

технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2009. — №. 4. — С. 86–96.

4. Великин, С.А. Геофизические исследования при изучении инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород восточного борта карьера «Нюрбинский» (Западная Якутия) / С.А. Великин, Ю.Л. Марченко, К.И. Бажин // Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. — 2015. — Т. 27. — №. 3. — С. 35–46.

5. Левин, Е.Л. Вероятностные модели предельного равновесия, деформации борта проектируемого карьера с динамическим прогнозированием параметров поверхностей скольжения при использовании метода спектрального сейсмопрофилирования / Е.Л. Левин, А.Л. Сердюков // Проблемы недропользования. — 2017. — №. 4 (15).

6. Норов, Ю.Д. Определение размеров выемок в зависимости от ширины трапециевидной формы грунтовой обваловки и удельного расхода траншейных зарядов выброса / Ю.Д. Норов, Ш.Р. Уринов // Горный вестник Узбекистана. — 2005. — № 22 (3). — С. 37–39.

7. Полищук, С.З. Методический подход к определению рациональной конструкции бортов карьеров / С.З. Полищук, О.В. Петровций // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. — 2014. — №. 76. — С. 221–225.

8. Рыбин, В.В. Результаты определения параметров деструкции борта карьера комплексом геофизических методов / В.В. Рыбин, А.С. Калужный, К.Н. Константинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № 4. — С. 113–117.

9. Рыльникова, М.В. Геомеханика: Учебное пособие / М.В. Рыльникова, О.В. Зотеев. — М.: Изд. Дом «Руда и металлы», 2003. — 240 с.

10. Трубецкой, К.Н. Устройство для измерения смещения поверхностей горных выработок / К.Н. Трубецкой, К.С. Мальский. Патент на полезную модель RUS 115007 06.12.2011.

11. Харисов, Т.Ф. Проблемы оценки устойчивости бортов карьера Киембаевского месторождения / Т.Ф. Харисов, О.Д. Харисова, Е.Ю. Ефремов и др. // Проблемы недропользования. — 2017. — №. 4 (15). — С. 33–42.

12. Ярг, Л.А. Пути оптимизации углов заложения откосов карьера с учетом анизотропии прочностных свойств и трещиноватости скального массива (на примере Стойленского железорудного месторождения КМА) / Л.А. Ярг, И.К. Фоменко, О.М. Житинская // Изв. высших учебных заведений. Геология и разведка. — 2019. — № 4. — С. 67–77.

13. Norvatov, Y.A. Prediction of water inflows into mine workings in the process of combined open-underground ore mining operations / Y.A. Norvatov, M.V. Sergutin // Journal of mining institute. — 2015. — Т. 212. — С. 89–94.

14. Romanov, V.V. Review of geophysical methods to detect mechanical damages in rock mass around excavations / V.V. Romanov, A.I. Poserenin, A.N. Dronov, K.S. Mal'skiy // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. — 2016. — No. 1. — pp. 243–248.

15. Romanov, V.V. Selection of optimum parameters of microseismic vibration recording in underground excavations. / V.V. Romanov, K.S. Mal'skiy, A.N. Dronov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.

© Коллектив авторов, 2020

Мальский Кирилл Сергеевич // sabbat@mail.ru

Боровков Юрий Александрович // bua\_51@mail.ru

Верчеба Александр Александрович // aa\_ver@mail.ru

Гурина Ксения Михайловна // gurina\_k@mail.ru

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 66.014+669 71.053

Кустов Ю.Е., Ремизова Л.И. (ФГБУ «ВИМС»)

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ В СИБИРИ

Рассматриваются возможности использования небокситового алюминиевого сырья в Сибирском регионе России. Приводятся данные о месторождениях бокситов, нефелиновых руд, каолинов и огнеупорных глин в Сибирском Федеральном округе. Оценивается возможность организации глиноземного производства в Сибири на основе имеющихся запасов каолинов и каолиновых огнеупорных глин. **Ключевые слова:** алюминий, глинозем, бокситы, нефелиновые руды, каолины, огнеупорные глины, месторождение, ресурсы, запасы.

Kustov Yu. E., Remizova L.I. (VIMS)

### ALTERNATIVE SOURCES OF ALUMINUM RAW MATERIAL IN SIBERIA

The possibility of using non-bauxite aluminum raw materials in Siberia are considered. Geological characteristics of deposits of bauxites, nephelines, kaolin and refractory clays in

Siberia are given. Availability of creation of alumina plant in Siberia on reserves of kaolin and refractory clays estimated.

**Keywords:** aluminum, alumina, bauxite, nepheline, kaolin, refractory clay, deposit, resources, reserves.

Алюминий — один из важнейших материалов современной индустрии, его получают электролизом глинозем-криолитовой расплава. Глинозем химическим способом (процесс Байера) вырабатывают из минерального сырья. Более 99 % металлургического глинозема в мире производят из бокситов, состоящих в основном из гидроксидов алюминия (гиббсит, бёмит, диаспор), а также оксидов и гидроксидов железа и глинистых минералов. Показателем качества бокситов является кремневый модуль — отношение содержания  $Al_2O_3$  к содержанию  $SiO_2$ . Для получения 1 т глинозема используется 2–2,8 т бокситов в зависимости от их качества.

Основными поставщиками бокситов на мировой рынок являются страны тропического и субтропического поясов: Австралия, Бразилия, Гвинея, Индия, Индонезия, Малайзия, Ямайка, а также Китай. Мировая глиноземная промышленность базируется в первую очередь на крупных приповерхностных месторождениях латеритных и полигенных бокситов с высококачественными гиббситовыми рудами с кремневым модулем в пределах 10–50. Обеспеченность мировой

бокситодобывающей промышленности запасами бокситов (8,26 млрд т) составляет 26–28 лет, ресурсами бокситов — более 200 лет.

Россия обладает крупными запасами бокситов, но российские месторождения содержат в основном низкосортные и среднесортные бокситы; их кремневый модуль находится в пределах от 3 до 21.

Сибирский регион, производящий 97 % российского алюминия, обладает незначительной сырьевой базой бокситов, заключающей менее 10 % запасов страны. Основная масса месторождений — мелкие с низкосортными рудами (кремневый модуль 3–6). Добыча бокситов в пределах Сибирского Федерального округа не ведется и в ближайшей перспективе не ожидается. Некоторый интерес представляет среднее по масштабу (запасы кат. В+С<sub>1</sub> — 46,8 млн т) месторождение Центральное из Чадобецкой группы в Красноярском крае с рудами среднего качества (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 36,5 %; SiO<sub>2</sub> — 5,9 %, кремневый модуль 6). Гиббситовый состав руд позволяет использовать для их переработки в глинозем последовательный вариант комбинированной технологии Байер-спекание, применяемый на Павлодарском заводе в Казахстане. Однако низкое содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в бокситах предопределяет повышенный их расход при переработке в глинозем. В результате все запасы бокситов этого месторождения позволяют получить только 15 млн т глинозема, что не играет принципиальной роли в обеспеченности российской алюминиевой промышленности, ежегодно потребляющей около 7,5 млн т глинозема (отечественного и импортного).

Основным видом минерального алюминиевого сырья в Сибири являются нефелиновые руды, которые нигде в мире кроме России в металлургический глинозем для производства алюминия не перерабатывают, причем глиноземная промышленность региона, ввиду отсутствия промышленно значимых месторождений бокситов, изначально была ориентирована на переработку именно этого сырья.

На Ачинском глиноземном комбинате в Красноярском крае в качестве сырья используются не требующие обогащения богатые нефелином уртиты (содержат до 90 % нефелина и в среднем 25,77 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) изначально крупного Кия-Шалтырского месторождения (Кемеровская область), которое в настоящее время в значительной мере отработано; обеспеченность сырьем составляет немногим более 10 лет.

Технология переработки нефелиновых руд (уртитов) на Ачинском комбинате заключается в спекании во вращающихся печах при температуре 1250–1350 °С смеси уррита (или, потенциально, нефелинового концентрата) и известняка. Получаемый спек выщелачивается оборотным содово-щелочно-алюминатным раствором, в который переходят алюминаты натрия и калия, а двухкальциевый силикат остается в осадке (белитовый шлам). Алюминатный раствор карбонизируется, после чего гидроксид алюминия выпадет в осадок. Отфильтрованный и прокаленный гидроксид алюминия является товарным продуктом. При про-

изводстве 1 т глинозема попутно получают 1 т содопродуктов (сода и поташа) и 8 т цемента. Одной из главных удач в размещении этого предприятия, основанного в 1970 г., следует считать близость к потенциальным потребителям его продукции: Красноярскому алюминиевому заводу и строившимся тогда ГЭС Ангара-Енисейского каскада, нуждавшимся в высокоглиноземистом цементе.

В Красноярском крае разведано крупное Горячегорское месторождение тералито-сиенитов, содержащих в среднем 22,45 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с запасами кат. А+В+С<sub>1</sub> — 446 млн т, кат. С<sub>2</sub> — 292 млн т. Руды этого месторождения для переработки в глинозем требуют предварительного обогащения. Этот объект рассматривается как резервный для обеспечения сырьем Ачинского глиноземного комбината в силу подготовленности инфраструктуры и удобной логистике. В 2019 г. лицензию на эксплуатацию месторождения получила Объединенная компания «РУСАЛ».

Кроме того, в нераспределенном фонде недр учитываются два месторождения нефелиновых руд только с забалансовыми запасами: Андрюшкина Речка (берешиты с содержанием 22,2 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в Красноярском крае и Кургузское (нефелиновые сиениты с содержанием 22,3 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в Республике Хакасия. Бедные руды этих объектов плохо поддаются обогащению и в обозримой перспективе как сырье для производства глинозема рассматриваться не будут. В Республике Тыва разведано Баянкольское месторождение богатых уртитов, содержащих 26,52 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с запасами 304,7 млн т по кат. С<sub>1</sub>, но расположение в труднодоступном высокогорном районе не позволяет рассчитывать на его освоение в ближайшем будущем; месторождение также находится в нераспределенном фонде недр (рисунок).

Надо отметить, что в странах, имеющих алюминиевую промышленность и испытывающих дефицит в бокситах, предпринимаются попытки использования других сырьевых источников алюминия. Алюминий — третий по распространенности после кислорода и кремния элемент земной коры; кларк алюминия составляет 8,05 %. Содержание алюминия во многих горных породах превышает 10 %, например, в глинах и сланцах. Породы, содержащие в повышенных количествах минералы богатые Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — нефелин (32–35 %), алунит (37,0 %), каолинит (39,5 %), потенциально перспективны для использования в качестве сырья для производства металлургического глинозема.

В Советском Союзе в качестве сырья для алюминиевой промышленности кроме бокситов и нефелиновых руд использовались алунитовые руды Загликского месторождения в Азербайджане. Для производства 1 т глинозема использовалось 6 т алунитов. При их переработке кроме глинозема получали сульфат калия, калийные удобрения и серную кислоту. Однако при плановом извлечении глинозема из руды 18 %, реальное не поднималось выше 13 %. Производство было низкорентабельным и существовало за счет дополнительной переработки привозных бокситов до 1998 г.

В настоящее время в Азербайджане планируют восстановить добычу алунитовой руды и производство из нее глинозема на Гянджском глиноземном заводе для обеспечения глиноземом нового алюминиевого завода в г. Гянджа, запущенного в 2014 г.

Обстоятельные исследования по получению глинозема из небокситового сырья были выполнены в СССР [6]. Над этой темой достаточно активно работают в США, Канаде, Китае, Норвегии, Узбекистане, Иране, Таджикистане. Попытки использовать для производства алюминия каолинов, аргиллитов каолиновых (флинт-клеев) и других высокоглиноземистых глинистых пород долгое время к ощутимому результату не приводили.

В 2010-х годах успех был достигнут канадской компанией *Orbite Aluminae Inc.* (в дальнейшем переименована в *Orbite Technologies Inc.*). Ею был разработан и запатентован процесс извлечения глинозема из низкосортного алюминиевого сырья: глин, низкосортных бокситов, каолинов, красного шлама и угольной золы. В 2011 г. компанией было построено опытное производство по выпуску глинозема высокой чистоты из высокоглиноземистых глин (23,37 %  $Al_2O_3$ , 52,62 %  $SiO_2$ , 8,42 %  $Fe_2O_3$ , 1,64 %  $MgO$ , 6,90 % оксидов редких и редкоземельных элементов) месторождения Гранд-Валле (*Grand-Vallee*) в провинции Квебек, Канада [14]. Процесс заключается в механическом измельчении и выщелачивании соляной кислотой материала при температуре 150–190 °С и разном уровне давления, последующей дистилляции выщелоченного раствора и

восстановлении 90-процентной кислоты. При выщелачивании в течение 4–6 часов более 90 % алюминия, железа, магния и других металлов переходит в раствор. Нерастворимые элементы селективно разделяются и рафинируются, что позволяет получать высокочистый кремнезем (99,9 %  $SiO_2$ ) и диоксид титана (95 %  $TiO_2$ ). Раствор подвергается жидкостной экстракции с получением индивидуальных хлоридов металлов, которые затем селективно кристаллизуются, осаждаются и преобразуются в оксидную форму: глинозем, гематит, оксид магния. Для получения высокочистого глинозема кристаллизацию и осаждение хлорида алюминия проводят в несколько этапов. В заключительной стадии процесса возможно выделение редких металлов и редкоземельных элементов. В 2012 г. компания завершила опытные исследования и объявила о начале строительства опытного производства глинозема высокой чистоты (99,99 %  $Al_2O_3$ ) производительностью первой очереди 1 т/сут с последующим увеличением до 5 т/сут. Строительство завода велось в течение 2013–2016 гг. и столкнулось с многочисленными трудностями с поставками и установкой оборудования, что в результате вылилось в значительное увеличение расходов и привело к банкротству компании. В 2016 г. на предприятии был выпущен первый глинозем, но из-за технических проблем производство велось только периодически и в июне 2019 г. было остановлено.

В планах компании было создание производства 500 тыс. т/год металлургического глинозема. Из выпущенного на опытном заводе в пос. Кап-Ша (*Cap Chat*)



Карта расположения месторождений бокситов, нефелиновых руд, каолинов и огнеупорных глин Сибирского Федерального округа

в провинции Квебек глинозема металлургического сорта (98,35 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) были получены демонстрационные слитки алюминия. Крупномасштабные лабораторные испытания по электролизному производству алюминия, проведенные в 2011 г. Национальным исследовательским институтом (National Institute of Research) в Оттаве и независимой международной исследовательской организацией SINTEF в Норвегии, показали, что металлургический глинозем компании *Orbite Aluminae* удовлетворяет промышленным стандартам.

В 2012 г. ОК «РУСАЛ», воодушевленная этими результатами, подписала меморандум о взаимопонимании с компанией *Orbite Aluminae* по созданию совместного предприятия для разработки месторождения высокоглиноземистых глин Гранд-Вале в провинции Квебек и строительству глиноземного завода по запатентованной технологии. «РУСАЛ» получил эксклюзивное право на использование данной технологии для производства глинозема в России после ее адаптации к особенностям российского сырья. Но сотрудничество компаний завершилось в 2014 г., так как стороны не смогли договориться об условиях совместной работы, говорилось в сообщении *Orbite Aluminae*.

В дальнейшем ОК «РУСАЛ» продолжала разрабатывать кислотно-щелочную технологию производства глинозема из низкокачественного высококремнистого сырья совместно с НИТУ «МИСиС», которая позволит получать глинозем из отечественной каолиновой глины [9, 15]. Проведены научные-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разработана технологическая схема, проведены лабораторные исследования основных стадий процесса. Разрабатываемая технология включает в себя выщелачивание исходного сырья в солянокислом растворе, фильтрацию и кристаллизацию гидроксохлорида алюминия, который впоследствии подвергается термической обработке с получением черного глинозема. Черновой глинозем направляют на двухстадийное выщелачивание в растворе щелочи при атмосферных и автоклавных условиях. Полученный алюминатный раствор подвергается декомпозиции с получением гидроксида алюминия, который затем направляется на кальцинацию с получением глинозема [7].

В 2015 г. ОК «РУСАЛ» объявила о планируемом запуске демонстрационной установки по производству 1 кг/час (8,8 т/год) глинозема по кислотной технологии из каолинового сырья [9]. При этом было заявлено о проведении оценки запасов каолинового сырья в Сибири и подтверждении его качества, а также планах по разработке ТЭО строительства завода по производству 1 млн т/год глинозема из каолинов.

Опытно-промышленная установка, предназначенная для отработки режимов технологии получения оксида алюминия высокой чистоты, с использованием электрохимического метода окисления, была запущена в 2016 г. на технологической площадке НИТУ «МИСиС». Производимым продуктом была альфа-модификация высокочистого глинозема (99,99 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

В 2017 г. на площадке Всероссийского Аллюминиево-магниевого института в Санкт-Петербурге запущен мини-завод — физическая модель, на которой окончательно отработана технология получения глинозема из каолиновой глины: выпущен глинозем металлургического качества «Sandy» [10]. В 2018 г. начаты работы по проектированию опытно-промышленного участка по производству 5 т в сутки черного глинозема из каолинового сырья на Ачинском глиноземном комбинате при годовом потреблении каолина 7 тыс. т и соляной кислоты 127 т. Для получения 1 т глинозема необходимо переработать около 3 т каолинов [4, 11]. Технологический процесс производства глинозема из каолинового сырья на опытно-промышленном участке состоит из 9 стадий: дробление, сушка и размол; кислотное выщелачивание; сгущение, фильтрация и промывка шихтофа; абсорбция; высаливание (кристаллизация); фильтрация гексагидрата хлорида алюминия (ГХА); кальцинация; ректификация; пирогидролит [11]. Ввод предприятия в эксплуатацию запланирован на 2022 г.

К 2034 г. компания намерена построить новый завод по той же технологии производительностью 1 млн т/год глинозема вблизи месторождения каолиновых глин, а участок на Ачинском комбинате перепрофилировать на выпуск продукции с добавленной стоимостью, такой как псевдобемит, используемый в качестве катализатора в нефтяной промышленности, и силикагель, являющийся промышленным адсорбентом [8].

Согласно утверждениям компании, новая технология значительно повысит экономическую эффективность алюминиевых заводов ОК «РУСАЛ» за счет низкой себестоимости сырья и сокращения логистических затрат, ввиду подразумеваемого обилия каолинового сырья и близости его к намечаемому потребителю. Этот оптимизм вызывает некоторые сомнения. Начнем с того, что Россия является довольно крупным (девятым) мировым импортером каолина: в 2018 г. в стране добыто 351 тыс. т каолиновых глин, а импортировано 422 тыс. т (4 % мирового импорта), главным образом из Украины и Бразилии [13].

Теперь необходимо более внимательно рассмотреть сырьевые возможности Сибирского региона с точки зрения наличия разведанных запасов предлагаемого алюминиевого сырья.

Из многочисленных и разнообразных видов полезных ископаемых, относимых к глинистым породам, в качестве потенциального алюминиевого сырья могут рассматриваться лишь два вида: каолины и огнеупорные глины, отдельно учитываемые Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ.

Каолины представляют собой глинистые породы, в состав которых входят минералы каолиновой группы — каолинит, галлузит, диксит. Наибольшую ценность представляют каолины белозеленые или бледноокрашенные, имеющие низкое содержание темноцветных минералов. По условиям образования каолины разделяются на элювиальные (первичные) и переотложенные (вторичные). Главное промышленное значение имеют элювиальные месторождения,

образующие залежи, приуроченные к верхней белочетной зоне профиля коры выветривания, где происходит полное или почти полное гипергенно-метасоматическое замещение алюмосиликатов исходных пород каолинитом и вынос значительной части присутствовавшего в материнских породах железа.

Месторождений первичного каолина в Сибири нет [3]. Здесь встречается только вторичный (перетолженный) каолин в кварц-каолинитсодержащих песках. Пески эти состоят в основном из кварцевых зерен, сцементированных глинистым материалом каолинитового состава (15–40 %), присутствуют полевые шпаты, слюды, гидроокислы и обломки пород. Каолины содержат примесь кварцевого и полевошпатово-кварцевого песка, гравия, обломки лимонитизированных песчаников и алевролитов. Без обогащения от механических примесей каолины не могут применяться в промышленности. Содержание кремнезема в обогащенных каолинах уменьшается, а глинозема увеличивается, но красящие окислы ведут себя по-разному. Основная доля железа в каолинах (56–76 %) — это железо труднорастворимых силикатов и железистых минералов. Легкорастворимые формы железа составляют всего 13,2–24,7 % от общего содержания металла.

Всего в Сибирском федеральном округе учитываются 5 месторождений каолина в кварц-каолинитсодержащих песках с запасами кат. А+В+С<sub>1</sub> — 83 млн т, С<sub>2</sub> — 15,3 млн т (рисунок). Месторождения, главным образом средние и мелкие, разбросаны по территории с низкокачественными рудами, требующими обогащения. Кроме того, в Красноярском крае в верхнемеловых отложениях Чулымской впадины апробированы прогнозные ресурсы кат. Р<sub>3</sub> (50 млн т) каолина в кварц-каолинитсодержащих песках.

В Красноярском крае Государственным балансом запасов учитываются два месторождения каолина в кварцсодержащих песках — среднее по масштабу Кампановское (12,16 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) и мелкое Байское-1 (5,01 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) [3]. Часть запасов Кампановского месторождения находится в распределенном фонде недр, остальные запасы относятся к нераспределенному фонду.

В Томской области разведаны три месторождения кварц-каолинитсодержащих песков: коренное среднее по масштабу Усманское (11,62 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) и два россыпных — среднее Георгиевское (9,37 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) и крупное Туганское (44,68 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>), являющиеся комплексными циркон-рутил-ильменитовыми россыпями с попутным каолином. Туганское месторождение подготавливается к эксплуатации (основные рудные минералы — ильменит, лейкоксен, рутил, циркон): после обогащения рудных песков получают каолин, который не является товарным продуктом и временно складывается в хвостохранилище.

Другой, потенциально перспективный вид алюминиевого сырья — это огнеупорные глины. К ним принято относить монтмориллонитовые, гидрослюдистые, галлуазитовые и каолинитовые глины. Вредны-

ми примесями являются кварц, гидроокислы железа, сульфиды железа, карбонаты, гипс, органические вещества. Химический состав огнеупорных глин характеризуется следующими средними содержаниями (%): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 39, SiO<sub>2</sub> — 46, H<sub>2</sub>O — 14.

Всего на территории Сибирского федерального округа учитываются 15 месторождений огнеупорных глин с суммарными запасами кат. А+В+С<sub>1</sub> — 148 млн т, С<sub>2</sub> — 250 млн т [2]. Месторождения, разбросанные на обширной территории, существенно различаются между собой по составу, что затрудняет возможности их переработки на едином предприятии. Разрабатывается одно Торошковское месторождение в Иркутской области. Прогнозные ресурсы огнеупорных глин не оцениваются.

В Красноярском крае учитываются два месторождения огнеупорных глин — крупное Кантатское и мелкое Ново-Александровское. Небольшой участок Кантатского месторождения отрабатывается, но основная масса огнеупорных глин Красноярского края учитывается в нераспределенном фонде. Суммарные запасы глин кат. А+В+С<sub>1</sub> двух месторождений составляют 26,1 млн т, С<sub>2</sub> — 0,9 млн т.

В Новосибирской области учитывается мелкое Обское месторождение, в Алтайском крае — два средних по запасам месторождения — Березовское и Баркинское; все они находятся в нераспределенном фонде недр.

В Кемеровской области находятся 7 месторождений огнеупорных глин. Четыре из них — средние по масштабу Гавриловское и Глухаринское, мелкие Еденинское и Суховское — подготавливаются к разработке компанией ООО «Барзасская экспедиция». Месторождения комплексные бокситовые с огнеупорными глинами в кровле. Бокситы низкокачественные высококремнистые высокожелезистые, содержат в среднем (%): 41 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 14 SiO<sub>2</sub>, 18 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,5 TiO<sub>2</sub>; переработка их в глинозем возможна только способом спекания.

Остальные три месторождения Кемеровской области — Кайлинское, Апрельское и Мусохранское — мелкие; небольшая часть запасов Кайлинского месторождения лицензирована; остальные запасы находятся в нераспределенном фонде недр.

В Иркутской области разведаны три месторождения огнеупорных глин — два крупных — Трошковское (48,7 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub> и 20,7 млн т кат. С<sub>2</sub>) и Каменское (11,3 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub> и 222 млн т кат. С<sub>2</sub>) и мелкое Катомское. Часть запасов Северного участка Трошковского месторождения (1,127 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) разрабатывает ООО «Фарфоровый завод Хайта» — беложгущиеся глины Трошковского месторождения являются уникальным сырьем для производства тонкой керамики. Остальные запасы глин Иркутской области находятся в нераспределенном фонде недр.

Исследования НПК «Механообр-техника» по обогащению огнеупорных глин Трошковского месторождения для переработки в глинозем показали, что схема мокрого обогащения, включающая гидротермальную обработку в автоклаве, позволяет получить каолино-

Таблица 1

## Химический состав каолиновых глин Трошковского месторождения [5]

Сорт	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	п.п.п.	H <sub>2</sub> O
I	48–55	33–38	0,7–0,9	0,3–0,9	0,3–0,7	до 0,1	до 0,4	9,0–13	2,0–4
II	48–52	34–37	1,0–2	0,2–0,8	0,5–0,9	до 0,1	до 0,2	9,0–13	2,0–5
III	54–57	26–32	1,0–3	0,2–1,2	до 2	до 0,4	до 0,3	8,0–12	2,0–8

вый концентрат с массовой долей 30,1 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при его извлечении 91,1 %, пригодный для химико-металлургической переработки на глинозем [1].

Из-за значительных запасов и низкого содержания примесных оксидов (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) каолиновые огнеупорные глины Трошковского месторождения рассматриваются как перспективное сырье для производства глинозема [5]. Химический состав каолиновых глин различной сортности Трошковского месторождения представлен в табл. 1.

Проведенными исследованиями в НИТУ «МИСИС» на пробе каолиновой глины Трошковского месторождения, состав которой приведен в табл. 2, было установлено, что она соответствует требованиям, предъявляемым к исходному сырью для кислотно-щелочной технологии получения металлургического глинозема — содержанию Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — ≈ 31 %, минеральному составу — каолинит и монтмориллонит, тонкости помола — массовое содержание фракции менее 100 мкм — 93 %. Преимуществами Трошковского месторождения являются также высокая степень изученности, благоприятные инженерно-геологические условия разработки и близость к Транссибирской железнодорожной магистрали.

Исходя из приведенного в материалах ОК «РУСАЛ» расходного коэффициента каолинов на 1 т глинозема — 3, и с учетом потерь в недрах при добыче (6 %), и коэффициента извлечения (94 %), используемых при разработке Трошковского месторождения компанией ООО «Фарфоровый завод Хайта», можно предположить, что для производства 1 млн т/год глинозема потребуется около 4 млн т/год огнеупорных глин. Таким образом, разведанные запасы Трошковского месторождения смогут обеспечить работу глиноземного завода в течение 12 лет, оцененные запасы кат. С<sub>2</sub> смогут продлить ее еще на 5 лет. Мелкое Катомское месторождение (2,878 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub> и 2,854 млн т кат. С<sub>2</sub>), расположенное в 20 км к северо-западу от Трошковского, сможет поставлять сырье для завода еще в течение 1,5 лет. Крупное Каменское месторождение находится в 150 км к востоку от Трошковского месторождения по прямой, но добраться до него возможно только из Иркутска. Каменское месторождение характеризуется непостоянством литологического состава, обусловленным частой перемежаемостью кварцевого песка и каолиновых глин. Крупное Кантатское месторождение (255,021 млн т кат. А+В+С<sub>1</sub>) в Красноярском крае находится в 134 км севернее г. Красноярск, т.е. на расстоянии более 1000 км от Трошковского месторождения.

По данным МИСИС [5] в Черемховском районе Иркутской области, где расположены Трошковское

и Катомское месторождения, известно Жмуровское рудопроявление каолинов, состоящее из семи участков общей площадью 144 км<sup>2</sup>, расположенных вблизи Транссибирской железнодорожной магистрали. Каолины содержат 29–37 %

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 49–56 % SiO<sub>2</sub>, 0,6–1,4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Данные о геологическом строении и ресурсах глин отсутствуют.

В Тисульском районе Кемеровской области известно также Барандатское рудопроявление каолинов, приуроченных к кровле угольного пласта итатской свиты среднеюрского возраста Барандатского угольного месторождения. Залежь каолиновых глин (с пропластками алевролитов и песков) пластообразной формы и средней мощностью 48 м расположена на глубине 65 м. Каолины содержат в среднем 26,6 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 54,3 % SiO<sub>2</sub>, 4,78 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Лабораторными испытаниями определена возможность их обогащения центрифугированием с повышением содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 30–32 %. Однако для оценки возможности их использования необходима постановка геологоразведочных работ, так как даже ресурсы их не оценены [5].

Каолиновые глины имеются также в бокситовых месторождениях Чодобецкой группы (Центральное, Ибджемское, Пуня) в Красноярском крае с содержаниями в пробах (%): 18–29 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 36–56 SiO<sub>2</sub>, 4–25,5 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [3], но изученность их слабая [5].

Таким образом, создать достаточно крупную сырьевую базу, сконцентрированную рядом с планируемым глиноземным заводом, не представляется возможным из-за разобщенности месторождений огнеупорных глин и каолинов. Кия-Шалтырский нефелиновый рудник снабжает Ачинский глиноземный завод нефелиновым сырьем уже в течение пятидесяти лет, обеспечивая его стабильное функционирование.

Таблица 2

## Химический состав исследованной пробы каолиновых глин Трошковского месторождения [5]

Компонент	Содержание, масс. %
SiO <sub>2</sub>	50,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31
TiO <sub>2</sub>	0,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07
CaO	0,46
MgO	0,99
Na <sub>2</sub> O	0,04
K <sub>2</sub> O	0,19
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01
SO <sub>3</sub>	0,02
потери после прокаливания	14,14

