



УДК 553.31'492(571.11.5)

№ 4(12) ♦ 2012

ПЕРСПЕКТИВЫ УКРЕПЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СИБИРИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО БЕЗОТХОДНОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ЖЕЛЕЗОАЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ

В. В. Жабин

Рассматривается возможный вариант обеспечения алюминиевой промышленности Сибири отечественным глиноземным сырьем за счет использования железоалюминиевого сырья, которое представляет собой рудную шихту определенного химического состава, составляемую из железистых бокситов и глиноземистых железных руд разведанных месторождений с подсчитанными запасами. Такая шихта является комплексной, безотходной и экологически чистой рудой, пригодной для получения малокремнистого ферросилиция (F-20, F-25), глинозема и высококачественного цементного сырья.

Ключевые слова: Сибирь, железоалюминиевое сырье, ресурсы, Красноярский край, Бурятия, Алтайский край, Кемеровская область.

PROSPECTS OF UPGRADING AND DEVELOPING THE RAW MATERIAL BASE OF ALUMINIUM INDUSTRY IN SIBERIA BY MEANS OF RATIONAL USING OF NON-WASTE AND ENVIRONMENTALLY SAFE IRON-ALUMINIUM RAW MATERIAL

V. V. Zhabin

The paper deals with possibility of providing the aluminium industry of Siberia with domestic alumina by the use of iron-aluminium raw material, which represents ore mixture with definite chemical composition, composed of ferrous bauxites and aluminous iron ores from developed fields with estimated reserves. This ore mixture is multimetal, non-waste, and environmentally safe, suitable for getting ferrosilicon with low silicon content (F-20, F-25), alumina and high-quality cement basic material.

Keywords: Siberia, iron-aluminium raw material, resources, Krasnoyarsk Krai, Buryatia, Altai Krai, the Kemerovo Region.

Посвящается светлой памяти Б. Н. Одокия – крупнейшего российского специалиста по бокситам, известного не только в нашей стране, но и за рубежом, активно занимавшегося обоснованием ликвидности железоалюминиевого сырья в качестве промышленно значимых комплексных, в том числе и глиноземных, руд.

Состояние алюминиевой промышленности Средней Сибири

Неудовлетворительное состояние глиноземной сырьевой базы в Российской Федерации и в то же время наличие 11 действующих и еще нескольких планируемых предприятий по производству первичного алюминия, которые в основном ориентируются на привозное сырье из ближнего и дальнего зарубежья, ставят довольно остро вопрос о необходимости укрепления и развития отечественной сырьевой базы.

Особенно остра эта проблема в сибирских регионах, где действуют несколько предприятий алюминиевой промышленности (табл. 1), слабо обеспеченных отечественным сырьем, хотя пять из них (Красноярский, Саянский, Братский, Иркутский и Новокузнецкий алюминиевые заводы) – крупнейшие производители первичного алюминия в России.

ФГУП «СНИИГТИМС» (Новосибирск)

Решать существующую проблему, как подсказывает практика, можно двумя путями.

Во-первых, путем укрепления и развития сырьевой базы уже перерабатываемых низкосортных бокситов и нефелиновых руд, которые в России распространены довольно широко.

Однако по мировым стандартам руды большинства российских месторождений не могут считаться бокситами, а сибирские месторождения, в частности экспертами ВИЭМС, еще в 2000 г. были переведены в разряд пассивных, эксплуатация которых считалась нерентабельной. Вместе с тем в Государственном балансе запасов (по бокситам) на 2007 г. [2] числились 13 сибирских месторождений с подсчитанными запасами (в Кемеровской области четыре подготовлены к эксплуатации; остальные в нераспределенном фонде недр). И все-таки ни одно из них не разрабатывается для получения глинозема.

Расширение же производства за счет нефелиновых руд сопряжено с высокими энергетиче-



Таблица 1

Крупнейшие российские предприятия по производству алюминия, расположенные в Сибири

Алюминиевый завод	Местоположение	Электростанция	Произведено в 1998 г.*, тыс. т
Братский	Иркутская обл., Братск	Братская ГЭС	852
Красноярский	Красноярский край, Красноярск	Красноярская ГЭС, ГРЭС-2, Березовская ГРЭС-1	809
Саянский	Хакасия, Саяногорск	Саяно-Шушенская ГЭС	330
Новокузнецкий	Кемеровская обл., Новокузнецк	ГРЭС, входящие в «Кузбассэнерго»	269
Иркутский	Иркутская обл., Шелехов	ГЭС (Иркутская и др.) и ГРЭС, входящие в «Иркутскэнерго»	257

* Более поздние данные неизвестны.

скими затратами и получением больших объемов побочной слабо реализуемой продукции и отвалов, нарушающих экологию.

Второй путь более сложный и ориентируется на создание новых технологий комплексной переработки низкосортных бокситов и выявление новых видов глиноземного сырья, переработка которых должна быть экономически целесообразной.

Одно из направлений такого рода развивалось еще в начале XX в. как в России, так и в Европе [10, 14, 17], когда при переработке железистых бокситов способом Байера стали возникать затруднения из-за излишнего железа, связывающего глинозем с формированием «красных шламов». Следовательно, для улучшения процесса переработки таких руд необходимо было удалять окислы железа. С этой целью железистые бокситы предварительно подвергались доменной плавке, а в дальнейшем – электроплавке. Но перерабатывались только высокомолекулярные ($M > 5$) железистые бокситы. А их, как известно, в России не так уж и много, большинство из них – это средне- и низкосортные железистые бокситы, содержащие большое количество кремнезема, образующего при плавке нерастворимые алюмокремнистые соединения, что ведет к значительным потерям глинозема и образованию большого количества шлака. И это стало новой проблемой.

Над удалением кремнезема из бокситов трудились исследователи многих стран. Однако наиболее успешны были исследования 1990-х гг. сотрудников ВИМС, возглавляемых Б. Н. Одокием. Им удалось связать кремнезем с железом и получить безотходные комплексные руды, так называемое **железоалюминиевое сырье**, пригодное для производства малокремнистого ферросилиция марок F-20 и F-25, который широко используется в оборонной промышленности, глинозема и высококачественного цементного сырья [14].

Железоалюминиевое сырье наиболее перспективных регионов Средней Сибири

В процессе технологических исследований по переработке низкомолекулярных железистых бокситов сотрудниками ВИМС под руководством Б. Н. Одокия экспериментально подобраны и апробированы

в лабораторных и полужаводских условиях наиболее оптимальные химические параметры для **железоалюминиевого сырья**: содержание (%) Al_2O_3 более 15, SiO_2 10–25, Fe 35–45, S до 0,5; Fe/P 200–330 (в зависимости от сорта ферросилиция), Al_2O_3/SiO_2 1,5 и более, Fe/Si 1,3–3, Al_2O_3/MgO более 12, Al_2O_3/TiO_2 – более 7,5.

Железистые бокситы с такими параметрами приобретают свойства безотходных комплексных руд [7], и к тому же экологически чистых. Но в природном виде не все алюможелезистые руды пригодны для комплексной переработки напрямую. В этом случае должна составляться шихта, соответствующая параметрам железоалюминиевого сырья. Для этого наряду с основными ее составляющими (железистыми бокситами и глиноземистыми железными рудами) в качестве добавок могут использоваться и другие глиноземистые породы (аллиты, каолины, хлоритоиды и высокоглиноземистые кристаллические сланцы).

Подготовленное таким образом железоалюминиевое сырье сотрудниками ВИМС подвергли заводским технологическим испытаниям и получили малокремнистый ферросилиций, глинозем и высококачественное цементное сырье. В итоге на технологию по переработке железоалюминиевого сырья ВИМС был получен государственный патент.

Опираясь на эти результаты, можно считать, что железоалюминиевое сырье является новым типом глиноземных руд и может стать самым перспективным заменителем среднесортных железистых бокситов и отчасти нефелиновых руд для получения глинозема в сибирских регионах.

Как показали технико-экономические расчеты, выполненные в ВИМС группой Б. Н. Одокия в 1985 г. и ВИЭМС в 1993 г., себестоимость глинозема, получаемого из железоалюминиевого сырья, ниже, чем глинозема из низко- и среднесортных бокситов (табл. 2).

Следовательно, инвестирование в освоение железоалюминиевого сырья будет привлекательным, а инвесторы смогут получать значительную чистую прибыль.

Использование железоалюминиевого сырья, помимо удовлетворения промышленных потребностей, имеет еще и социально-экономическую целесообразность [4, 5, 8], так как приведет к ор-



Сопоставление основных технико-экономических показателей электротермической переработки железобокситового сырья с данными ВАМИ по проектируемому в европейской части СССР предприятиям на базе бокситовых, алунитовых и нефелиновых руд (по Б. Н. Одокием и др., 1985)

Показатели	Железоалюминиевое сырье*				IV	Бокситы			Алунитовые руды	Нефелиновые концентраты				
	I	II	III	IV		среднесортные				Северо-Онежский	Завод	Пикалевский	Михайловский	Горнозаводской
						Белгородский	Ухтинский	низкосортные						
Удельные кап. вложения в расчете на 1 т глинозема, руб.	743,2	671,6	582,6	551,1	942,8	878,5	725,0	593,3	488,5	696,0	720,4			
Удельная фондоемкость, руб./руб.	4,51	4,07	3,53	3,34	5,93	5,54	4,01	2,60	3,08	3,91	4,05			
Затраты на 1 руб. товарной продукции, коп.	103,3	95,2	85,1	81,9	82,5	69,5	68,1 (69,4)**	51,1	56,9	65,4 (67,7)**	68,4 (71,0)**			
Себестоимость 1 т глинозема, руб.	172,38	151,8	105,40	73,32	133,0	115,3	114,0	62,3	65,7	124,2	144,1			
Рентабельность по отношению к производственным фондам, %	0,0	1,4	4,3	5,6	3,0	5,5	7,8 (8,4)**	18,8	14,0	8,8 (8,0)**	7,8 (6,9)**			
Период окупаемости капитальных затрат, лет	–	–	23	18	32,6	17,4	12,7 (13,0)**	5,0	6,8	10,8 (12,1)**	12,3 (13,8)**			
Производственные затраты в расчете на 1 руб. товарной продукции, руб.	1,65	1,51	1,34	1,27	1,65	1,47	1,25 (1,28)**	0,87	1,0	1,20 (1,24)**	1,25 (1,30)**			

* I – глинозема в 2 раза больше железа, II – равные количества глинозема и железа, III и IV – железа больше глинозема (> 1), кремневый модуль 1,5 (III) и 2,5 (IV).
 ** Показатель при реализации 50 % шламов; в скобках – уточненный вариант.

ганизации большого количества рабочих мест и улучшению жизненных условий населения в конкретном регионе.

Как уже говорилось, железобокситовое сырье может быть как в природном виде, так и в виде шихты, составляемой в соответствии с предъявляемыми требованиями.

В Сибири составляющих для железобокситового сырья очень много, даже с разведанными запасами, их суммарные ресурсы исчисляются миллиардами тонн (табл. 3).

Это наглядно отражено и на фрагменте геолого-экономической карты железобокситового сырья (рис. 1), составленной Б. Н. Одокием и др. для территории Советского Союза.

На рис. 1 в Средней Сибири выделены три наиболее перспективных региона на железобокситовое сырье и обозначены их прогнозируемые ресурсы (сотни миллионов тонн). Эти данные не потеряли своей значимости и сейчас, так как базировались на балансовых запасах железистых бокситов и глиноземистых железных руд (см. табл. 3), подсчитанных по результатам предварительной и детальной разведок их месторождений.

При этом наибольшая концентрация основных составляющих железобокситового сырья сосредоточена в южной части Сибири: в Республике Бурятия, Красноярском и Алтайском краях и Кемеровской области [6, 8, 14] (рис. 2).

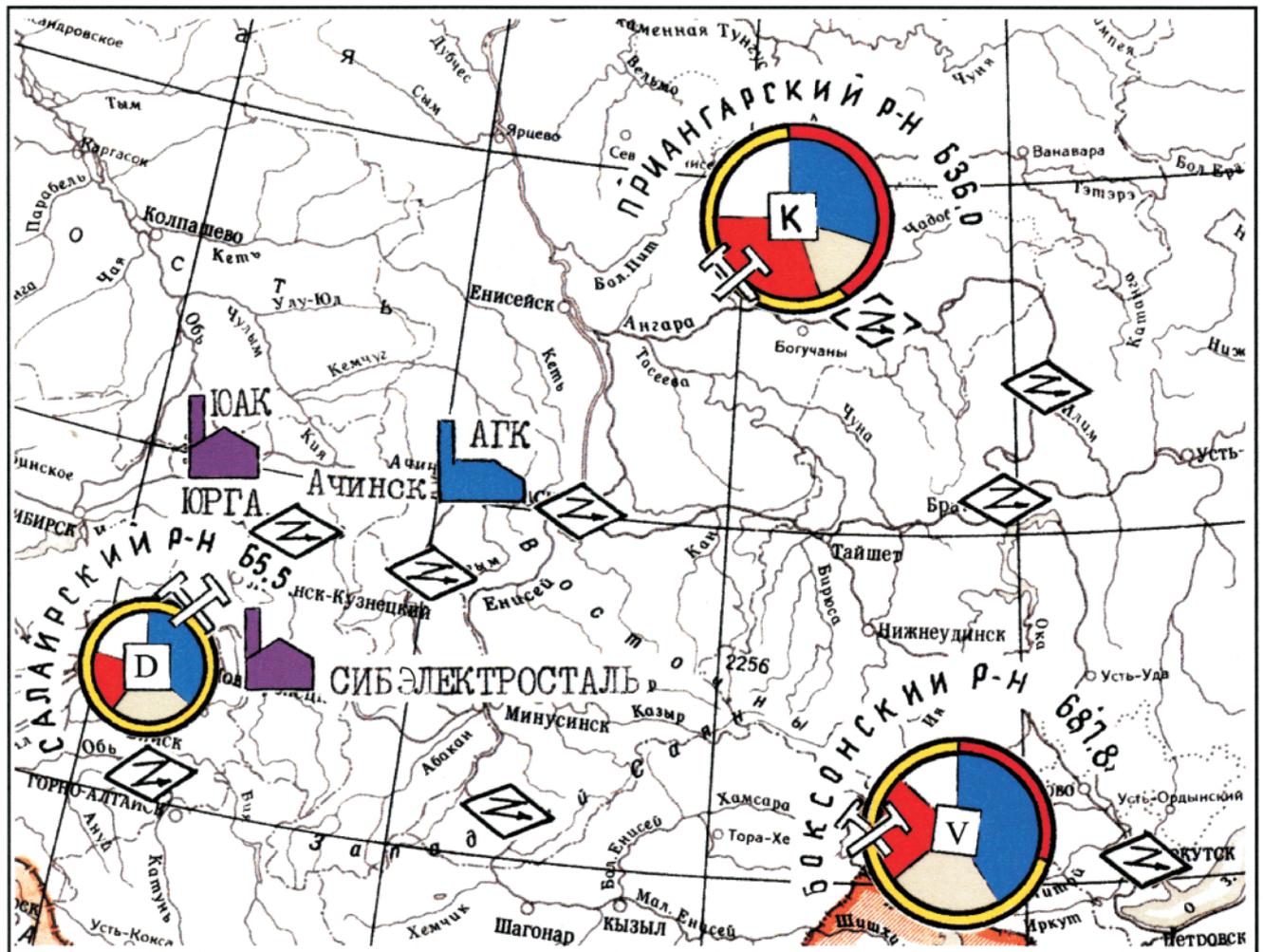
В Республике Бурятия (Боксонский бокситоносный район – I, см. рис. 2) находится крупнейшее в мире Боксонское месторождение докембрийских железистых бокситов, возраст которых был определен по результатам геолого-поисковых и палеонтологических работ и значительно уточнен в 1967 г. При описании керна из скв. П-42 в красных бокситах автор обнаружил палеонтологический отпечаток, по которому академик СО АН СССР Б. С. Соколов сделал заключение о том, что отпечаток медузоидного организма более всего напоминает *Ovatoscutum concentricum* Glaessner et Wade, 1966, описанный только из отложений позднего докембрия Австралии (эдиакара), по его мнению, в стратиграфическом смысле аналогичных венду, а боксонская свита и по другим данным ближе всего стоит к венду. С тех пор хужиртайская свита, включающая бокситы, стала считаться вендской.

Боксонское месторождение (10, см. рис. 2) открыто Н. С. Ильиной в 1941 г.



Таблица 3
Месторождения железистых бокситов и глиноземистых железных руд (нераспределенный фонд недр), намечаемых для первоочередного использования в качестве железоалюминиевого сырья

Регион, месторождение	Тип руды	Запасы, утвержденные ГКЗ, млн т			Прогнозные ресурсы, млн т	Химический состав, %					Источник
		балансовые	забалансовые	всего		Fe _{вал}	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	
Бурятия	Бокситы	–	128,9	128,9	800	35	41,2	20,8	–	Сл–0,14	[2]
Боксонское	«	–	–	–	500	55	–	–	–	–	БТГУ
Яматинское (железо)	Гематит	–	–	–	–	–	–	–	–	–	[2]
Красноярский край	Бокситы	54,13	6,19	60,33	–	–	36,5	5,9	–	–	[2]
Чадобецкий район	«	45,8	1,44	47,23	–	–	39,6	10,5	–	–	[2]
Центральное	«	5,75	3,7	9,5	–	–	37,5	9,7	–	–	[2]
Ибджибдек	«	2,58	1,05	3,6	–	–	–	–	–	–	[2]
Пуня	Гематит	–	–	–	–	–	–	–	–	–	КТГУ
Чукотское (железо)	Бокситы	7,9	–	7,9	–	–	40,1	15,7	–	–	[2]
Приангарский район	«	6,01	–	6,01	–	–	44,5	14,3	–	–	[2]
Киргитейское	«	14,25	–	14,25	–	–	43,6	13,1	–	–	[2]
Верхотуровское	Гематит	238	–	350	112	39,4–51,3	6,4	37,5	0,11	0,03	[3]
Порожнинское	«	1179	124	1400	97	40,4	59	283	0,05	0,02	[3]
Ишимбинское	«	–	1146	2300	1854	35,6	8,4	34	0,04	0,02	[3]
Нижнеангарское	«	–	–	–	–	–	–	–	–	–	[2]
Удоронгское	«	19,97	5,19	25,6	–	–	47,3	12,2	–	–	[2]
Алтайский край	Бокситы	12,37	2,69	15,06	–	–	52,0	15,4	–	–	[2]
Бердско-Майское	«	7,6	2,5	10,1	–	–	–	–	–	–	[2]
Обуховское	«	507,4	–	507,4	–	–	7,4	26,9	0,10	3,36	[3]
Кемеровская область	Магнетит	294,9	–	294,9	–	22,2	5,2	16,3	0,1	0,24	[9]
Казское (кат. С ₂)	«	212,5	–	212,5	–	42,2	–	–	–	–	[9]
Таштагольское	«	–	–	–	–	–	–	–	–	–	[9]
Участки											
Восточный		35,5	–	35,5	–	49,0	–	–	–	–	
Глубокий		153,2	–	153,2	–	48,2	–	–	–	–	
Западный		18,7	–	18,7	–	37,4	–	–	–	–	
Юго-Восточный		5,1	–	5,1	–	31,4	–	–	–	–	

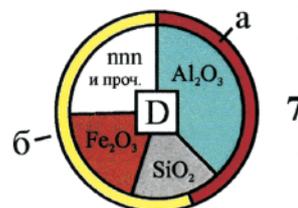


Боксонский р-н 1
687,8

К 2
D 3
V 4

5

500 - 1000
100 - 500
50 - 100
< 50
6



8
а б

9
а б

Рис. 1. Схема размещения основных районов железоалюминиевого сырья на территории южной части Средней Сибири (по Б. Н. Одокию, 1996)

1 – рудный район с запасами железо-алюминиевого сырья 687,8 млн т; возраст рудной формации: 2 – меловой, 3 – девонский, 4 – вендский; 5 – способ возможной добычи (открытый); 6 – масштаб запасов, млн т; 7 – запасы (а) и прогнозные ресурсы (б); 8 – заводы: а – металлургические (Сибэлектросталь, Юргинский абразивный комбинат), б – глиноземные (Ачинский глиноземный комбинат); 9 – электростанции: а – действующие, б – строящаяся (Богучанская ГЭС)

с использованием материалов Ф. А. Головачева. На нем сразу начались поисково-разведочные работы, которые продолжались до 1956 г. [1]. В результате выделено 17 рудных участков, на 8 подсчитаны запасы бокситов (см. табл. 3) по кате-

гориям C_1+C_2 и даны геолого-экономические рекомендации по их освоению.

На месторождении горными выработками и колонковыми скважинами на протяжении 33 км прослежен бокситовый горизонт мощностью



0–30 м. Из-за невыдержанности строения и состава он имеет два типа разреза [1, 16].

Первый, наиболее полный, тип представлен красными, зелеными и черными бокситами, которые перекрываются черными известково-глинистыми сланцами.

Во втором, сокращенном, типе разреза отсутствуют черные бокситы и черные сланцы, встречены лишь красные и зеленые разновидности, перекрывающиеся карбонатными породами.

Все разновидности бокситов, выделенные в «разрезах», различаются не только окраской, но и характерными минерально-текстурными особенностями и химическим составом [1, 16] (табл. 4).

Основными рудообразующими минералами в бокситах являются бемит и диаспор, образовавшиеся в результате метаморфизма первичного гидраргиллита. Менее развит гиббсит вторичного происхождения. Несмотря на наличие нескольких разновидностей бокситов, их запасы в пределах каждого участка, подсчитывались по усредненному химическому составу, как и запасы месторождения в целом (Al_2O_3 41 %, SiO_2 20 %, $Fe_{вал}$ 25 %, суммарно по категориям C_1+C_2 128912 тыс. т).

В 1968 г. комиссией Центрального комитета по запасам (ЦКЗ) Мингео СССР все запасы бокситов из-за низких содержаний глинозема и повышенных содержаний железа были переведены в забалансовые.

В 1988 г. бокситы Боксонского месторождения изучались сотрудниками ВИМС и СНИИГГиМС с целью возможного их использования в качестве железосилициевого сырья.

В результате технологических исследований, проведенных ВИМС, было доказано, что боксонские бокситы являются природным железосилициевым сырьем и поэтому большая их часть может перерабатываться напрямую с получением малокремнистого ферросилиция, глинозема и цементного сырья. И только для менее железистых разновидностей потребуется железорудная добавка, источником которой может служить крупное Яматинское гематитовое рудопоявление в Боксонском рудном поле. Геологами Бурятского геологического управления прогнозные ресурсы гематитовых руд, содержащих более 50 % $Fe_{вал}$, по категории P_2 оцениваются в 500 млн т.

По данным Б. Н. Одокия, ресурсы железосилициевого сырья Боксонского бокситоносного района оценивались в 687,8 млн т. Следовательно, здесь возможно создание крупного предприятия по переработке железосилициевого сырья с годовой производительностью несколько миллионов тонн.

В 1989 г. СНИИГГиМС по согласованию с Министерством геологии СССР с целью выделения участков, пригодных для промышленного получения глинозема и возможного их прогнозирования в пределах рудного поля, был осуществ-

лен пересчет запасов бокситов Боксонского месторождения с кремневым модулем более 2,6. В результате определены первоочередные участки для детальной разведки, а прогнозные ресурсы железистых бокситов по всему рудному полю оценены примерно в 1 млрд т.

Однако в Государственном балансе запасов по состоянию на 2007 г. [2] бокситовые руды Боксонского месторождения числятся как бедные, а их запасы, хотя и оставлены без изменений, отнесены в забалансовые, без прогнозных ресурсов.

В Красноярском крае основные ресурсы составляющих железосилициевого сырья находятся на Чадобецком поднятии (II), в Приангарском районе (III) – Иркинеевский выступ и Ангаро-Питский синклиниорий, в Туруханском районе (V) – левобережная часть низовий р. Енисей [11, 12, 14, 15] (см. рис. 2).

В Чадобецкой структуре известно 11 месторождений и проявлений бокситов. Все месторождения разведаны. Подсчитаны запасы и проведены технологические испытания бокситовых руд.

Однако Государственным балансом запасов 2007 г. [2] запасы учтены только по месторождениям Центральному, Ибджибдек и Пуня в количествах, утвержденных ГКЗ в 1979 г.

Месторождение Центральное (1) находится в 120 км северо-восточнее райцентра Богучаны – пристани на р. Ангара, к которой прокладывается железная дорога. Месторождение детально разведано в 1967–1979 гг. и зачислено в госрезерв.

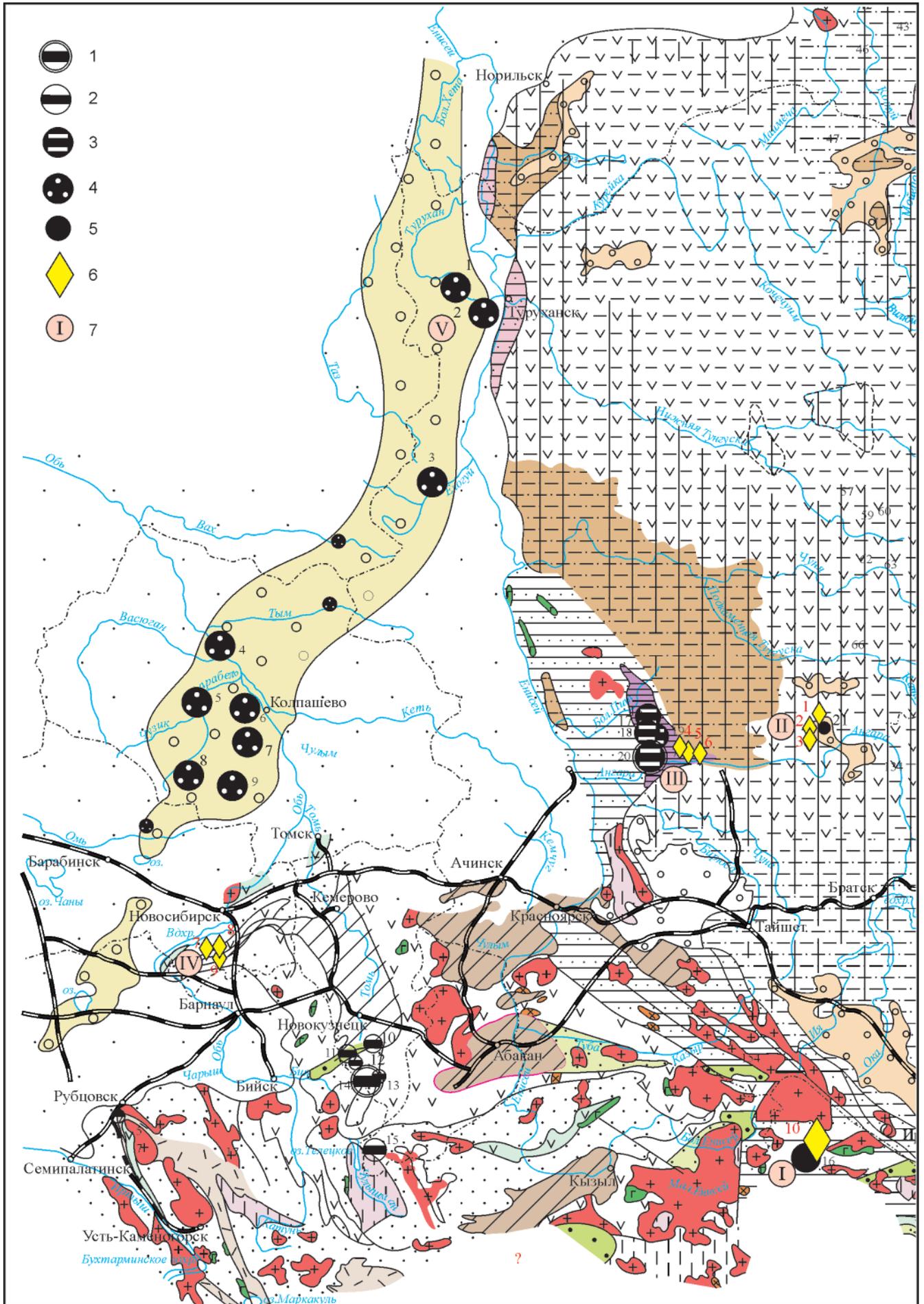
Основной минерал бокситов – гиббсит (40–54 % от массы руды). Среднее содержание Al_2O_3 35,84 %, кремневый модуль (М) – 5,4. Бокситы малокремнистые (SiO_2 6,64 %), но железистые (Fe_2O_3 29,37 %).

Утверждены ГКЗ СССР в 1979 г. и оставлены без изменений в 2007 г. запасы бокситов по категориям А+В (1492 тыс. т) и C_1 (35301 тыс. т), среднее содержание глинозема 36,5 %, забалансовые – 1436 тыс. т. Перспективы месторождения исчерпаны. Разработка возможна карьерами. Более 70 % запасов находятся выше уровня р. Терина.

Месторождение Пуня (2) открыто в 1961 г. юго-западнее Центрального. Выявлено 25 рудных тел мощностью 8–24 м (в среднем 15,8 м) с запасами категорий C_1 и C_2 66–947 тыс. т. Руды сложены гидраргиллитом (в среднем 50 %).

Бокситы низкоглиноземистые (Al_2O_3 37,57 %), железистые (Fe_2O_3 28,69 %), М = 3,8. Суммарные (2573 тыс. т по категории C_1) и забалансовые (1054 тыс. т) запасы утверждены ГКЗ СССР в 1979 г. и оставлены без изменений в 2007 г. Перспективы месторождения исчерпаны. Отработка возможна карьером с системой водоотлива.

Месторождение Ибджибдек (3) расположено несколько южнее месторождения Пуня. В резуль-





Основные разновидности бокситов и их минерально-химический состав

Разновидность	Основной минеральный состав	Основные рудообразующие окислы, %				
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₅
Черные	Углеродистое вещество, диаспор, каолинит, пирит	24,43–54,62	12,16–31,70	2,78–22,49	до 0,23	до 11,46
Зеленые	Хлорит, диаспор, пирофиллит, пирит	29,37– 51,30	8,43–27,24	до 22,14	до 0,35	сл (1,28)
Красно-вишневые	Диаспор, бемит, гематит, каолинит	20,55–54,32	4,24–30,38	до 48,65	до 0,35	сл. (1,25)

тате предварительной разведки (1962–1978 г.) были подсчитаны запасы бокситов и произведены технологические исследования. В процессе разведки оконтурено 35 бокситовых залежей, 8 из них промышленные. В каждой залежи находится несколько рудных тел с размерами в плане от 25×40 до 160×340 м, мощностью 6,5–15,5 м.

Три наиболее крупные залежи (с запасами около 1 млн т по категории С₁) представлены преимущественно каменистыми и рыхлыми разновидностями бокситов, в других преобладают глинистые.

Основной рудообразующий минерал – гидраргиллит (до 2/3 объема руды). Бокситы низкоглиноземистые (Al₂O₃ 39,83 %), высокожелезистые (Fe₂O₃ 24,75 %) с содержанием SiO₂ 10,66 % и M = 2,8–5,5, в среднем 3,7.

Запасы бокситов (5753 тыс. т по категории С₁, 1054 тыс. т забалансовые) утверждены ГКЗ СССР в 1979 г. и оставлены без изменений в 2007 г.

Отработка месторождения планировалась карьерами, но с предварительным осушением закарстованных вмещающих пород.

Бокситы месторождений *Чадобецкого поднятия* могут рассматриваться как составные части шихты железоалюминиевого сырья, так как самостоятельно не соответствуют разработанным требованиям. В качестве железистой составляющей возможно использование железных руд Чуктуконского рудопоявления, находящегося в южном ядре Чадобецкой структуры. По данным геологов Мотыгинской экспедиции, запасы железа по категории С₂ 87,76 млн т, прогнозные ресурсы 22 млн т.

В Приангарском районе (III) составляющими железоалюминиевого сырья являются железистые бокситы Иркинеевского выступа и глиноземистые железные руды Ангаро-Питского

синклиория, слагающие протяженный железорудный горизонт, в пределах которого детально разведаны три месторождения глиноземистых гематитовых руд (*Нижнеангарское, Ишимбинское и Удоронгское*) и подсчитаны запасы по категориям А + В + С₁ и С₂ (см. табл. 3).

Юго-восточнее *Ангаро-Питского синклиория*, в приангарской части Енисейского кряжа, разведано несколько месторождений железистых бокситов (**Приангарская группа** месторождений), которые могут служить глиноземной добавкой к гематитовым рудам при составлении железоалюминиевой шихты. По наиболее крупным (*Порожнинскому, Киргитейскому, Иркинеевскому и Верхотуровскому*) подсчитаны балансовые запасы и проведены технологические исследования с целью определения возможностей их освоения для получения глинозема. Наиболее значительное из них **Порожнинское** месторождение (5) находится в 15 км севернее пристани Артюгино на р. Ангара, в 150 км западнее Богучанской ГЭС и в 80 км северо-западнее железнодорожной станции Карабула, через которую проходит трубопровод «Восточная Сибирь – Тихий океан».

На месторождении проведены предварительная разведка и лабораторные технологические исследования с подсчетом запасов. Бокситы месторождения относятся к каолинит-гидраргиллитовому типу со значительной примесью корунда. В ВИМС в результате испытаний по обогатимости бокситов (Al₂O₃ 43,6 %) получены высококачественные концентраты, содержащие 49,4–50,18 % глинозема (M = 11,5).

В рудном поле месторождения площадью 16 км² выделены три участка (Ульдун, Порожнинский и Артюгинский), удаленные друг от друга на первые километры. В пределах каждого участ-

Рис. 2. Схема размещения месторождений бокситов и глиноземистых железных руд как составляющих шихты железоалюминиевого сырья в наиболее перспективных регионах Средней Сибири (геологическая основа – по Э. Г. Кассандрову, 2007)

Перспективные районы: I – Боксонский: Боксонское месторождение бокситов (16), Яматинское проявление кварцевых гематитов (16); II – Чадобецкий, месторождения: бокситов Центральное (1), Пуны (2), Ибджибдек (3); Чуктуконское бурых железняков и бокситов (21); III – Приангарский, месторождения: бокситов Порожнинское (5), Иркинеевское (6), Киргитейское (4); гематитовых руд: Нижнеангарское (20), Ишимбинское (17), Удоронгское (18), Неронгское (19); IV – Салаирский, месторождения: бокситов Октябрьское и Новониколаевское (7), Бердско-Майское (8), Обуховское (9); магнетитовых руд (нераспределенный фонд) Казское (10), Шерегешевское (11), Таштагольское (12); V – Туруханский: железистые бокситы и осадочные бурые железняки Елогуйской группы месторождений левобережной части р. Енисей; типы железных руд: 1 – магнетитовый разрабатываемый, 2 – магнетитовый резервный, 3 – гематитовый осадочный, 4 – бурые железняки осадочные, 5 – кварцево-гематитовый; 6 – бокситы; 7 – рудный район



ка выявлено несколько линзообразных рудных тел мощностью 2–32 м. Самой крупный участок – Порожнинский (32 тела с запасами бокситов категорий $C_1 + C_2$ 6200 тыс. т), несколько меньше запасов (4900 тыс. т) на южном Артюгинском участке (7 тел), на северном Ульдунском (10 тел) бокситов только 1350 тыс. т.

В целом по месторождению (с учетом всех участков) запасы по категориям C_1 и C_2 составили 14,2 млн т со средним содержанием Al_2O_3 42,94–43,6 %. Они утверждены комиссией ГКЗ в 1967 г. и приняты в Государственном балансе запасов 2007 г. в качестве государственного резерва.

Перспективы месторождения исчерпаны. Способ обработки открытый. Коэффициент вскрыши 0,7–9,8. Все руды находятся выше зеркала грунтовых вод.

Верхотуровское месторождение (6) открыто в 1959 г. в Мотыгинском районе в 56 км северо-восточнее райцентра с. Мотыгино (пристань на р. Ангара). Район экономически осваивается.

В результате детальных поисковых работ (1965–1969 гг.) установлено, что залежи бокситов сосредоточены в двух эрозионно-карстовых депрессиях: Северо-Западной и Юго-Восточной. В наиболее значимой Северо-Западной депрессии выделено 8 промышленных залежей (I, IV–IX, XVII), которые прослеживаются на 7 км, при ширине 0,4–1,8 км. Запасы бокситов по категориям $C_1 + C_2$ на всех залежах оценены в 3464 тыс. т. В каждой содержится от 1 до 6 рудных тел с размерами (в плане) от 20×40 м, до 435×70 м и мощностью 1,9–18,5 м. Залежи сближены и образуют единую группу. К бортам депрессии рудные тела резко выклиниваются.

Промышленные тела сложены гидраргиллитом, которому сопутствуют гетит, гидрогематит, лимонит, каолинит и кварц.

В бокситах содержится 44,07 % Al_2O_3 , 25,95 % Fe_2O_3 и 6,43 % SiO_2 , $M = 3,4$. Запасы по категориям $A + B$ 3847 тыс. т (Al_2O_3 44,5 %) и C_2 2162 тыс. т (Al_2O_3 44,09 %) утверждены ЦКЗ СССР в 1968 г.

Технологические исследования проводились в ВАМИ способом Байера и способом спекания, последний дал положительные результаты.

В Госбалансе запасов на Верхотуровском месторождении числились запасы, утвержденные в 1968 г., однако в конце 2007 г. они уже не были подтверждены.

Обработка месторождения осуществляется карьерами или траншеями, годовая производительность 350 тыс. т бокситов.

Следует отметить, что для Верхотуровского месторождения существенную экономическую выгоду могут дать огнеупорные глины, залегающие в нижней подрудной пачке. Они представлены двумя залежами, состоящими из нескольких пластов мощностью от 20–30 до 85 м. Глины высокоосновные и высокоглиноземистые, по качеству пригодные для производства цементных

и многосамотных изделий. Среднее содержание $Al_2O_3 + TiO_2$ 43,43 %, Fe_2O_3 1,75 %, т. е. почти полное соответствие химическому составу каолинита (Al_2O_3 39,5 %, SiO_2 46,5 %). Следовательно, эти глины могут использоваться и в качестве составляющей при подготовке железоалюминиевой шихты на базе запасов нижнеангарских месторождений бокситов и месторождений глиноземистых гематитовых руд Ангаро-Питского бассейна.

Запасы глин весьма велики (сотни миллионов тонн), и это следует учитывать при общей оценке ресурсов железоалюминиевого сырья в данном регионе.

Киргитейское месторождение находится в 38 км северо-восточнее с. Мотыгино. Район экономически осваивается. Энергоснабжение от государственной сети. Месторождение приурочено к карстовым полостям зоны контакта карбонатных и алюмосиликатных пород.

Бокситовые тела имеют линзовидную форму и почти горизонтальное залегание. Выявлены 12 рудных тел, но только 7 содержат промышленные запасы (117–984 тыс. т) по категории C_1 , 5 тел из-за небольших размеров отнесено к разряду непромышленных.

Бокситы месторождения в основном представлены глинистыми разностями (60 %, иногда до 85–100 %): гематитом и гидраргиллитом, содержание последнего 45–65 %, реже до 80 %. Средний химический состав промышленных бокситов следующий (%): Al_2O_3 41,25; SiO_2 14,21, Fe_2O_3 21,19, $M = 2,9$.

Подсчитаны и утверждены ЦКЗ Мингео СССР в 1969 г. запасы по промышленным залежам: 6106 тыс. т по категории C_1 , 1773 тыс. т по категории C_2 . Способ обработки открытый.

Однако, несмотря на благоприятные геологические условия и положительные результаты лабораторных технологических исследований, проведенных в ВАМИ, запасы этого месторождения экспертами СибцветметНИИпроект в 1971 г. были переведены в забалансовые.

Туруханский бокситоносный район (V) – третий объект железоалюминиевого сырья в Красноярском крае. Здесь при бурении скважин на нефть были подсечены бокситоносные отложения, в разрезе которых В. А. Каштановым [11] выявлено несколько перспективных участков на бокситы и оценены их прогнозные ресурсы. На наиболее хорошо изученном Лебяжинском участке запасы бокситов 15 млн т со средними содержаниями SiO_2 8,51 %, Al_2O_3 36,86 %, Fe_2O_3 32,06 %. Этот участок характеризуется и четко выраженной магнитной аномалией.

В Туруханском районе насчитываются 42 аномалии. Конечно, не все могут оказаться рудоносными, но даже если использовать коэффициент достоверности 20 %, установленный для Сибирской платформы, то и тогда ресурсы



бокситов могут исчисляться сотнями миллионов тонн.

Здесь же на глубине 30–40 м залегает бурожелезняковый горизонт, содержащий от 30 до 32,22 % $Fe_{вал}$. Геологические запасы по двум условно выбранным участкам достигают 7,6 млрд т. Содержание фосфора не превышает 1 %.

Следовательно, бокситы и бокситоподобные породы Туруханского района могут представлять весомую базу железоалюминиевого сырья, которая явится серьезным энергозатратным потребителем предполагаемой к строительству Туруханской ГЭС.

Алтайский край и Кемеровская область

Составляющие шихты железоалюминиевого сырья в этих регионах представлены девонскими бокситами Салаирского кряжа, находящимися в Алтайском крае и частично в Новосибирской области [13 и др.], и месторождениями глиноземистых железных руд в Кемеровской области (см. рис. 2). Все месторождения относятся к нераспределенному фонду недр.

Бокситы Салаирского кряжа

На Салаирском кряже (V) известны две бокситоносные структуры: Верхнебердская и Видрихинская, в пределах которых разведаны четыре месторождения девонских бокситов (Октябрьское, Новогоднее и Бердско-Майское в первой и Обуховское во второй). Продуктивная толща залегает на рифогенных закарстованных известняках нижнего девона и содержит пять глиноземсодержащих горизонтов, сложенных бокситами, аллитами и сиаллитами, которые могут использоваться в качестве составляющих при производстве шихты железоалюминиевого сырья.

Октябрьское и Новогоднее месторождения приурочены к северо-западной части Верхнебердской синклинали и отделены друг от друга двухкилометровым безрудным интервалом. Оба месторождения равнозначны по масштабам и качеству оруденения и представлены тремя залежами (две на Октябрьском и одна на Новогоднем) со средними мощностями 2; 1,8 и 2,2 м. В рудных телах преобладают (65–85 %) диаспор-хлоритоидные бокситы (Al_2O_3 45,3 %, SiO_2 19,0 %, Fe_2O_3 17,0 %, $M = 2,4$), сложенные диаспором, лептохлоритом, хлоритоидом и слюди-сто-глинистым материалом. В их центральных

частях выделяются более богатые диаспоровые разности (Al_2O_3 53,4 %, SiO_2 11,2 %, Fe_2O_3 16,6 %, $M = 4,8$), а по периферии развиты обедненные глиноземом аллиты (Al_2O_3 36,2 %, SiO_2 19,2 %, Fe_2O_3 9,3 %, $M = 1,9$) и глинисто-лептохлоритовые сланцы (Al_2O_3 34,2 %, SiO_2 35,1 %, Fe_2O_3 12,1 %, $M = 1,0$).

Октябрьское месторождение разведано на трех участках. Рудный горизонт имеет выдержанное северо-западное простирание и крутое (от 70° до вертикального) северо-восточное падение. Буровыми и горными работами он прослежен по простиранию на 900 м до глубины 200–215 м.

Балансовые запасы Октябрьского месторождения 1,1 млн т (при Al_2O_3 46,4 %, SiO_2 19,1 %, $Fe_{вал}$ 24,5 %, $M = 2,4$), Новогоднего – 1,0 млн т (при Al_2O_3 45,7 %, SiO_2 18,7 %, $Fe_{вал}$ 21,5 %, $M = 2,4$).

Бердско-Майское месторождение – наиболее крупное месторождение бокситов в Салаирской группе. По запасам оно превышает Обуховское почти в 1,5 раза. Оно находится на северо-восточной окраине Алтайского края в пределах правых притоков р. Бердь. В результате разведочных работ полностью оценено, подсчитаны запасы по категориям В и C_1 .

Бокситы приурочены к основанию обуховской свиты и залегают на закарстованной поверхности известняков хвостовской свиты. Рудная площадь в северо-западном направлении протягивается на 4,8 км, а затем бокситы сменяются аллит-сиаллитными породами. Так же они ведут себя и в крыльях синклинали структуры. Рудная площадь составляет 2,7 км², но ее сплошность нарушается выступами дорудного рельефа, достигающими десятков метров. Мощность рудного горизонта варьирует от 7–22 до 1–0,5 м и полного выклинивания. В результате разведки месторождение расчленено на 11 участков с глубиной разведки до 400–500 м на площадях развития кондиционных руд и до 200 м на участках, вскрывших аллит-сиаллитные породы.

Рудный горизонт в основном представлен тремя типами руд и пород: 1) высококачественными бокситами лептохлорит-диаспоровыми, 2) хлоритоид-диаспоровыми (среднесортными), 3) аллит-сиаллитными сланцами лептохлорит-глинистого состава (табл. 5).

Все типы руд и пород имеют постепенные переходы, но размещаются обособленно. Так, наибольшая концентрация богатых диаспоровых руд

Таблица 5

Средний химический состав руд и пород рудного горизонта Бердско-Майского месторождения

Тип бокситов, пород	Химический состав, %						
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	FeO	Fe_2O_3	MgO	П.п.п.
Диаспоровый	8,3	61,2	2,4	9,9	4,1	1,5	12,9
Хлоритоид-диаспоровый	15,8	51,8	0,7	16	1–3	1–3	8–10
Хлоритоидный	19,0	41,5	1,7	17,3	1,0	3,3	10,1
Лептохлоритовые сланцы	29,6	37,5	1,5	CaO 3,7	10,4	S 0,8	9,8
Глинисто-лептохлоритовые	43,0	27,5	1,3	CaO 2,2	10,8	S 1,4	8,0



Таблица 6

Средний химический состав бокситов продуктивных горизонтов Обуховского месторождения

Горизонт	Химический состав, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	S _{вал}	П.п.п.
Хвощевский	20,6	45	11,5 вал	–	2,0	8,6	2,6	0,8	5,7
Обуховский									
корундовые	9,0	64,51	1,6	14,0	2,9	0,8	1,6	–	4,4
слюдисто-корундовые	20,5	53,4	4,3	8,4	2,5	4,1	2,3	–	4,7
аллиты-сиаллиты	16	28–42	9–13	–	1–2	6–36	–	–	5–39
Нижнепавловский (бокситы)	21,1	50,2	14,1	–	2,1	4,8	–	2,4	6,8

наблюдалась на юго-восточном фланге месторождения, хлоритоидных – в его средней части, а аллит-сиаллитных сланцев – в северо-западной.

Значительная пиритиносность повышает сернистость бокситов: от следов до 9,8 %, в среднем 1,71 %.

Усредненный химический состав бокситов по месторождению следующий (%): SiO₂ 12,24, Al₂O₃ 47, 3, Fe₂O₃ 15, 90, TiO₂ 2,11, CaO 6,17, S_{вал} 1,71; п.п.п. 12,98, M = 3, 9, средняя мощность 1,9 м.

Согласно Государственному балансу запасов (2007 г.), запасы бокситов оценены в 15,06 млн т. Прирост до 5–10 млн т марочных бокситов возможен за счет глубинной доразведки южной и центральной частей месторождения. Кроме того, за его пределами в Чарухо-Таловском районе находится площадь (15 км²) развития рифогенных известняков, перспективных на выявление девонских бокситов (данные А. Н. Сухариной).

Обуховское месторождение и его окрестности изучались и разведывались на бокситы с 1944 г. (с некоторыми перерывами) до 1971 г., завершилось исследование завершилось подсчетом запасов и технологическими испытаниями, определившими основные направления использования руд.

Месторождение приурочено к девонскому комплексу рифогенных известняков, в разрезе которых обнаружено пять внутрiformационных перерывов, три из которых бокситоносные: хвощевский, обуховский и нижнепавловский с залежами высокоглиноземистых бокситов (табл. 6).

Запасы бокситов в целом по месторождению были приняты ГКЗ СССР в 1953 г. в количестве 10 млн т и оставлены без изменений в Госбалансе 2007 г. Кроме того, в интервале 400–1000 м, по данным А. Н. Сухариной, может быть доразведано еще примерно 5–7 млн т.

Все месторождения Салаирской группы рассматриваются в качестве потенциальной сырьевой базы для производства глинозема с суммарными запасами по категориям В + С₁ на Бердско-Майском и Обуховском месторождениях 26,0 млн т и прогнозными ресурсами Гришинского участка, оцененными по элювиальным развалам в 31,0 млн т.

Однако Б. Н. Одокий рассматривал салаирские бокситы не только в направлении непосредственного их использования для получения

глинозема, но и как составляющие шихты железно-алюминиевого сырья совместно с глиноземистыми железными рудами Горной Шории.

Выводы

Исходя из характеристик описанных железистых бокситов и глиноземистых железных руд в регионах, наиболее перспективных на железно-алюминиевое сырье, и опираясь на предъявляемые к указанному сырью требования, можно утверждать, что объекты промышленной значимости в Средней Сибири есть, и весьма значительные (см. табл. 3).

Разумеется, эта руда будет востребована не в ближайшее время, но еще в текущем столетии, потому что ресурсы ее огромны и позволяют создавать крупные предприятия по комплексной и безотходной переработке железноалюминиевого сырья с получением малокремнистого ферросилиция, глинозема и продуктов для цементной промышленности.

Для строительства крупных предприятий следует рассматривать Боксонский и Туруханский регионы, а в качестве первоочередных – Салаирский (IV) и Чадобецкий (II) (см. рис. 2).

При этом крайне важно их расположение вблизи крупных водных систем, обладающих огромными гидроэнергоресурсами, так необходимыми для алюминиевой промышленности. А Сибирь ими богата, и это будет привлекать как отечественных, так и зарубежных инвесторов. В конечном счете существенно выиграет и население: будет создано большое количество рабочих мест, произведено инфраструктурное обустройство территории и, соответственно, улучшены социально-бытовые условия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессолицын, Е. П. Результаты геолого-разведочных работ и перспективы Боксонского месторождения [Текст / Е. П. Бессолицын // Тр. Вост.-Сиб. филиала АН СССР. – 1958. – Вып. 12.
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ. Бокситы [Текст]. – М.: Росгеолфонд, 2007.
3. Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ. Железные руды [Текст]. – М.: Росгеолфонд, 2007.



4. **Жабин, В. В.** Железоалюминиевое сырье – бессрочная минерально-сырьевая безопасность для алюминиевой промышленности Сибири [Текст] / В. В. Жабин // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса в XXI веке : Матер. II Междунар. конф. «Перспективы обеспечения минерально-сырьевой безопасности регионов России». – М., 2006.
5. **Жабин, В. В.** Железоалюминиевое сырье – перспективное направление получения в Сибири глинозема, ферросилиция и цементного сырья [Текст] / В. В. Жабин // 50 лет на службе геологии Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2007. – С. 344–350.
6. **Жабин, В. В.** Прогнозные ресурсы железозалюминиевого сырья Средней Сибири и перспективы расширения минеральной базы для алюминиевой промышленности [Текст] / В. В. Жабин, В. П. Слесаренко // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Т. 2. – Томск : Гала-Пресс, 2000. – С. 102–104.
7. **Жабин, В. В.** Технологии безотходной переработки минерального сырья и комплексного освоения полезных ископаемых отдельных рудных полей и рудных узлов – перспективные ресурсосберегающие направления XXI века [Текст] / В. В. Жабин // Ресурсосберегающие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр : Матер. VI Междунар. конф. – М. : РУДН, 2007. – С. 307–309
8. **Жабин, В. В.** Укрепление глиноземной базы Сибири за счет совместной переработки низкосортных железистых бокситов и другого глиноземсодержащего сырья [Текст] / В. В. Жабин // Современные проблемы геологии и разведки недр : Матер. междунар. науч. конф. – Томск : ТПУ, 2010. – С. 410–415.
9. **Железорудные** месторождения Сибири [Текст] / А. С. Калугин, Г. С. Калугина, В. И. Иванов [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1981. – 238 с.
10. **Иванов, А. И.** Комплексное использование бокситов и глиноземсодержащих железных руд [Текст] / А. И. Иванов // Цветная металлургия. – 1961. – № 12. – С. 33–36.
11. **Каштанов, В. А.** Бокситовые породы и бокситы Турухана [Текст] / В. А. Каштанов. – Новосибирск : ИГиГ СО АН СССР, 1983. – 208 с.
12. **Ломаев, В. Г.** Сырьевая база алюминия Красноярского края и сопредельных территорий [Текст] / В. Г. Ломаев. – Красноярск : КНИИГГиМС, 2005. – 60 с.
13. **Нагорский, М. П.** Палеозойские бокситы центральной части Салаирского кряжа [Текст] / М. П. Нагорский // Геология СССР. Т. XIV. Западная Сибирь. Ч. II. Полезные ископаемые. – М. ; Л. : Госгеолтехиздат, 1948. – С. 273–293.
14. **Одокий, Б. Н.** Перспективы расширения минерально-сырьевой базы алюминиевой промышленности за счет глиноземно-железистых пород [Текст] / Б. Н. Одокий // Прогнозирование месторождений бокситов. – М. : ВИМС, 1984. – С. 122–129.
15. **Озерский, Ю. А.** О строении и возрасте бокситоносных отложений Ангаро-Енисейской провинции [Текст] / Ю. А. Озерский, Ю. А. Забиров // Геология и геофизика. – 1974. – № 9. – С. 159–163.
16. **Орлова, П. В.** Литология, условия образования и закономерности размещения бокситов Боксонского месторождения [Текст] / П. В. Орлова // Бокситы их минералогия и генезис. – М. : Изд-во АН СССР, 1958.
17. **Nielsen, K.** The Pedersen process – an old process in a new light [Text] / K. Nielsen // Erzmetal. – 1978. – Vol. 31, N 11. – P. 523–525.