

УДК 553.04

Бокситы и железоалюминиевые руды Нижнего Приангарья и проблемы их комплексного освоения

Б.В. Шибистов*

*Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Received 16.08.2013, received in revised form 24.09.2013, accepted 30.10.2013

Бокситоносные отложения Нижнего Приангарья представляют собой комплексное железоалюминиевое сырье для производства глинозема, галлия, пятиоксида ванадия, железа, цементного сырья, редкоземельных элементов. В комплексную переработку должно быть вовлечено Чуктуконское ниобий-редкоземельное месторождение. Комплексная переработка минеральных ресурсов должна быть основана на разумном использовании энергетического потенциала Богучанской ГЭС.

Ключевые слова: Нижняя Ангара, бокситы, железоалюминиевая руда, комплексная переработка, глинозем, галлий, ванадий, железо, цемент, энергетический ресурс, Богучанская ГЭС.

Введение

Бокситоносная провинция Нижнего Приангарья включает три группы месторождений боксита: Чадобецкую, Татарскую и Приангарскую. Разведанные запасы бокситов составляют 98 млн т. Вмещающие породы бокситовых рудных тел представляют собой комплексное железоалюминиевое сырье (глиноземистые железняки, бокситовые глины, каолиниты). Бокситы и железоалюминиевые руды содержат свыше 8 % диоксида титана, галлий, ванадий, редкоземельные элементы.

Рациональное использование потенциального ресурса Богучанской ГЭС требует не только развития производства алюминия (на «импортном» глиноземе), но и комплексной переработки железоалюминиевого сырья с получением, кроме алюминия, также титана, редких и редкоземельных металлов, цементного сырья, т.е. практически обеспечения безотходного производства.

Интерес представляет вероятная золотоносность бокситоносных отложений Нижнего Приангарья. Эта проблема также входит в состав комплексного использования минерального сырья бокситов и железоалюминиевых руд Нижнего Приангарья.

Основная часть

Бокситоносная провинция Нижнего Приангарья развита в юго-западной части Сибирской платформы и Енисейском кряже. Бокситоносные отложения приурочены к мезозойско-кайнозойским отложениям карстовых и котловинных впадин, в возрастном диапазоне от раннего мела до эоцена. Гальки боксита впервые были найдены в 1915 г. минералогом П.Л. Дравертом на р. Индыглы (Енисейский кряж). В 1934 г. Е.Н. Щукиной на кряже было открыто Татарское бокситовое месторождение, затем ряд более мелких месторождений и проявлений. В 1950-60-х гг. в Нижнем Приангарье были развернуты геологоразведочные работы на бокситы как на Енисейском кряже, так и в юго-западной части Сибирской платформы. В результате минерально-сырьевая база региона была значительно расширена. Выявлено и разведано три группы месторождений: Чадобецкая, Татарская и Приангарская. Разведанные запасы бокситов (балансовые) составляют 98 млн т. Потенциальные ресурсы железоалюминиевых руд, которые включают рудные тела бокситов, достигают 500 млн т.

Завершение строительства Богучанской ГЭС и рациональное использование ее энергетического потенциала ставит задачу не только расширения алюминиевого производства в бассейне Ангары, но и комплексного использования бокситов и железоалюминиевого сырья Нижнего Приангарья.

Наиболее крупным из разведанных в Нижнем Приангарье бокситоносных объектов является Чадобецкая группа месторождений в бассейне среднего течения правого притока Ангары – р. Чадобец. Группа включает в себя три месторождения: Центральное, Ибджибдек и Пуня. Выявлено также несколько бокситопоявлений, не представляющих промышленного интереса.

Наиболее крупным среди месторождений группы является Центральное месторождение, залегающее в замкнутой котловине, заполненной бокситоносными отложениями. Котловина сформирована в ядре Теринской антиклинали Чадобецкого сводового поднятия, в котором среди палеозойских и мезозойских отложений Сибирской платформы на дневную поверхность выведены породы рифея, венда и кембрия. В своде второй антиклинали Чадобецкого поднятия, Чуктуконкой, в аналогичной депрессии залегают Чуктуконское месторождение ниобия и редкоземельных элементов.

Месторождения Ибджибдек и Пуня относятся к карстовому типу. Карстовые полости, заполненные бокситоносными отложениями, развиты в нижнекембрийских карбонатных породах, окаймляющих Чадобецкий свод.

Рудоносная толща Центрального месторождения сложена каолинитовыми и бокситовыми (аллитными) глинами, бурыми глиноземистыми железняками и бокситами. В составе толщи выделяются два горизонта. Нижний бокситоносный горизонт представлен небольшими линзовидными телами бокситов, залегающими среди желтых алевритистых глин. Сложены эти тела сыпучими красно-бурыми алюможелезистыми породами с обломками каменистого боксита (по химическому составу на массу эти тела «вытягивают» на боксит). Бокситы верхнего горизонта представляют собой серию почти горизонтально залегающих пластообразных, грубоизометрических в плане рудных тел, мощностью до 33 м, размещающихся среди глин.

Бокситы месторождения представлены глинистыми, рыхлыми и каменистыми разновидностями. Структуры бокситов брекчиевые, конгломератовые, пизолитовые или массивные.

Всего на месторождении выделено 29 рудных тел. Наиболее крупные среди них приурочены к центральной части месторождения. Средняя мощность рудных тел составляет 10,3 м, средняя мощность вскрыши – 11,9 м, коэффициент вскрыши – 1,15. Месторождение доступно открытой разработке.

Сплошность рудных тел весьма высокая: из 403 скважин, попадающих в рудные контуры, безрудными оказалось всего 11. Прослои безрудных пород встречены в пяти рудных телах из 29.

Содержание глинозема и кремнезема в рудах Центрального месторождения выдержанное. Среднее содержание (%): Al_2O_3 – 35,84, Fe_2O_3 – 29,37, SiO_2 – 6,64, TiO_2 – 8,41, P_2O_5 – 0,702. Минеральный состав бокситов: гиббсит, бемит, корунд, гетит, гематит, маггемит, анатаз, каолинит, кварц, реже магнетит, бейделлит, циркон, рутил. Вторичные минералы – сидерит и марказит.

Вмещающие рудные тела – бокситовые (аллитные) глины – сложены каолинитом, гиббситом, гематитом, кварцем, с примесью гидрослюд, сидерита, содержат зерна перовскита, ильменита, рутила, турмалина, сфена. Каолинистые глины сложены в основном каолинитом с примесью гидрослюд, гетита и кварца. Аллитные железняки, образующие пропластки и линзы среди бокситоносных пород, состоят в основном из гетита и гематита, с переменным количеством гиббсита и каолинита.

Бокситоносные отложения месторождения Ибджибдек заполняют карстовые воронки и поля. На месторождении выделено 35 залежей бокситов, восемь из них имеют промышленные размеры. Промышленные залежи состоят из 63 рудных тел бокситов со средней мощностью 10,6 м. Форма рудных тел подчинена контурам рудовмещающих карстовых полостей. Среднее содержание Al_2O_3 в бокситах месторождения составляет (%): 39,51, SiO_2 – 10,20, Fe_2O_3 – 26,45, TiO_2 – 4,46. На месторождении Пуня выявлено 25 залежей бокситов, десять из них отнесены к промышленным. Залежи состоят из 1-4 рудных тел со средней мощностью 15,8 м. Среднее содержание основных компонентов в бокситах (%): Al_2O_3 – 37,85, SiO_2 – 9,81, Fe_2O_3 – 28,74, TiO_2 – 4,38, п.п.п. 18,70.

По минеральному составу карстовые бокситы месторождений Ибджибдек и Пуня близки к бокситам Центрального месторождения.

Запасы бокситов Чадобецкой группы подсчитаны при бортовом содержании глинозема 28 % и минимальном кремневом модуле 2,1. Запасы классифицированы по категориям В, С₁ и С₂. Общие балансовые запасы сухой руды составляют 47,9 млн т. В Центральном месторождении сконцентрировано 84,9 % балансовых запасов, в месторождении Ибджибдек – 10,4 %, Пуня – 4,7 %. Среднее содержание основных компонентов по группе месторождений в целом (%): Al_2O_3 – 36,36, SiO_2 – 7,10, Fe_2O_3 – 28,90, TiO_2 – 7,88, п.п.п. 18,48. Кремневый модуль бокситов в среднем 5,1. Бокситы относятся к марке Б-8.

Чадобецкие бокситы в виде изоморфной примеси содержат редкие элементы. По данным анализа 222 групповых проб, среднее содержание элементов: V_2O_5 – 0,14 %, Ga – 73,2 г/т, Ge – 8,5 г/т, Nb_2O_5 – 0,108 %, Sc – 0,0076 %, Ta_2O_5 – 0,0018 %. Бокситы и ассоциирующие с ними аллиты, глины и глиноземистые железняки содержат на массу также 0,365 % редких земель.

Технологические свойства бокситов изучены в полужавальном масштабе на крупнообъемных пробах. Наиболее оптимальная схема переработки включает обогащение бокситов Центрального месторождения, концентрат которых, в смеси с природными бокситами место-

рождения Ибджибдек, перерабатывается по способу Байера. Хвосты обогащения и бокситы месторождения Пуна должны перерабатываться способом спекания. Соотношение технологических ветвей Байера и спекания 82:18.

ТЭО освоения чадобецких бокситов (1978 г.) рассчитано на производство 400 тыс. т глинозема в год (в том числе 320 тыс. т – из бокситов Центрального месторождения), с попутным годовым производством 8,5 т галлия высокой чистоты и 100 т чистой пятиокиси ванадия марки ЧДА. Переработку бокситов на концентрат предлагалось проводить в районе Центрального месторождения, на глинозем – в створе Богучанской ГЭС, на алюминий – здесь же или на других алюминиевых заводах страны. В экономических условиях 70-х гг. прошлого века такое производство было бы высокорентабельным. Срок окупаемости капитальных вложений без дисконтирования составил бы 5,6 года, уровень рентабельности 18 %.

Чадобецкие бокситы приняты на государственный баланс только как алюминиевое сырье, с попутным извлечением галлия и ванадия. Но в современных экономических условиях необходимо решить технологическую проблему их комплексного использования.

Вопрос о том, что бокситы Чадобецкой группы месторождений представляют собой комплексное минеральное сырье, ставился неоднократно на всем протяжении их изучения. Чадобецкий свод, на котором разведаны месторождения бокситов, представляет собой уникальный рудный район. Здесь на «пяточке» радиусом 8-10 км помимо собственно бокситов сосредоточены крупные запасы комплексного железоалюминиевого и редкометалльно-редкоземельного сырья, природно легированных железных руд и агротехнического сырья. Чадобецкое поднятие расположено в 100 км к северу от створа Богучанской ГЭС и в 150 км к юго-западу от газонефтяных месторождений Ванаварского района и около 200 км от Куюмбинского и Юрубченского месторождений углеводородов Эвенкии. Протяженность возможного строительства железной дороги от Усть-Илимска – 300 км.

Ориентация энергетических ресурсов Богучанской ГЭС только на производство алюминия без учета собственной минерально-сырьевой базы, использование «импортного» глинозема явно ошибочно. Необходимо изучить ряд вариантов комплексного использования чадобецких бокситов.

Бокситы, как известно, рассматриваются в мировой практике как потенциальный источник титана [3]. В бокситах Центрального месторождения содержание двуокиси титана составляет 8,41 %. Это количество сравнимо с содержанием данного компонента в собственно титановых месторождениях среднего качества и выше, чем в эксплуатируемых титановых россыпях. Во вмещающих бокситы Чадобца породах содержание TiO_2 еще выше: оно достигает 12-16 %. В частности, в комплексных железоалюминиевых рудах оно составляет в среднем около 11 %.

В современной России производство руд титана практически отсутствует. Потребность в титане удовлетворяется за счет импорта из Казахстана и Украины. В 1996 г. в Россию было ввезено 76,5 тыс. т титановых руд и концентратов. Дефицит диоксида титана и материалов на его основе особенно негативно сказывается на восточных регионах страны, прежде всего в Ангаро-Енисейском районе, где сосредоточены крупные мощности строительной индустрии, предприятия по производству бумаги, химического волокна и резинотехнических изделий. Единственное предприятие России, Березниковский титано-магнийский комбинат, не в силах обеспечить потребность страны в металлическом титане, тем более в перспективе [7].

Приведение минерально-сырьевой базы по ее количественным и качественным показателям в соответствие со структурой титанопотребляющих отраслей промышленности требует двух-трехкратного увеличения объема геологоразведочных работ с одновременным расширением научно-исследовательских и опытно-промышленных работ (Федосеевы, 1999). С этих позиций Центральное месторождение бокситов как источник титанового сырья представляет собой весьма благоприятный объект. Оно разведано, и доработка технологии извлечения двуокиси титана и переоценка запасов (на включение в подсчет титаносодержащих вмещающих глиноземистых пород) требует сравнительно небольших затрат.

За счет извлечения диоксида титана из чадобецких бокситов титановый дефицит России может быть дополнительно восполнен. При производстве из бокситов Центрального месторождения 320 тыс. т глинозема в год может попутно извлекаться 81,2 тыс. т двуокиси титана. Это коренным образом изменило бы экономику глиноземного производства, так как стоимость реализуемого диоксида титана намного превышает стоимость целевого продукта – глинозема. В случае реализации способа извлечения двуокиси титана из руд Центрального месторождения чистая прибыль предприятия могла бы возрасти в пять раз.

НИПИ «Уралмеханобр» еще в 1964 г. провел поисковую исследовательскую работу по изучению вещественного состава и комплексной переработки бокситов Центрального месторождения на валовой пробе весом 700 т (Морозов и др., 1964 г.). Содержание Al_2O_3 в пробе составляло 41,01 %, TiO_2 – 7,70 %, Fe_2O_3 – 15,95 %. Окись алюминия в пробе представлена в основном гиббситом (91,8 %), двуокись титана – дельтеритом (97,0 %), железо – его гидроокислами (96,7 %). Дельтерит развит в виде чрезвычайно тонких выделений (40 % в классе –0,010 мм).

Применение механических способов извлечения из бокситов алюминия, титана и железа в отдельные концентраты в приведенном опыте не дало удовлетворительных результатов. Благоприятными оказались испытания гидрометаллургическим методом. В итоге были получены: 1) титановый продукт с содержанием диоксида титана 53,7 % и извлечением 90,1 %; 2) железный продукт для порошковой металлургии с содержанием железа 97,91 % и извлечением 79,8 %; 3) алюминиевый концентрат с извлечением алюминия на уровне 90 % методом щелочного выщелачивания без автоклавов. Была достигнута почти полная регенерация кислоты. Метод признан целесообразным. Но, к сожалению, результаты испытаний не получили дальнейшего развития.

Предпринимались иные попытки изучения комплексной переработки чадобецких руд. ВАМИ испытывал возможность переработки красных шламов на чугун, глинозем, щелочь и цемент (Тихонов и др., 1964 г.). Главной неудачей этих опытов явилось нереализованное разделение железа и титана. Наличие в бокситах большого количества окислов титана, повышающих вязкость шламов, выводило этот способ за пределы рентабельности из-за увеличения энергозатрат.

В 1964-1968 гг. на Красноярском заводе «Электросталь» и в Красноярском институте цветных металлов исследовалась технология совместной переработки электротермическим методом чадобецких бокситов и магнетитовых железных руд Тагарского месторождения [6]. Была установлена возможность переработки шихты на чугун и глинозем с себестоимостью продуктов ниже среднеотраслевого уровня.

Однако последние два способа, на наш взгляд, не могут рассматриваться как альтернатива результатам опытов «Уралмеханобра».

Заслуживает внимания подход к чадобецким бокситам как к комплексному железоалюминиевому сырью. В состав этого сырья включаются помимо бокситов вмещающие породы: аллиты, каолиновые глины, железняки. По качеству железоалюминиевые руды Чадобецких месторождений отвечают требованиям к минеральному сырью, которое может перерабатываться электрометаллургическим способом [4; 5]. При пересчете на железоалюминиевое сырье ресурсы глинозема возрастают по сравнению с ресурсами его в бокситах в 2,9 раза, а горнотехнические условия разработки месторождения резко улучшаются: вместо 29 рудных тел бокситов на Центральном месторождении оконтуривается единое тело железоалюминиевых руд, а коэффициент вскрыши снижается с 1,15 до 0,2 [8; 9].

В 1989-1990 гг. геологами Ангарской геологоразведочной экспедиции ПГО «Красноярскгеология» по рекомендации автора была проведена оценка прогнозных ресурсов железоалюминиевых руд Центрального месторождения и возможности переработки их электрометаллургическим способом (Бабушкин и др., 1990 г.). В состав железоалюминиевых руд были включены породы с бортовым кремневым модулем 1,0. Запасы железоалюминиевого сырья месторождения составили 106,4 млн т (против 40,7 млн т бокситов; увеличение в 2,5 раза). Среднее содержание основных компонентов (%): Al_2O_3 – 29,14, SiO_2 – 11,70, Fe_2O_3 – 32,68, TiO_2 – 8,66, п.п.п. 15,45; кремневый модуль 2,5. Ресурсы извлекаемого глинозема выросли с 9,48 до 18,8 млн т (в 2 раза).

В результате плавки 28 лабораторных и одной крупной лабораторной пробы (120 кг) в дуговой печи с использованием в качестве восстановителя металлургического кокса, а для образования алюмокальциевого шлака – извести были получены: 1) металлопродукт с содержанием, помимо железа, 16,7-19,2 % кремния, 1,1-2,1 % алюминия, 3,6-5,8 % титана, 0,3-0,6 % кальция и 2,1-2,6 % углерода (низкокремнистый ферросилиций с высоким содержанием титана, может быть использован в качестве технологической добавки при производстве стали); 2) алюмокальциевый шлак с содержанием глинозема – 49,3-53,3 %, окиси кальция – 37,3-39,5 %. Основная составляющая шлака представлена моноалюминатом кальция $CaO \cdot Al_2O_3$, который практически полностью вскрывается при выщелачивании, с извлечением глинозема 85-97 %. Это извлечение превышает таковое из самих бокситов, достигнутое при их технологическом испытании методами Байера и спекания.

После выщелачивания глинозема получается шлам с содержанием Al_2O_3 – 3,6-6,4 %, CaO – 40,0-42,5 %, SiO_2 – 3,0-5,1 %, Fe_2O_3 – 0,23-0,31 %, который может быть использован в производстве цемента, в качестве строительного материала и для раскисления почв в сельском хозяйстве.

Производство практически безотходно. Экономические расчеты показывают, что себестоимость 1 т глинозема при этом способе переработки на 20-30 % ниже среднеотраслевой.

Кроме того, железо может быть реализовано в форме гидроокисных сульфатов для тампонажных растворов в нефте- и газодобывающей отрасли Западной Сибири. Интерес представляет также возможность производства коагулянта – сульфата алюминия.

Помимо Чадобецкой группы бокситовых месторождений в Нижнем Приангарье выявлены и разведаны еще две группы месторождений бокситов, расположенные в Енисейском края

же: Татарская и Приангарская. Приангарская группа включает месторождения Киргитейское, Верхотуровское и Порожнинское. Запасы бокситов группы составляют 28,1 млн т. Бокситы по качеству относятся к сортам для производства глинозема. Татарская группа включает месторождения Татарское, Сохатиное, Березовское, Средне-Татарское, Мурлиное и Долгожданное. Бокситы Татарского месторождения относятся к абразивным сортам, запасы их составляют 16 млн т.

Следует отметить вероятную перспективность бокситоносных отложений Нижнего Приангарья на золотоносность. Систематических исследований в этом направлении не проводилось, хотя сведения о золоте в бокситах региона появлялись неоднократно на протяжении времени изучения бокситовых месторождений. В 1947 г. в каменистых бокситах Татарского месторождения обнаружено содержание золота до 3,2 г/т. Бокситоносные глины из карьеров отработки россыпей Партизанского рудного узла содержат золото в количествах от «следов» до 0,4-0,8 г/т (Голубев, 1953 г.). В 1991 г. В. Тенешевым шлиховое золото обнаружено в Ивановском месторождении бокситов. В 1997 г. золотоносность бокситоносных отложений Енисейского кряжа была подтверждена еще в нескольких пунктах [2]. В штучных пробах бокситов Чадобецкого поднятия работами КНИИГиМС пробирным анализом установлено содержание золота до 2,5 г/т. Отмеченные содержания находятся на уровне содержания этого металла в ряде обрабатываемых россыпных и коренных месторождений золота.

Учитывая тот факт, что Нижнее Приангарье является районом, обладающим обширной и разнообразной минерально-сырьевой базой, включающей месторождения угля, нефти и газа, черных, цветных, благородных, редких и редкоземельных металлов, нерудного сырья, освоение бокситовых месторождений в нем должно осуществляться в рамках общей программы развития района. Экономическая оценка горнодобывающих проектов должна исходить из того, что развитие инфраструктуры района будет способствовать комплексному освоению территории, а не быть непосильным бременем на одно какое-либо направление использования природных ресурсов.

Выводы

Бокситоносные породы Нижнего Приангарья представляют собой комплексное железо-алюминиевое минеральное сырье, пригодное для практически безотходной переработки с получением глинозема, диоксида титана, пятиоксида ванадия, галлия, железа для порошковой металлургии, цементного сырья.

Учитывая территориальную близость Центрального месторождения железоалюминиевых руд с ниобий-редкоземельным месторождением Чуктукон, необходимо вовлечь это месторождение в процесс комплексной переработки минерального сырья района.

Комплексное освоение минеральных ресурсов региона должно быть основано на разумном использовании энергетического потенциала Богучанской ГЭС. Любое разумное использование ресурсов основано на принципах концепции устойчивого развития, принятой Российской Федерацией [1].

Список литературы

- [1] Аншиц А.Г., Еханин А.Г., Павлов В.Ф., Шибистов Б.В. // Разведка и охрана недр. 2010. № 9. С. 9-15.
- [2] Зверев А.И. // Проблемы золотоносных кор выветривания Сибири. Красноярск, 1998. С. 100-103.
- [3] Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые; ред. Д.В. Рундквист. Л.: Недра, 1978. 608 с.
- [4] Одокий Б.Н. // ВИМС. 1984. С. 132-139.
- [5] Одокий Б.Н., Воропаева Н.П., Леоненко И.Н. и др. Расширение минерально-сырьевой базы алюминиевой промышленности за счет комплексных железоалюминиевых руд / Бокситы и другие руды алюминиевой промышленности. М.: Наука. 1988. С. 47-51.
- [6] Семин В.Д., Пономаренко В.В., Круг Ю.М. и др. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 1968.
- [7] Сердюк С.С., Забияка И.Д., Глубоков А.М. и др. Состояние и перспективы развития минеральных ресурсов Красноярского края / Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск: КНИИГиМС, 1998.
- [8] Шибистов Б.В. Алюможелезистое сырье Нижнего Приангарья и перспективы его освоения / Рудоносный карст Сибири. Новосибирск: Наука, 1990.
- [9] Шибистов Б.В. Латериты и континентальные бокситы. Красноярск: Изд-во КНИИ-ГиМС, 2000. 203 с.

Bauxite and Iron-Aluminum Ore of the Low Angara Region and their Complex Development Problems

Boris V. Shibistov
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

Bauxite-bearing rocks of the Low Angara Region are complex iron-aluminum ore presented itself as a raw materials for production of alumina, gallium, vanadium, iron, cement, rare-earth elements. Into the complex reworking the Chuktucoh niobium – rare-earth ore deposit must be included. Complex reworking of mineral resources must be based on the reasonable use of the energetic potential of the Boguchana PES.

Keywords: Low Angara Region, bauxite, iron-aluminum ore, complex reworking, alumina, gallium, niobium, iron, cement, energetic resource, Boguchana PES.
