и качества нового сырья в соответствии с требованиями новой технологии и сопоставление с данными детальными геологоразведочных работ;

- оценка эффективности переработки комплексного глиноземно-цеолитового сырья.

Фактический материал и методика исследований. В основу диссертации положены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором в период 1997-2000 гг. в секторе прогнозирования и оценки объектов алюминиевого и марганцевого сырья ВИМСа. Образцы и пробы каменного материала были отобраны автором из различных частей забоя действующего карьера и кернов геологоразведочных скважин ООО «Природа» (бывшая Плесецкая геологоразведочная экспедиция ПГО «Архангельскгеология»). Вещественный состав образцов и проб исследован методами: спектрального, химического, количественного рентгено-дифрактометрического анализа; термическим; инфракрасной спектроскопии; электронной микроскопии и др. Исследования проводились в лабораториях ВИМСа, Института минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ), Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН РФ и Института проблем химической физики (ИПХФ) РАН РФ. Изучено 30 прозрачных шлифов, изготовленных из собственных образцов, и просмотрено более 250 шлифов, предоставленных сотрудниками ООО «Природа».

В диссертации автором использованы также материалы: поисково-съемочных и геологоразведочных работ, проведенных ООО «Природа» в 1950-80 гг., и эксплуатационной разведки ОАО «СОБР» центральной части Беловодской залежи месторождения; результаты комплексных геолого-экономических и лабораторных технологических исследований, выполненных сотрудниками ВИМСа с участием автора, и данные опытно-промышленных испытаний заводской пробы глиноземно-цеолитового сырья на Уральском алюминиевом заводе (УАЗ).

Научная новизна работы. Впервые в осадочно-латеритных бокситоносных отложениях с участием автора выделен новый вид комплексного сырья – глиноземно-цеолитовый, рентабельная переработка которого возможна по технологии ВИМСа. В рамках этой технологии впервые доказана возможность перевода наиболее вредной примеси в бокситовых породах – кремнезема в ценный товарный продукт – синтетический цеолит. Технология апробирована в заводских условиях, защищена патентом РФ и не имеет аналогов в мире.

Практическая значимость. Использование бокситов Иксинского месторождения в качестве комплексного глиноземно-цеолитового сырья расширяет сферу их применения и повышает природную ценность месторождения.

Новая высокоэффективная технология получения синтетических цеолитов Na-A из природного сырья позволит постепенно вывести из рецептуры синтетических моющих средств экологически опасный компонент – триполифосфат натрия.

Получаемый вместе с синтетическим цеолитом глинозем является ценным импортозамещающим продуктом, потребность в котором в России практически не ограничена.

При наличии спроса из шлама от выщелачивания спека могут выделяться по освоенным промышленностью технологиям пигментная двуокись титана, скандий, иттрий, и редкоземельные элементы.

Апробация и публикации. Основные положения диссертации доложены на 11-ом Международном совещании по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (Дубна, 1997 г.); научно-практической конференции «Аналитические и технологические методы при геологических и геоэкологических исследованиях» (Москва, 1998 г.); Международном симпозиуме по стратегии использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке (Москва, 1998 г.).

Результаты исследований изложены в двух научных отчетах за 1998, 2000 гг., в пяти опубликованных работах и в двух статьях, подготовленных к печати.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 107 наименований, содержит 90 страниц машинописного текста, 19 рисунков и микрофотографий, 11 таблиц.

В первой главе приводится история изучения СОБРа и Иксинского месторождения. Во второй главе рассмотрены основные черты геологического строения района месторождения, стратиграфия, морфология рудных залежей, особенности вещественного состава бокситов и бокситовых пород. В третьей главе освещаются вопросы генезиса бокситов. Четвертая глава посвящена оценке запасов и качества ГЦС в сопоставлении с данными геологоразведочных работ. Пятая глава – технологико-экономическая. В ней приведена схема переработки ГЦС по технологии ВИМСа, результаты проведенных лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний. В заключительной части главы приведены укрупненные технико-экономические расчеты эффективности переработки комплексного глиноземно-цеолитового сырья.

Диссертационная работа выполнена в ВИМСе под научным руководством к.г.-м.н. Б.Н. Одокия, которому автор выражает свою глубокую благодарность и признательность. Автор искренне благодарит сотрудников сектора прогнозирования и оценки объектов алюминиевого и марганцевого сырья ВИМСа: Ю.Е. Кустова, Е.В. Ершову, А.М. Скловского, Л. А. Антоненко и др. за сделанные замечания и ценные советы, а также работников ОАО «СОБР» и ООО «Природа» за предоставление фактического материала и содействие в проведении работы. Особенно автор признателен своей коллеге по работе Т.С. Остроумовой за постоянную поддержку и практическую помощь в работе.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Бокситы и бокситовые породы Иксинского месторождения, вещественный состав которых характеризуется высокими содержаниями глинозема и кремнезема при низких количествах оксидов железа, являются оптимальным природным сырьем для комплексной переработки по спекательно-гидрохимической технологии с получением глинозема, синтетических цеолитов типа Na-A и других продуктов.

Это защищаемое положение обосновывается специфическими геологическими условиями формирования месторождения.

Иксинское месторождение бокситов приурочено к сложной по форме корытообразной впадине предкарбонной поверхности выравнивания, вытянутой субширотно более чем на 18 км вдоль юго-западного склона гряды рифтогенной структуры низшего порядка Балтийского щита – Ветреного пояса. Бокситоносные отложения распространены по всей донной части впадины. Кондиционные руды локализуются в наиболее углубленных местах впадины, образуя шесть разобнесенных залежей: Беловодскую, Евсюковскую, Чирцовскую, Кудрявцевскую, Тарасовскую и Казаковскую, которые отделены друг от друга безрудными участками. Самой крупной является Беловодская залежь. По горно-техническим и гидрогеологическим условиям она разделена на три участка: Восточный, Западный (центральный) и Залугу-

жемский. Западный участок рассматривается нами как первоочередная сырьевая база глиноземно-цеолитового производства.

Древнейшими образованиями Североонежского бокситорудного района и месторождения является комплекс глубоко метаморфизованных эффузивных пород раннепротерозойского возраста свиты ветренный пояс, представленный в основном базальтами, диабазами и ортосланцами. Продукты выветривания этих пород по мнению ряда исследователей послужили исходным материалом для образования бокситов и бокситовых пород СОБРа. Породы свиты ветренный пояс перекрыты осадочными образованиями котлинского горизонта верхнепротерозойского возраста, представленного довольно однообразной толщей плотных аргиллитоподобных глин и сланцеватых аргиллитов, переслаивающихся с алевролитами и песчаниками. На протерозойских породах трансгрессивно с резким стратиграфическим несогласием залегают верхнедевонские отложения, относящиеся к нерасчлененному франскому ярусу, представленные глинами, алевролитами, песчаниками и конгломератами. Бокситоносная толща приурочена к иксинской свите и стратиграфически относится к тульско-алексинскому (ближе не расчлененному) горизонту визейского яруса нижнего карбона.

Иксинская свита подразделяется на нижнюю и верхнюю подсвиты, граница между которыми выделена условно. *Нижняя подсвита* соответствует подрудному горизонту бокситоносных отложений, сложена псефитовыми, псаммитовыми, пелитоморфными – глинистыми переотложенными продуктами коры выветривания докембрийских кристаллических, вендских и девонских песчано-глинистых пород. *Верхняя подсвита* соответствует бокситорудному горизонту, представленному в основном бокситами и бокситовыми породами. В строении рудного горизонта наблюдается закономерность, наиболее заметно выраженная в разрезе. Кондиционные бокситы слагают центральные части горизонта – собственно залежь бокситов, постепенно сменяясь к подошве и кровле аллитами и сиаллитами. На флангах бокситоносных отложений кондиционные бокситы выклиниваются, фациально замещаясь, как и в вертикальном разрезе аллитами, сиаллитами и каолиновыми глинами.

Главными минералами бокситов и бокситовых пород Иксинского месторождения являются бемит и каолинит, второстепенным – гиббсит. В среднем по месторождению содержание этих минералов составляет (%): каолинит 30-40, бемит 25-35, гиббсит 10-15 (Лозовский и др., 1994).

Химический состав бокситов и бокситовых пород в пределах залежей и участков отличается выдержанностью, высоким (до 52-55%) содержанием глинозема, столь же высоким (до 21%) – кремнезема, при относительно низком (8%) среднем количестве оксидов железа (табл. 1). Средние содержания элементов примесей составляют (г/т): Ga – 60, V₂O₅ – 1200, Sc – 90-100, Y – 200-300, Li до 450, TR до 1000.

Таблица 1

Средний химический состав бокситов по залежам и участкам Иксинского месторождения*

Залежь, участок	Содержания химических компонентов (%)									
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	S	CO ₂	ППП	Al ₂ O ₃ /SiO ₂
Беловодская										
Залужемский	51,10	16,68	11,58	2,62	0,73	0,66	0,21	0,31	15,50	3,06
Западный	53,69	17,50	7,32	2,84	0,56	0,58	0,32	0,24	16,46	2,91
Восточный	55,09	18,16	6,25	2,88	0,42	0,57	0,32	0,18	15,58	3,03
Евсюковская										
Западная часть	52,84	19,39	9,36	2,73	0,12	0,52	0,03	0,05	14,34	2,73
Восточная часть	50,71	18,28	12,61	2,60	0,19	0,75	0,03	0,08	14,65	2,77
Чирцовская	52,36	20,10	7,50	2,98	0,19	0,51	н/о	н/о	15,59	2,60
Кудрявцевская	53,50	20,20	6,70	2,87	0,17	0,52	н/о	н/о	15,81	2,65
Тарасовская	49,90	19,50	10,30	2,80	0,39	0,58	н/о	н/о	15,70	2,56
Казаковская	51,00	21,00	5,10	2,75	0,41	0,41	н/о	н/о	17,96	2,43
Среднее по месторождению	53,29	17,99	8,21	2,80	0,47	0,60	0,24	0,20	15,62	2,96

* Данные ООО «Природа».

Сравнительные гистограммы химического состава бокситов Иксинского и других бокситовых месторождений России и зарубежных стран приведены на рис. 1.



Рис. 1. Средние содержания основных химических компонентов в бокситах типичных месторождений России и Мира

Вещественный состав руд Иксинского месторождения характеризует их как низкосортные высококремнеземные бокситы или бокситовые глины, низкорентабельные для переработки на глинозем освоенными промышленностью способами. В то же время в основной массе Иксинские бокситы являются природной шихтой для переработки их по спекательно-гидрохимической технологии ВИМСа в качестве комплексного глиноземно-цеолитового сырья.

ГЦС является частью бокситорудного пласта. К нему относятся, в основном, глиноземные и цементные сорта бокситов, а также частично мало-железистые аллиты и сиаллиты кровли и подошвы пласта кондиционных бокситов (рис. 2). Мартеновские бокситы, характеризующиеся сравнительно повышенным содержанием оксидов железа, а также огнеупорные бокситы, из-за их сравнительно высокой стоимости, в качестве комплексного сырья не рассматриваются.

Основным критерием отнесения бокситов и бокситовых пород к глиноземно-цеолитовому сырью является их химический состав; минеральный – существенного значения не имеет, так как в начале технологической схемы переработки предусмотрено спекание, приводящее к полному разрушению всех первичных минералов. Главными химическими компонентами ГЦС являются глинозем, кремнезем и оксид железа. Из них Al₂O₃ и SiO₂ образуют основные товарные продукты комплексного производства – глинозем и синтетический цеолит Na-A. От соотношения этих компонентов, не оказывающего существенного влияния на технологический процесс, зависит выход товарных продуктов, цена которых отличается в два-три раза.

Оксид железа помимо увеличения технологической массы в небольших количествах может переходить в цеолит, снижая его важный показатель для использования в рецептуре синтетических моющих средств – белизну, и поэтому содержание Fe₂O₃ ограничивается. Кроме того, отрицательно влияют на качество цеолитов оксид кальция и сера, снижая другой важный показатель – катионно-обменную емкость, поэтому количество этих компонентов в ГЦС строго лимитируется. Небольшие количества оксидов кальция связаны с сидеритизацией и цеолитизацией, а серы – с огипсованием и в меньшей степени – с пиритизацией.

2. Вещественный состав бокситов и бокситовых пород Иксинского месторождения обусловлен специфическими условиями их формирования в результате переотложения продуктов латеритного выветривания кристаллических пород восточной окраины Балтийского щита и алевро-аргиллитовых вендских и верхнедевонских отложений в условиях слабопроточного водоема с последующей их латеритизацией и диагнезом.

В настоящее время существуют различные точки зрения на генезис бокситов Иксинского месторождения. Большинство исследователей склоня-

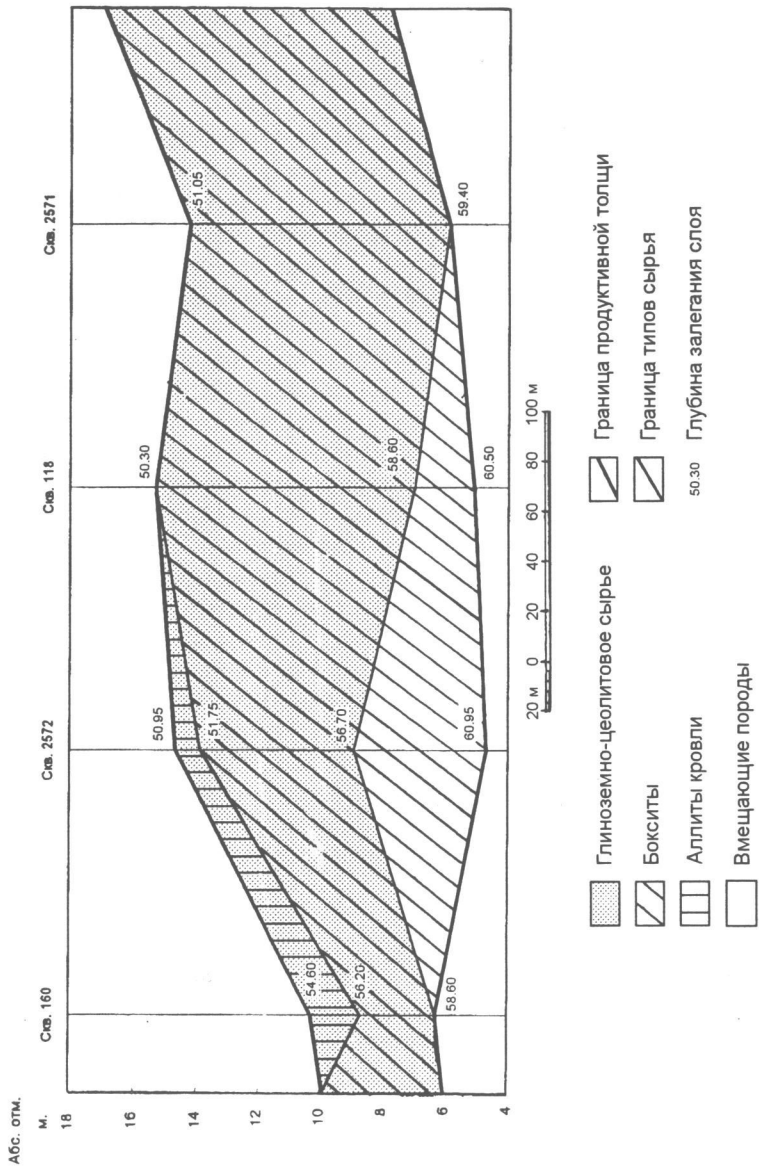


Рис. 2. Схема строения продуктивной толщи бокситов и глиноземно-цеолитового сырья Иксинского месторождения

ются к осадочно-латеритному их происхождению. Наши исследования вещественного состава и структурно-текстурных особенностей различных литологических разновидностей бокситов подтверждают и уточняют этот вывод.

Образование бокситоносных отложений Иксинского месторождения происходило в континентальных условиях в предвизейское и визейское время, когда на территории Русской платформы господствовал жаркий влажный климат, способствовавший развитию латеритного выветривания. Существенную роль в формировании бокситоносного профиля коры выветривания играло широкое развитие в пределах Североонежского бокситорудного района протерозойских вулканогенных пород основного и среднего ряда, амфибол-хлоритовых кристаллических сланцев и алевро-аргиллитовых пород вендского и девонского возраста, а также благоприятный среднерасчлененный рельеф предвизейской поверхности выравнивания.

Материал разрушения коры выветривания сносился в пониженные участки рельефа – Иксинскую и др. впадины, накапливаясь в условиях озерно-болотного водоема со слабой динамикой водной среды. Об этом, кроме дисперсности материала, свидетельствуют многочисленные мелкие углефицированные растительные остатки и стигмарины, присутствующие в разных количествах (от незначительных до 1% и выше) во всех разновидностях бокситов месторождения. Слабопроточный режим Иксинского водоема был обусловлен наличием в устьевой части впадины поперечного поднятия высотой до 30 м, сложенного диабазами.

В начальные периоды формирования бокситоносных отложений в пресноводный бассейн седиментации поступал грубообломочный и песчано-глинистый материал, представленный выветрелыми в разной степени обломками кристаллических докембрийских, а также алевро-аргиллитовых вендских и верхнедевонских пород. Этот материал слагает подрудную толщу бокситоносных отложений и также образует маломощные прерывистые прослои и линзы в рудном горизонте, которые, вероятно, образовались в периоды усиления эрозионно-денудационных процессов. По мере разрушения и сглаживания возвышенных участков и накопления сносимого с них грубообломочного материала во впадины происходило выравнивание поверхности и снижение интенсивности эрозионно-денудационных процессов. Это привело к смене сносимого материала на тонкий – глинистый, который преимущественно слагает бокситорудный горизонт.

Во время периодических осушений водоема, обусловленных малоамплитудными эпейрогенетическими колебаниями земной поверхности и возможно – сезонными изменениями режима атмосферных осадков, продолжалась латеритизация переотложенного материала коры выветривания. В периоды этапов латеритизации происходило дальнейшее разложение алюмосиликатного материала с образованием алюмо-кремнистых гелеморфных веществ и минералов свободного глинозема. Кремнезем, в связи с затрудненным вертикальным дренажом грунтовых вод, обусловленным слабой

водопроницаемостью глинистых верхнедевонских пород, частично латеральным стоком выносился из зоны латеритизации. Это обстоятельство, наряду с относительным повышением доли глинозема и других полуторных оксидов в выветрелых породах, привело к образованию аллофана, галлуазита, каолинистых глин и других метастабильных алюмосиликатов.

В периоды заболоченности водоема создавались условия, способствовавшие образованию закисной растворимой формы железа и его выносу за пределы водоема (Бушинский, 1975). Диагенетическое восстановление и вынос железа привели к резкому – почти трехкратному сокращению его содержания в бокситоносных отложениях и дополнительному относительному повышению содержания глинозема.

В результате периодов латеритизации и диагенеза образовались мало-железистые, высокоглиноземные и высококремнеземные глинистые бокситовые породы и низкокачественные бокситы, которые и являются глиноземно-цеолитовым сырьем.

Доказательством такой гипотезы формирования бокситовых залежей и ГЦС является закономерное размещение на площади месторождения различных минеральных типов бокситов и бокситовых пород. Основным минералом свободного глинозема в них является бемит; в подчиненном количестве – гиббсит. При этом доля последнего увеличивается до 20-25% в красных частях бокситовых залежей, что по-видимому обусловлено более продолжительными периодами осушения осадков и их латеритизацией. В центральных частях впадин, где преобладали процессы диагенеза в условиях восстановительной среды, образовались бокситы преимущественно бемитового и каолинит-бемитового состава.

Косвенным подтверждением периодов осушения водоема и латеритизации донных отложений служат ксеноморфные остроугольные отдельности в пелитоморфных разновидностях бокситов, которые по-видимому являются частицами единого дезинтегрированного трещинами усыхания поверхностного слоя осадков. Доказательством образования «in situ» этих отдельностей является одинаковая ориентировка содержащихся в них реликтов игольчатых и чешуйчатых минералов (гидролюд, турмалина, диаспора и др.). Такие отдельности мы рассматриваем не как обломки, а как «псевдообломки», не претерпевшие переноса и переотложения.

В завершающую стадию формирования бокситоносного комплекса – в михайловское время – в кровле бокситового пласта происходило образование горизонта высокожелезистых оолитово-бобовых пород, отдельные пролои которых по качеству соответствуют бедным железным рудам. Эти образования аналогичны разрушенной и переотложенной оолитово-бобовой железистой кирасе (панцирю), формирующейся на поверхностях латеритных покровов.

После перекрытия бокситоносных отложений углистыми глинами и карбонатными породами, под воздействием органических включений и возможно торфяных четвертичных отложений локально проявились огипсова-

ние, карбонатизация, цеолитизация и другие эпигенетические процессы, приведшие к некоторому ухудшению качества бокситов и глиноземно-цеолитового сырья.

На основании изложенного Иксинское месторождение относится нами к осадочному промышленному типу на терригенных породах (Одокий, Остроумова, Меньшенин, 2001).

Бокситы месторождений других промышленных типов в качестве комплексного глиноземно-цеолитового сырья для переработки по технологии ВИМСа не пригодны, главным образом из-за недостаточного количества в них кремнезема, являющегося одним из основных составляющих ГЦС, а также повышенной железистости.

Оценка запасов и качества глиноземно-цеолитового сырья

Оценка запасов и качества ГЦС произведена с участием автора на эксплуатирующемся Западном участке Беловодской залежи Иксинского месторождения. При оценке применена методика с использованием эталонных подсчетных блоков, основанная на расчете параметров рудоносности комплексного сырья в этих блоках и сопоставления их с данными детальных геологоразведочных работ на бокситы. Полученные в результате подобных сопоставлений коэффициенты по запасам – K_z , мощности продуктивного пласта – K_m , содержаниям основных химических компонентов – K_{Al} , K_{Si} , K_{Fe} , K_{Ca} и другие приняты для оценки соответствующих расчетных показателей для глиноземно-цеолитового сырья на всей характеризуемой площади. Этот метод является приблизительным и полученные по нему данные применительно к оцениваемому объекту могут соответствовать категории C_2 . Основанием применения такой методики оценки в пределах Иксинского месторождения является выдержанность продуктивного пласта бокситов по мощности и качеству на всей площади залежей.

В качестве эталонных были использованы детально разведанные по высокой категории шесть блоков Западного участка Беловодской залежи: А-33, А-35, А-37, А-38, А-41, А-46 (Лозовский и др., 1994), прилегающие к забою карьера. При выделении контуров блоков был учтен план горных работ, с исключением мартеновских и огнеупорных сортов бокситов. В расчетах использованы данные по разряженной сети скважин – 200 X 200 м.

При оконтуривании ГЦС использовались следующие требования к содержаниям основных – рудообразующих, а также малых компонентов, влияющих на качество получаемых товарных продуктов (%): SiO_2 не более 30; Al_2O_3 не менее 35; Fe_2O_3 <10; CaO <3,0; S <2,0; минимальная мощность рудного пласта принята, как и для бокситов, – 1,6 м.

Результаты сопоставления основных подсчетных параметров по шести эталонным блокам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопоставление подсчетных параметров бокситов
и ГЦС по эталонным блокам

№№ блока	Сырье	Мощ- ность, м	Запасы, тыс.т	Содержание основных компонентов, %				
				Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	S
А-33	Боксит	5,47	996,8	54,45	17,70	5,48	1,30	-
	ГЦС	5,10	933,1	53,40	20,72	4,54	0,73	0,44
А-35	Боксит	9,35	4927,4	54,46	16,32	5,83	0,59	-
	ГЦС	8,80	4320,0	53,88	17,53	4,93	0,40	0,19
А-37	Боксит	10,43	8594,2	52,73	16,9	7,46	0,68	-
	ГЦС	6,35	7152,4	53,95	17,67	5,04	0,45	0,24
А-38	Боксит	8,61	4739,0	52,84	18,47	6,36	0,56	-
	ГЦС	9,30	4176,2	53,08	19,81	4,95	0,32	0,17
А-41	Боксит	5,39	1921,5	54,30	16,56	6,08	1,02	-
	ГЦС	5,10	1896,6	54,79	19,40	4,53	0,33	0,16
А-46	Боксит	10,28	3322,6	52,01	17,63	8,98	0,53	-
	ГЦС	7,20	2369,0	52,86	19,43	5,99	0,27	0,09
ИТОГО	Боксит	8,70	24501,7	53,19	17,19	6,94	0,67	-
	ГЦС	7,45	21454,7	53,69	18,56	5,04	0,39	0,20

По сравнению с бокситами в шести эталонных блоках: мощность продуктивного пласта ГЦС уменьшилась на 1,25 м (14%), $K_M = 1,17$; средние содержания основных химических компонентов SiO₂ и Al₂O₃ увеличились соответственно на 1,37% ($K_{Si} = 0,93$) и на 0,5% ($K_{Al} = 0,99$); содержания Fe₂O₃ и CaO снизились, соответственно, на 1,9% ($K_{Fe} = 1,38$) и на 0,28% ($K_{Ca} = 1,72$); содержание серы по сравнению с глиноземными бокситами понизилось и составляет около 0,2%; запасы сократились на 3047,0 тыс. т (12%), $K_S = 1,14$.

Используя соответствующие коэффициенты и данные детальных геологоразведочных работ установлено, что запасы глиноземно-цеолитового сырья всего Западного участка Беловодской залежи по сравнению с бокситами сократились на 12%; средние содержания химических компонентов составили (%): Al₂O₃ – 53,79; SiO₂ – 17,85; Fe₂O₃ – 6,06; CaO – 0,44; S около 0,2.

Выполненная оценка запасов и качества ГЦС позволяет рассматривать эксплуатирующийся участок Беловодской залежи и месторождение в целом как крупную сырьевую базу природного комплексного сырья для производства синтетических цеолитов с попутным получением металлургического глинозема и других продуктов.

3. Переработка низкокачественных бокситов и бокситовых пород Иксинского месторождения как комплексного глиноземно-цеолитового сырья, с переводом наиболее вредной содержащейся в них примеси – кремнезема в ценный товарный продукт – синтетический цеолит Na-A, позволяет расширить их сферу применения и повысить природную ценность месторождения.

Одним из наиболее рациональных методов переработки низкокачественных бокситов и бокситовых пород Иксинского месторождения является разработанный в ВИМСе и прошедший опытно-промышленные испытания на Уральском алюминиевом заводе малоотходный спекательно-гидрохимический способ, предусматривающий получение глинозема, синтетического цеолита типа Na-A и редкометалльного продукта (шлама). Малоотходность комплексного производства обусловлена переводом наиболее вредной примеси бокситов – кремнезема в ценный товарный продукт – синтетический цеолит.

Предлагаемая технология ВИМСа заключается в следующем (рис. 3). Боксит смешивают с содой и спекают при температуре около 1000°C. Спек выщелачивают щелочно-алюминатным раствором при низкотемпературном режиме. Получаемый шлам, содержащий высокие концентрации двуокиси титана, скандия, иттрия и редкоземельных элементов, является первым товарным продуктом. Из раствора синтезируется цеолит типа Na-A, являющийся вторым товарным продуктом. После выделения цеолита часть раствора используется в качестве оборотного, а из оставшейся части методом карбонизации выделяется гидроксид алюминия, после кальцинации которого получается металлургический глинозем, являющийся третьим товарным продуктом.

В целях выявления возможных технологических осложнений из-за колебания содержаний различных рудообразующих компонентов сырья нами были проведены крупнолабораторные технологические испытания по нескольким наиболее важным узлам предлагаемой схемы.

В ходе этих испытаний был получен гидроксид алюминия, представляющий собой тонкодисперсный белый порошок, содержащий (%): Al₂O₃ – 65,15; SiO₂ – 0,2; Fe₂O₃ – 0,02; TiO₂ <0,02; Na₂O – 0,50; CaO – 0,03; Cr₂O₃ – 0,023; V₂O₅ – 0,006; ППП – 34,04, что полностью соответствует техническим требованиям УАЗа.

С целью избежать селективной добычи глиноземно-цеолитового сырья, содержащего в среднем 6% оксида железа, были испытаны пробы, отвечающие среднему содержанию этого компонента в товарном глиноземном сорте бокситов – около 8%. Испытания показали, что увеличение количества оксида железа в пробе почти на 2% практически не оказывает влияния на технологические показатели и качество получаемых товарных продуктов.

Поэтому опытно-промышленные испытания на УАЗе проводили на пробе глиноземного боксита массой ~ 6,7 т, характеризовавшейся следующим следующим химическим составом (%): Al₂O₃ – 53,78; SiO₂ – 16,74;

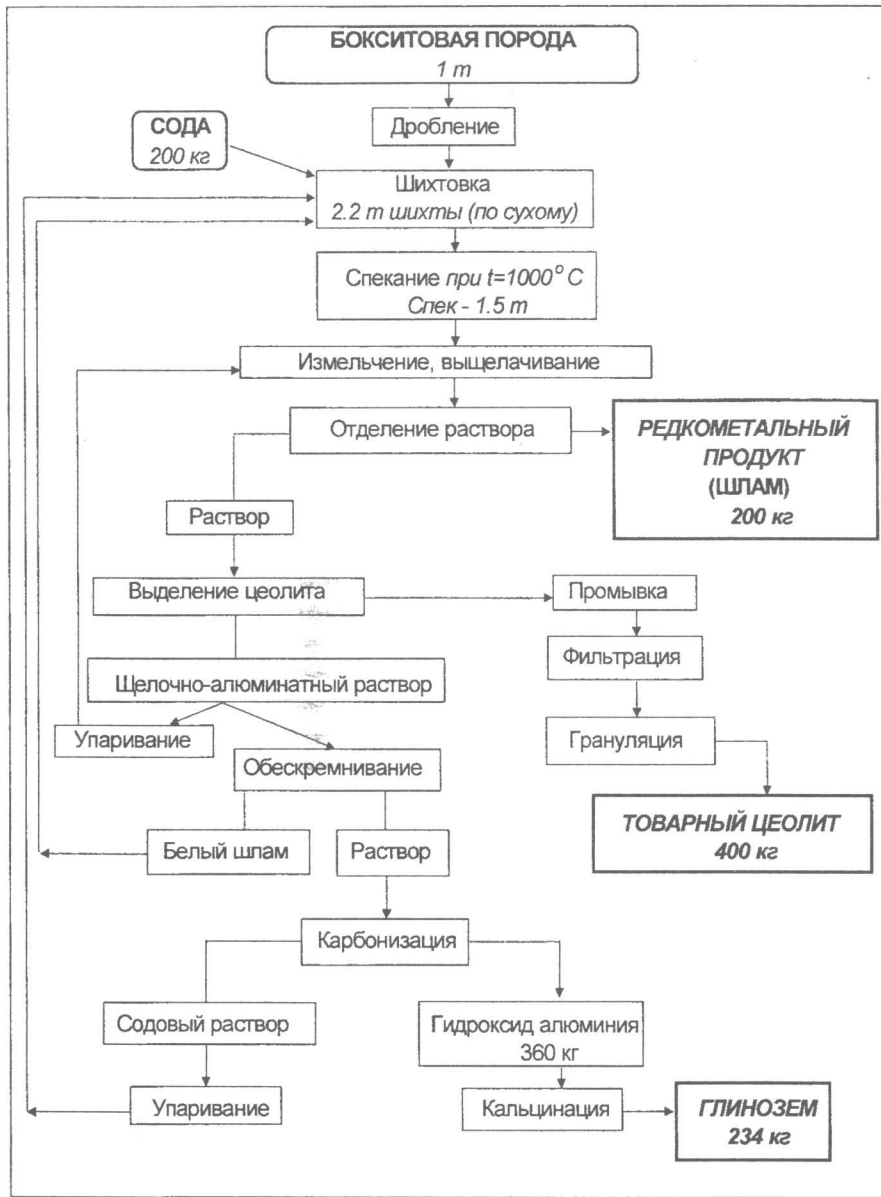


Рис. 3. Принципиальная схема переработки глиноземно-цеолитового сырья по спекательно-гидрохимической технологии ВИМСа

Fe_2O_3 – 8,39; CaO – 0,64; TiO_2 – 2,88; MgO – 0,40; Cr_2O_3 – 0,66; $S_{\text{общ}}$ – 0,44; ППП – 16,3.

В результате этих испытаний при разных технологических режимах были синтезированы цеолиты типа Na-A, содержащие (%): Al_2O_3 от 31,2 до 33,2; SiO_2 от 31,8 до 34,5; Na_2O от 16,8 до 20,7; Fe_2O_3 от 0,08 до 0,16; SO_3 от 0,42 до 3,20. Полученный при оптимальном режиме цеолит имел следующие показатели качества: химический состав (%): Al_2O_3 – 32,3; SiO_2 – 32,6; Na_2O – 16,8; Fe_2O_3 – 0,16; SO_3 – 0,42; Cr – 0,0022; V – 0,0005; Zr – 0,0025; Pb < 0,0003; Cu < 0,003; As < 0,01; Hg < 0,01; белизна – 85%, катионно-обменная емкость по CaO – около 160 мг/г; pH – 11,08; массовое распределение частиц по классам крупности:

Класс, мкм	1-0	2-1	5-2	10-5	20-10	40-20	63-40	63-100
Содержание, %	0,15	4,3	4,33	27,93	47,82	10,7	0,42	4,35

По данным электронной микроскопии частицы имели нечетко выраженное кубическое строение с округленными углами кристаллов; размер их колебался от 0,5 до 5 мкм, преобладал – 1-2 мкм.

Дифрактометрические исследования показали наличие, наряду с цеолитом Na-A, сульфатсодержащего цеолита группы содалита – гаюина $\text{Na}_6\text{Ca}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)_2$. Установлено, что с увеличением его содержания существенно снижается катионно-обменная емкость цеолитов. Наличие гаюина подтверждается также данными химических анализов по содержанию серы. Присутствие сульфат-ионов объясняется использованием при выщелачивании спека заводского алюминатного раствора ветви Байера. Исходя из того, что в бокситах Иксинского месторождения среднее содержание серы составляет 0,24%, а в ГЦС и того меньше – 0,2%, можно утверждать, что сера существенно не влияет на качество синтетического цеолита Na-A.

Таким образом, синтезированный в процессе опытно-промышленных испытаний цеолит Na-A полностью отвечает техническим требованиям к наполнителю для использования в рецептуре синтетических моющих средств.

Полученный при опытно-промышленных испытаниях на УАЗе гидроксид алюминия, исследовавшийся в растворе, полностью соответствовал требованиям, предъявляемым для получения металлургического глинозема, и был направлен в заводскую технологическую ветвь.

В целях получения синтетических цеолитов более высокого качества были проведены послезаводские дополнительные лабораторные исследования на спеке, полученном в опытном цехе УАЗа. Эти исследования показали, что есть возможность значительного (до 95%) повышения белизны цеолитов за счет дополнительной фильтрации исходного щелочно-алюминат-

ного раствора. В полученных в ходе лабораторных исследований образцах цеолитов гаюин рентгенофазовым анализом не фиксировался.

Проведенные нами исследования распределения попутных компонентов и элементов-примесей при переработке ГЦС (рис. 4) показали, что TiO_2 , Sc, Y, TR практически на 100% переходят в шлам от выщелачивания спека, где их концентрация по сравнению с исходным сырьем возрастает в 5-7 раз, составляя соответственно: 15-20%, 400-500 г/т, 600-700 г/т, 1000-1300 г/т. Извлечение из шлама этих полезных компонентов возможно по освоенным промышленностью технологиям.

Литий на 60% переходит в щелочно-алюминатный раствор, половина его попадает в гидроксид алюминия и является полезной примесью, улучшающей технико-экономические показатели при электролизе алюминия. Остальная часть лития остается в шламе, где его содержание недостаточно для попутного извлечения.

В оборотных щелочно-алюминатных растворах также накапливаются V и Ga, концентрация которых достигает соответственно (мг/л): 15-30 и 6-8. Выделение этих компонентов из оборотных растворов аналогично их получению в глиноземном производстве.

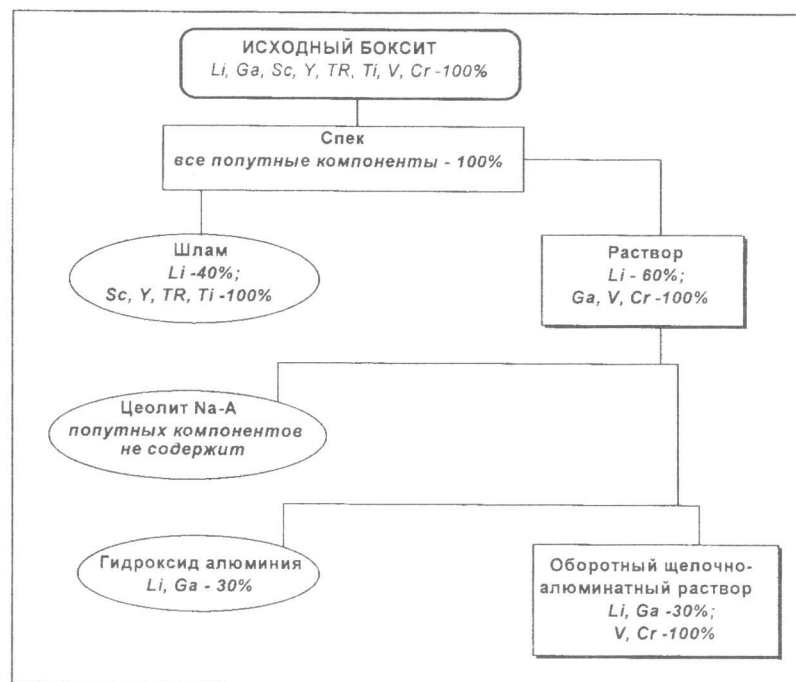


Рис. 4. Принципиальная схема распределения попутных компонентов при переработке глиноземно-цеолитового сырья по технологии ВИМСа

Наиболее вредная примесь при переработке ГЦС – Cr^{6+} полностью переходит в алюминатный раствор, где его концентрация достигает 75 мг/л. В целях восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} и затем извлечения как товарного продукта возможно применение ряда известных способов. Наиболее перспективным из них является метод восстановления сульфидом натрия, введение которого производится после осаждения синтетического цеолита, что исключает возможность загрязнения последнего серой и, следовательно, не повлияет на его качество. Применение этой схемы позволит не только избежать отрицательного экологического влияния шестивалентных хромовых соединений в процессе производства, но также получить ценный товарный продукт – гидроксид хрома.

Технико-экономические расчеты по оценке эффективности переработки глиноземно-цеолитового сырья проведены без учета реализации редкометалльного продукта. В качестве основных аналогов при расчетах были использованы материалы по глиноземному спекательному производству, разработанные ВАМИ для Тихвинского глиноземного завода; фактические данные по глиноземному цеху Волховского алюминиевого завода и по производству синтетических цеолитов на Шебекинском химзаводе.

В расчеты принято: размещение предприятия по переработке ГЦС на промплощадке ОАО «СОБР»; годовая производительность по исходному сырью 100 тыс.т; выход основных товарных продуктов при среднем качестве сырья 40 тыс.т/год синтетического цеолита, 23,4 тыс.т/год глинозема. При современных мировых ценах на эти товарные продукты соответственно: 600 \$/т и 220 \$/т суммарная стоимость товарной продукции составит более 29 млн \$, а с учетом возможного снижения цены на синтетический цеолит до 450 \$/т – более 23 млн \$.

Укрупненные технико-экономические показатели переработки ГЦС в двух вариантах приведены в табл. 3.

Таблица 3

Укрупненные технико-экономические показатели переработки глиноземно-цеолитового сырья Иксинского месторождения

Показатели	Ед. изм.	Значение показателей	
		I вариант	II вариант
1	2	3	4
1. Производительность по перерабатываемому сырью	тыс. т/год	100	100
2. Выпуск товарных продуктов:			
– синтетических цеолитов	тыс. т/год	40	40
– глинозема	тыс. т/год	23,4	23,4

1	2	3	4
3. Годовой выпуск товарной продукции в денежном выражении. Всего,	тыс. \$	29148	23148
в т. ч. – синтетические цеолиты	тыс. \$	24000	18000
– глинозем	тыс. \$	5148	5148
4. Годовые издержки производства, всего,	тыс. \$	16485	16275
в т. ч. – эксплуатационные затраты	тыс. \$	15320	15320
в т. ч. – амортизация	тыс. \$	1596	1596
– отчисления и платежи	тыс. \$	1165	955
5. Балансовая прибыль (п.3 – п.4)	тыс. \$	12663	6873
6. Отчисления от прибыли	тыс. \$	1330	1150
7. Прибыль к налогообложению (п.5 – п.6)	тыс. \$	11333	5723
8. Налог на прибыль (30% от п.7)	тыс. \$	3400	1717
9. Чистая прибыль (п.7 – п.8)	тыс. \$	7933	4006
10. Годовой доход – свободные средства предприятия (п.9 + амортизация)	тыс. \$	9529	5602
11. Капитальные вложения, всего,	тыс. \$	22800	22800
в т. ч. – действующие	тыс. \$	5000	5000
– предстоящие	тыс. \$	17800	17800
12. Производственные фонды, всего,	тыс. \$	25904	25904
в т. ч. – основные средства	тыс. \$	22800	22800
– оборотные средства (20% от эксплуатационных затрат)	тыс. \$	3104	3104
13. Рентабельность к производственным фондам (п.9 : п.12)	%	30,6	15,5
14. Срок окупаемости капитальных вложений (п.11 : п.10)	год	2,4	4,1

Результирующие показатели рентабельности (пп. 13 и 14, табл. 3) свидетельствуют о высокой эффективности переработки низкокачественных бокситов и бокситовых пород Иксинского месторождения в качестве комплексного глиноземно-цеолитового сырья по спекательно-гидрохимической технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что бокситы и бокситовые породы Иксинского месторождения по своему вещественному составу являются уникальным природным комплексным глиноземно-цеолитовым сырьем, высокорентабельная переработка которого возможна по предлагаемой спекательно-гидрохимической технологии с получением синтетического цеолита типа Na-A, глинозема и других продуктов. Это обусловлено высоким содержанием в руде глинозема, при так же высоком, не

характерном для других месторождений бокситов содержанием кремнезема, и относительно низком количестве оксидов железа.

ГЦС приурочено в основном к бокситовому пласту, сложенному глиноземными и цементными сортами бокситов, а также частично включает прослойки маложелезистых аллитов и сиаллитов кровли и подошвы пласта бокситов. Мартеновские бокситы из-за повышенного содержания оксидов железа (по технологическим причинам) и огнеупорные бокситы из-за их высокой цены (по экономическим соображениям) в качестве глиноземно-цеолитового сырья использовать нецелесообразно. ГЦС по среднему содержанию основных химических компонентов (%): Al_2O_3 – 53,79; SiO_2 – 17,85; Fe_2O_3 – 6,06; CaO – 0,44; S около 0,2, соответствует низкокачественным спекательным бокситам или бокситовым глинам.

Бокситы и глиноземно-цеолитовое сырье Иксинского месторождения по генезису являются осадочно-латеритными. Они образовались в результате переотложения продуктов латеритного выветривания в условиях слабопроточного водоема, подвергавшихся затем латеритизации и диагенезу.

Проведенными опытно-промышленными технологическими испытаниями установлено, что полученные при переработке ГЦС синтетические цеолиты типа Na-A и глинозем полностью отвечают техническим требованиям для производства соответственно синтетических моющих средств и электролиза алюминия, а шлак от выщелачивания спека является редкометальным продуктом, извлечение из которого TiO_2 , Sc, Y и TR возможно по освоенным промышленностью технологиям.

Выполненные автором в двух вариантах, с учетом возможных изменений цен, укрупненные технико-экономические расчеты по предприятию на промплощадке рудника мощностью 100 тыс. т/год по исходному сырью показали высокую эффективность новой технологии; рентабельность к производственным фондам – от 16 до 31%, срок окупаемости – 2,4-4,1 года.

Запасы ГЦС в пределах Западного участка Беловодской залежи сократились на 12% по сравнению с детально разведанными запасами бокситов, без учета мартеновских и огнеупорных сортов.

Проведенные с участием автора исследования позволяют оценить Иксинское месторождение как долговременную сырьевую базу высокорентабельного производства синтетических цеолитов, попутного глинозема и др. продуктов, способного полностью обеспечить потребность отечественных предприятий синтетических моющих средств в экологически безвредном наполнителе и решить важную природоохранную проблему, а также расширить сферу применения высококремнеземных бокситов и бокситовых пород, повысив природную ценность месторождения.

Аналогичными по качеству ГЦС Иксинского месторождения являются бокситы и бокситовые породы Южнотиманской группы месторождений – Тимшерского и Пузлинского, характеризующиеся высокими содержаниями глинозема (до 50-52%) и кремнезема (до 20%), при низких (5%) средних количествах оксидов железа.

В качестве сырьевой базы производства синтетических цеолитов по спектательно-гидрохимической технологии могут также рассматриваться небольшие месторождения аллофан-галлуазит-гипбситовых пород Южного борта Московской синеклизы, генетически связанные с угленосными отложениями Подмосковского бассейна: Шенуровское, Сатинское, Никитское и другие; гипбситизированные сухарные каолинитовые глины Суворовского, Ульяновского и других месторождений.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Редкие металлы и элементы-примеси в продуктах передела бокситов и бокситовых пород // Тезисы докладов Международного симпозиума: «Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке». М.: ВИМС, 1998, с.296-297. (соавторы – В.И. Зубарев, Б.Н. Одокий).

2. Untraditional methods of low waste complex processing low-grade bauxite raw materials // Abstracts Interactive meet on evaluation and processing of bauxite (BAUXMET-98). India, 1998 (co-author – B.N. Odoky).

3. Геология, минерагения и минеральные ресурсы Мира на рубеже XXI столетия (комплексное исследование) в 4-х частях. Под ред. Л.И. Красного. Часть 2. Минерально-сырьевые ресурсы континентов и активных транзиталей (данные по алюминию). С-П.: ВСЕГЕИ, 2000 (соавторы – Б.Н. Одокий, Т.С. Остроумова).

4. Поведение редких металлов и элементов-примесей при переработке низкосортного глиноземсодержащего сырья нетрадиционными способами // Доклады Международного симпозиума: «Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке». М.: ВИМС, 2000, с.130-138.

5. Минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности Мира. // «Минеральное сырье». Серия геолого-экономическая, № 11. М.: ВИМС, 2001, 106 с. (соавторы – Б.Н. Одокий, Т.С. Остроумова).

6. Раннекаменноугольные латеритные бокситы России (Висловское месторождение Белгородского района КМА) // В мон.: Биоморфные структуры в бокситах (по результатам электронно-микроскопического изучения). Под ред. С.С. Зиминой, А.И. Ханчука (подготовлено к печати, соавторы – Б.Н. Одокий, Э.Л. Школьник, Е.А. Жегалло).

7. Раннекаменноугольные осадочно-латеритные бокситы России (Иксинское месторождение Североонежского района) // В мон.: Биоморфные структуры в бокситах (по результатам электронно-микроскопического изучения). Под ред. С.С. Зиминой, А.И. Ханчука (подготовлено к печати, соавторы – Э.Л. Школьник, Е.А. Жегалло).