



КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ПРОБЛЕМЫ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ И РАЗВЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ

Э. Г. Кассандров

Приведены результаты комплексной оценки прогнозных ресурсов и запасов попутных компонентов в магнетитовых гидросиликатно-скарновых рудах эксплуатируемых и резервных разведанных месторождений Сибири. На большинстве объектов сосредоточены прогнозные ресурсы и запасы, эквивалентные потенциально крупным, средним и мелким месторождениям цинка, кобальта, ванадия, меди, золота и других элементов. Ввиду недоизученности месторождений невозможно их комплексное использование в промышленности. Для скорейшего решения проблемы предлагается решить определенные задачи геологического, технологического, экономического, стратегического и политического характера.

Ключевые слова: комплексные железные руды, оценка прогнозных ресурсов, проблемы освоения месторождений.

INTEGRATED ASSESSMENT AND PROBLEMS OF DEEP PROCESSING OF IRON ORES FROM THE SIBERIAN EXPLOITED AND DEVELOPED DEPOSITS

E. G. Kassandrov

The results of integrated assessment of undiscovered potential resources and associated component reserves in magnetite hydrosilicate-skar ores of the Siberian exploited and developed deposits are given. Undiscovered potential resources and reserves, equivalent to a potentially large, medium and small deposits of zinc, cobalt, vanadium, copper, gold and other elements, are concentrated at the most of sites. Due to the incomplete previous study of deposits, their multiple use by the industry is impossible. For the speedy problem solving it is proposed to accomplish certain geological, technological, economical, strategical and political tasks.

Keywords: complex iron ores, undiscovered potential resources evaluation, problems of deposit development.

Железорудную базу действующих и потенциальных металлургических заводов Сибири составляют магнетитовые гидросиликатно-скарновые месторождения, в основном комплексные и имеющие огромные потенциальные возможности получения самого широкого круга полезных компонентов: серы, кобальта, меди, цинка, свинца, золота, серебра, платиноидов, молибдена, ванадия, селена, теллура, кадмия, индия, таллия, галлия, скандия, германия и др., а также апатита, людвигита, ашарита и др. *К комплексным относятся руды, содержащие несколько ценных компонентов в таких соединениях и концентратах, при которых их промышленное использование технологически возможно и экономически целесообразно.*

Если в цветной металлургии комплексное извлечение полезных компонентов максимально велико и находится на мировом уровне, то в черной металлургии примеры комплексного использования железных руд единичны. Доля попутных компонентов в стоимости товарной продукции нередко составляет первые десятки процентов, достигая 50 % в титано-цирконовых россыпях и медных месторождениях и 70 % в полиметаллических [1].

К настоящему времени накопился большой материал по исследованиям технологии обогащения железных руд, проведенным в лабораторных, опытно-промышленных и промышленных условиях, свидетельствующий о целесообразности комплексного (а по некоторым месторождениям только комплексного) их использования [1, 2, 6–8]. О возможных масштабах ресурсов полезных ископаемых, попутных с железными рудами, можно судить по разведанным запасам и прогнозным ресурсам железных руд Сибири, которые (без оolitовых руд Западно-Сибирской плиты) составляют 22 и 120 млрд т соответственно.

После перехода только на местные источники руды и возможного строительства Восточно-Сибирского (ВСМЗ) и Дальневосточного (ДВМЗ) металлургических заводов годовая производительность по добыче возрастет до 100–120 млн т, а прирост отвалов сухой и мокрой магнитной сепарации составит более 60 млн т. Даже при низких содержаниях общие ресурсы попутных компонентов настолько велики, что их использование могло бы если не освободить народное хозяйство целиком от необходимости вовлечения других месторождений полезных ископаемых, то, по крайней мере, значительно сократить их количество.



Современные принципы комплексного использования минерального сырья были сформулированы А. Е. Ферсманом еще в начале 1930-х гг. Он писал, что производство поставлено правильно там, где не пропадает ни одного грамма отходов, где ничего не улетает в воздух и не смывается водами. Комплексный подход – это охрана наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья до конца и возможного сохранения наших природных запасов на будущее [9]. Проблеме комплексного использования железных руд посвящены сотни статей, десятки крупных совещаний и постановлений, касающихся максимально полного установления попутных компонентов и эффективного их извлечения. Перспективы комплексного использования гидросиликатно-скарновых сульфидно-магнетитовых руд неоднократно рассматривались на Межведомственном (Мингео и Минчермет СССР) координационном совете по геологии руд черных металлов. Отмечалось, что, несмотря на значительное количество исследований, выявивших технологические возможности и экономическую эффективность комплексного использования большинства сульфидно-магнетитовых руд, нигде до сих пор не осуществляется их комплексное промышленное освоение. Из руд извлекается только магнетитовый концентрат, а значительное количество ценных попутных компонентов теряется, хотя разработаны технологические схемы комплексного обогащения сульфидно-магнетитовых руд, включающие магнитное обогащение для извлечения магнетита и коллективно-селективную флотацию из хвостов мокрой магнитной сепарации сульфидов. В США, Финляндии, Канаде, Перу, Норвегии, Швеции, Чили, Китае, на Украине и в других странах из магнетитовых руд, кроме железных концентратов, выделяются апатитовые, медные, пиритно-кобальтовые, цветных и редких металлов, ванадия, золота, редких земель, серы, бора.

В России комплексно перерабатываются руды Гусевгорского месторождения с получением железа и ванадия, но с потерей титана, Ковдорского с получением железного, апатитового и бадделеитового концентратов. Незначительное количество медного концентрата извлекалось попутно с железным из руд Ауэрбаховского месторождения на Урале. На остальных месторождениях попутные компоненты или безвозвратно теряются или в лучшем случае складываются в хвостохранилищах, обычно сильно разубоживаясь. Следует отметить, что проблема комплексной переработки железных руд находится в нашей стране пока на стадии затянувшихся проектных разработок и общих рассуждений. Реальных действий для ее решения так и не сделано. Даже утвержденные ГКЗ балансовые запасы кобальта на Абаканском эксплуатирующемся месторождении не извлекаются и теряются при переработке руд. Ранее мы уже характеризовали перспективы получения

попутных компонентов из железных руд месторождений Центров экономического роста (ЦЭР) Центральной Бурятии и Южной Якутии [4].

Принципиальная схема обогащения магнетитовых руд включает сухую и мокрую магнитную сепарацию измельченной руды, в результате которой получают магнетитовые концентраты и хвосты. Связанные с магнетитом ванадий и марганец накапливаются в магнетитовом концентрате и в дальнейшем выделяются или используются при переделе. Из хвостов флотации, иногда с предварительным доизмельчением, получают коллективный сульфидный, апатитовый и другие концентраты. Из первого выделяются собственные концентраты цветных металлов и пиритный концентрат, содержащий кобальт, золото, серебро. С медным, цинковым, свинцовым концентратами связаны селен, теллур, кадмий, индий, германий и др., с апатитом – редкие земли. Хвосты магнитной сепарации людовигит-магнетитовых руд представляют собой боратовый концентрат. Теллур, кадмий, индий, редкие земли и др. выделяются или утилизируются как ванадий, марганец и отчасти фосфор на стадии передела.

В СНИИГГиМСе в течение многих лет изучались комплексный состав, минералогия, геохимия, давалась оценка прогнозных ресурсов и запасов элементов-примесей, определялись перспективы промышленного использования железных руд сибирских месторождений.

Приведем оценку прогнозных ресурсов и запасов попутных компонентов в рудах эксплуатируемых и разведанных резервных месторождений Сибири. Фактическим материалом для оценки элементов-примесей в железных рудах послужили результаты изучения технологических проб весом от десятков килограммов до нескольких тонн (сотни проб), групповых и рядовых проб весом от сотен граммов до сотен килограммов (десятки тысяч проб), а также штучных проб, проведенного в различных организациях страны. Использовались геологические и минералого-технологические материалы территориальных ПГО Сибири, результаты минералого-геохимических исследований СНИИГГиМСа, ИГиГ СО АН СССР, ВИМСа, ВостНИГРИ и др.

Все многообразие попутных с магнетитовыми гидросиликатно-скарновыми рудами компонентов подразделено на три группы: компоненты, связанные 1) с магнетитом, 2) с сульфидами, 3) с минералами, выделяемыми в собственные концентраты. При оценке запасов и прогнозных ресурсов попутных компонентов они составили две группы: 1) прогнозных ресурсов и запасы попутного компонента в запасах железных руд; 2) прогнозных ресурсов компонента в прогнозных ресурсах железных руд. По степени значимости месторождения подразделяются на 1) эксплуатируемые, 2) резервные разведанные, 3) неопределенной перспективы разведки и освоения.



Для квалификации железных руд Сибири на ранних этапах изучения как условно комплексных использованы данные по минимальному предельному содержанию соответствующих компонентов в комплексных рудах разрабатываемых и в России, и за рубежом железорудных, полиметаллических, редкометалльных месторождений [4].

Эксплуатируемые железорудные месторождения

Для нужд Западно-Сибирского и Кузнецкого металлургических заводов эксплуатируются Шерегешевское, Таштагольское, Казское, Абаканское, Тейское, Изыхольское, Абагасское, Ирбинское, Бурлукское, Рудный Каскад, Одинокое, Мульгинское, Коршуновское, Рудногорское, Татьянинское месторождения, многие из которых потенциально комплексные (табл. 1). Приведем краткую характеристику некоторых месторождений, отличающихся наиболее выраженным комплексным составом руд (см. рисунок).

Шерегешевское месторождение эксплуатируется с 1952 г. и постоянно находится в разведке. Проектная производительность рудника 6 млн т, достигнутая – 3,5 млн т. Изучение месторождения как комплексного ведется с начала разведки в 1931 г. За это время несколько сотен групповых проб проанализировано на кобальт, медь, серу, цинк. Установлено, что в распределении элементов сульфидной минерализации по участкам месторождения намечается определенная закономерность. По данным В. П. Орлова, подтвержденным последующими технологическими работами, наиболее обогащены кобальтом и медью руды участков Новый Шерегеш и Подрусловый, а цинком – Болотный и Главный. Технологические исследования комплексных руд проведены по 28 крупнообъемным технологическим пробам в институтах «Механобр» и «Уралмеханобр», в Горно-геологическом институте СО АН СССР и Центральной лаборатории ПГО «Запсибгеология». Предложена магнитно-флотационная схема обогащения.

На уровне промышленных с *сульфидной минерализацией* связаны концентрации серы, кобальта, цинка, меди, с магнетитом – марганца. Среднее содержание серы в рудах 1,04 % (максимальное 12 %), в пиритно-кобальтовых концентратах 34,2–50,6 %, в медно-цинковых – 29–32 %. Пиритно-кобальтовые концентраты – высококачественное сырье на серу. Подсчитанные в процессе разведки запасы серы ниже горизонта +225 м отнесены к категории С₁ и составляют 1648 тыс. т, прогнозные ресурсы, по нашим подсчетам, можно оценить в 2560 тыс. т, из них 2540 тыс. т в запасах железных руд (см. табл. 1).

Среднее содержание *кобальта* в рудах месторождения 0,016 % (максимальное 0,28 %). Основной минерал – концентрат кобальта – пирит. Содержание кобальта в пиритно-кобаль-

товом концентрате 0,107–0,554 %, в среднем 0,36 %. Подсчитанные при разведке запасы по участкам Новый Шерегеш и Подрусловый составляют 17,3 тыс. т, с учетом участков Главный и Болотный – 21,3 тыс. т. Общие прогнозные ресурсы кобальта в рудах месторождения оцениваются нами в 43 тыс. т, из них в запасах железных руд – 40 тыс. т, в прогнозных ресурсах железных руд – 3 тыс. т.

Среднее содержание *меди* в рудах 0,036 % (максимальное 0,41 %). Основной минерал – концентрат меди – халькопирит. Содержание меди в медном и медно-цинковом концентратах достигает 27,58 %, в среднем 17,4 %. По данным разведки повышенное содержание меди, как и кобальта, характерно для участков Новый Шерегеш и Подрусловый. Подсчитанные в процессе разведки запасы меди составляют 61,9 тыс. т. Запасы и прогнозные ресурсы можно оценить в 97 тыс. т, в том числе 90 тыс. т в запасах железных руд.

Среднее содержание *цинка* в рудах месторождения 0,3 % (максимальное 13,98 %), в цинковом концентрате – 47,1 %, достигает 56,3 %. Основным минералом – концентратом цинка является сфалерит. Наибольшее количество цинка в рудах Болотного участка – в среднем 0,5 %. Подсчитанные в процессе разведки запасы цинка составляют 1344 тыс. т, запасы и прогнозные ресурсы цинка в рудах месторождения – 820 тыс. т, из них 760 тыс. т в запасах железных руд.

Среднее содержание *окси марганца* в целом по месторождению 1,2 %. Поскольку марганец при обогащении переходит в магнетитовый концентрат, считаем необходимым учитывать его как попутный компонент магнетитовых руд. Прогнозные ресурсы марганца 2365 тыс. т. В связи с бесспорной комплексностью железных руд Шерегешевского месторождения встает вопрос о распределении попутных компонентов в продуктах обогащения. В хвостах сухой магнитной сепарации рудничной дробильно-обогащительной фабрики (ДОФ) теряется около 50 % полезных компонентов, в том числе серы 46,25 %, меди 44,53 %, цинка 44,64 %, кобальта 37,86 %. Уралмеханобром проведены лабораторные исследования по использованию хвостов обогащения сухой магнитной сепарации. Проба с содержанием железа 14,28 %, окиси марганца 1,92 %, серы 0,37 %, меди 0,041 %, цинка 0,20 % и кобальта 0,005 % кроме магнетитового концентрата дала коллективный сульфидный концентрат с содержанием серы 32,11 %, кобальта 0,208 %, меди 1,90 %, цинка 10,4 %. Эти опыты привели к совершенно правильному, на наш взгляд, выводу о том, что хвосты сухой магнитной сепарации при обогащении железных руд не могут быть отвальными. Сухая магнитная сепарация должна быть исключена из технологической схемы обогащения комплексных железных руд.

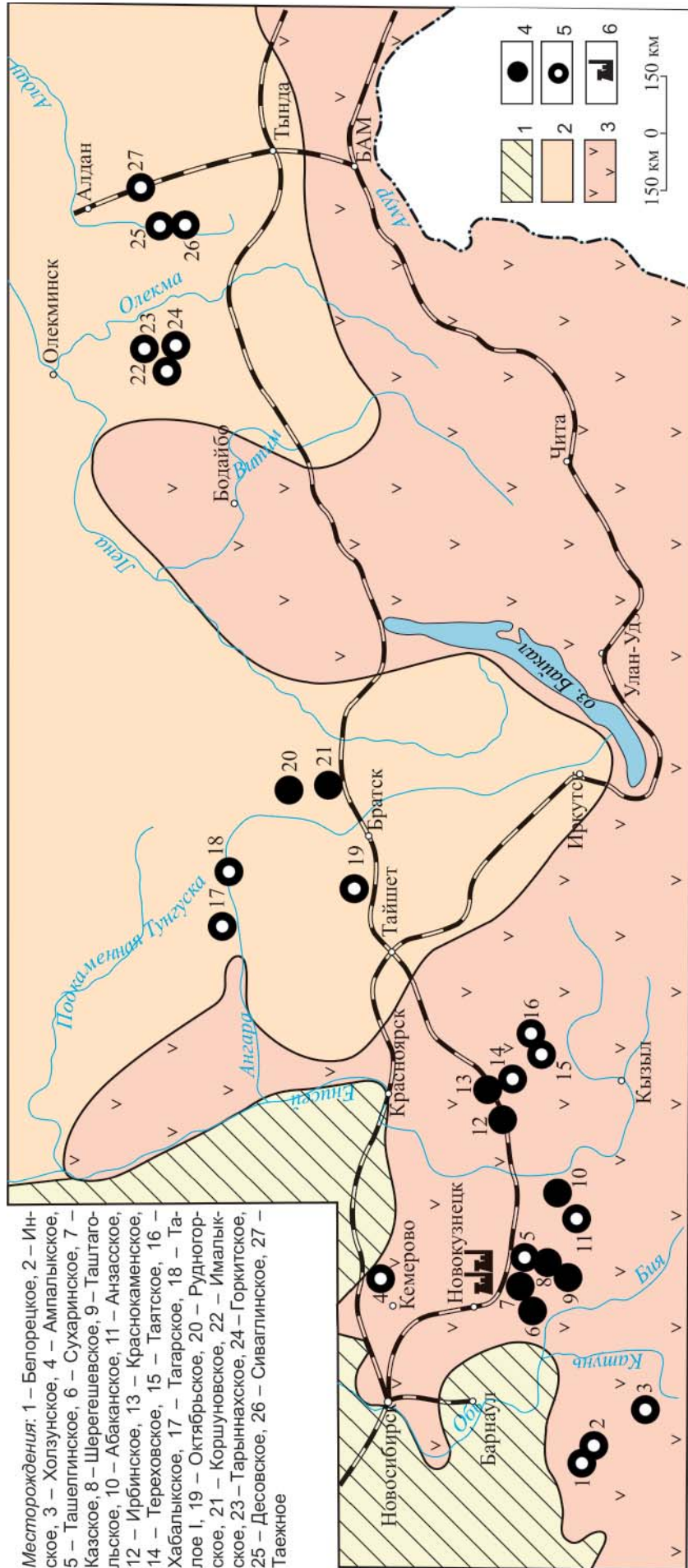


Схема размещения потенциально комплексных железорудных месторождений Сибири
 Геологические структуры: 1 – Западно-Сибирская плита, 2 – Сибирская платформа, 3 – складчатые области; железорудные месторождения: 4 – эксплуатируемые, 5 – резервные разведанные; 6 – действующие металлургические комбинаты (Кузнецкий и Западно-Сибирский)



Таблица 1

Запасы и прогнозные ресурсы попутных компонентов на эксплуатирующихся железорудных месторождениях Сибири

Железорудные месторождения	Компонент	Прогнозные ресурсы, тыс. т			Прогнозируемый масштаб месторождения	Дополнительные сведения
		C ₂ +P ₁ в запасах	P ₁ +P ₂ в ресурсах	Всего		
Сухаринское	Mn	375	–	375	Мелкое	По отдельным пробам содержание As – 11 %, Co – 0,09 %, Au – 2 г/т, Ag – 3,4 г/т
	B	7	–	7	–	
	S	1575	–	1575	–	
	Cu	55	–	55	Мелкое	
	Zn	20	–	20	«	
Казское	Mn	1125	–	1125	«	По отдельным интервалам рудных тел содержание Au до 7,7 г/т. В кварцевых жилах мощностью до 2,8 м Леспромхозного участка содержание Au – 4,5–14,3 г/т
	B	400	–	400	Среднее	
	S	4735	–	4735	–	
	Cu	60	–	60	Мелкое	
	Zn	65	–	65	«	
Шерегешевское	Co	7,5	–	7,5	«	В хвостах СМС рудничной ДОФ заключено, тыс. т: Fe – 3500, Mn – 370, S – 90, Zn – 50, Cu – 10, Co – 1
	Au	0,0066	–	0,0066	«	
	Ag	0,105	–	0,105	«	
	Mn	2345	20	2365	«	
	Zn	760	60	820	Крупное	
Таштагольское	Co	40	3	43	«	В отдельных технологических пробах содержание Au до 0,2 г/т, Ag до 1 г/т
	Cu	90	7	97	Мелкое	
	S	2540	20	2560	–	
	S	2150	1475	3625	Крупное	
	Co	20	15	35	Мелкое	
Абаканское	Cu	90	60	150	–	В хвостах СМС рудничной ДОФ заключено Fe – 4 млн т, S – 360 тыс. т, Co – 12 тыс. т, Au – 5–7 т, Cu, Ni
	S	4900	–	4900	–	
	Co	21	–	21	Среднее	
	Cu	41	–	41	Мелкое	
	Ni	26	–	26	«	
Краснокаменная группа	Au	0,005	–	0,005	«	По отдельным интервалам содержание Co и Cu достигает 1 %
	Au	0,004	–	0,004	«	
Ирбинская группа	S	1900	600	2500	–	На уровне промышленных содержания Cu, Au, Ag в сульфидных залежах всяческого бока
	Co	10	3	13	Среднее	
	P ₂ O ₅	2500	2500	5000	Мелкое	
Коршуновское	S	–	2500	2500	–	Кроме P ₂ O ₅ попутные компоненты в сульфидно-борато-магнетитовых рудах глубоких горизонтов
	Co	–	10	10	Мелкое	
	Ni	–	10	10	«	
Рудногорское	P ₂ O ₅	3100	3400	6500	«	



Таштагольское месторождение отрабатывается с 1941 г. для Кузнецкого и Западно-Сибирского металлургических заводов. Годовая производительность рудника 3,2 млн т, проектная после реконструкции – 6,0 млн т. Вследствие низкого содержания серы и использования в течение длительного срока эксплуатации основной массы руды как доменной и даже мартеновской эти руды традиционно считались чистыми беспримесными, поэтому проблеме возможного наличия попутных компонентов не уделялось должного внимания. Однако еще в 1966 г. при изучении обогатимости железных руд из их высокосернистых разновидностей выделен пиритно-кобальтовый концентрат. В 1972 г. вопрос о возможности выделения попутных компонентов из магнетитовых руд с обычной повышенной сульфидной минерализацией исследовался специально по пяти технологическим пробам Технологической лабораторией ПГО «Запсибгеология». По обычной схеме обогащения получены пиритно-кобальтовый и медный концентраты. Среднее содержание серы в железных рудах составляет 0,59 %, в пиритно-кобальтовых концентратах 42,7–47,3 %, в медных 23,2–28,9 %. Прогнозные ресурсы серы в запасах железных руд 2150 тыс. т, в ресурсах 1450 тыс. т. Среднее содержание кобальта по рядовым и групповым пробам 0,006 %, в пиритно-кобальтовом концентрате 0,2–0,32 %. Прогнозные ресурсы кобальта в запасах железных руд оценены в 20 тыс. т, в прогнозных ресурсах железных руд – 15 тыс. т. Среднее содержание меди в рудах 0,025 %, в пиритно-кобальтовом концентрате 0,18–1,2 %, в медном 9,2–15,04 %. Прогнозные ресурсы меди в запасах и ресурсах железных руд 90 и 60 тыс. т соответственно. Кроме меди и кобальта в отдельных технологических пробах отмечается повышенное содержание золота (0,1–0,2 г/т) и серебра (0,2–1,0 г/т), весьма характерные для медно-кобальтовых комплексных железных руд. Первоочередной задачей является пространственная локализация руд с повышенным содержанием попутных компонентов для возможной их селективной отработки.

Абаканское месторождение находилось в разведке с 1930 по 1980 г., эксплуатируется с 1957 г., как комплексное изучается с 1942 г., когда в сульфидах было установлено присутствие кобальта. С этого времени групповые пробы анализируются на серу, кобальт, никель и медь. В 1959 г. ГКЗ СССР утверждены запасы кобальта в верхних горизонтах месторождения в 18488 т, к настоящему времени они в основном списаны вследствие отработки верхних горизонтов. В 1976–1978 гг. разведкой глубоких горизонтов продолжалось изучение комплексности руд. В 1979 г. на месторождении проводились специальные работы по оценке их золотоносности. Технологические исследования выполняли институты «Механобр», «Уралмеханобр», завод «Сибэлектросталь», Центральная лаборатория

ПГО «Запсибгеология». Для получения пиритно-кобальтового концентрата установлена магнитно-флотационная схема обогащения. Содержание серы в среднем по месторождению 2,5 %, в пиритно-кобальтовом концентрате 45,5 %, запасы серы, подсчитанные в ходе геолого-разведочных работ, 4900 тыс. т по категориям C_1+C_2 .

Среднее содержание кобальта в рудах глубоких горизонтов 0,02 %, в основном кобальтоносном минерале (пирите) – 0,21 %. Высоким содержанием кобальта отличается арсенопирит, встречающийся спорадически. На верхних горизонтах отмечались в значительных количествах собственные минералы: кобальтин, линнеит, глаукодит и др. Содержание кобальта в пиритно-кобальтовом концентрате 0,158–0,60 %, в среднем 0,26 %. Ресурсы кобальта в рудах глубоких горизонтов составляют 21,3 тыс. т. Среднее содержание никеля в рудах месторождения 0,01 %, в его главном носителе – пирите – 0,59 %. Ресурсы никеля оценены в 25,8 тыс. т. Содержание меди в рудах глубоких горизонтов колеблется в широких пределах, в среднем 0,038 %. Основным минералом-концентратом является халькопирит. Содержание меди в медном концентрате 15,2 %. Ресурсы оцениваются в 40,8 тыс. т.

На золото проанализировано более тысячи проб, из которых 270 заверено пробирными анализами. Содержание золота в пробах колеблется в пределах 0,01–7,2 г/т. Наиболее богаты золотом сульфидно-магнетитовые руды в висячем боку рудных тел – по прогнозам 3,0–3,5 г/т. Прогнозные ресурсы золота в железных рудах 5 т. Помимо ресурсов попутных компонентов в рудах, необходимо оценить их ресурсы в отвалах рудничной ДОФ, образовавшихся за время эксплуатации месторождения. По данным А. Р. Левертова, в хвостах сухой магнитной сепарации (СМС) рудничной ДОФ сосредоточено 360 тыс. т серы, около 12 тыс. т кобальта, 5–7 т золота, а также медь и никель. К первоочередным задачам комплексного использования железных руд месторождения относятся:

– оконтуривание блоков с повышенным содержанием комплекса компонентов для селективной отработки;

– экономическое обоснование исключения операции сухой магнитной сепарации на рудничной ДОФ при обогащении из-за потери большой части заключенных в руде попутных компонентов.

Таким образом, при рациональном комплексном освоении эксплуатируемых железорудных месторождений потенциально возможно, кроме железного концентрата, практически дополнительно получить по два крупных месторождения кобальта, одному крупному цинка, одному среднему бора (см. табл. 1). Обращают на себя внимание Шерегешевское месторождение, в котором сосредоточены запасы и ресурсы, эквивалентные потенциально крупным месторождениям цинка и кобальта, и Таштагольское, соответ-



Таблица 2

Железорудные месторождения	Компонент	Прогнозные ресурсы, тыс. т			Прогнозируемый масштаб месторождения	Дополнительные сведения о попутных компонентах в железных рудах
		C ₂ + P ₁ в запасах железных руд	P ₁ +P ₂ в ресурсах железных руд	Всего		
Белорецкое	S	640	–	640	–	В XVIII в. разрабатывалось как Ag-Pb-Cu
	Cu	190	–	190	Мелкое	
Инское	S	1035	275	1310	–	Содержание в сульфидном концентрате одной пробы Cu-0,4 %, Ag – 4,5 г/т. TR – в апатите
	Co	11	3	14	Среднее	
Холзунское	V	460	220	680	Крупное	Учтены балансом запасы золота, урана, висулта
	P ₂ O ₅	5500	2400	7900	–	
	TR	40	20	60	Мелкое	
	S	4760	2240	7000	–	
	Co	35	15	50	Крупное	
	S	7395	3225	10620	–	
	Co	70	10	80	Уникальное	
	Cu	130	55	185	Мелкое	
	Mo	21	10	31	Среднее	
	Ni	0,3	–	0,3	–	
Ампалькское	Bi	1,5	–	1,5	–	По отдельным интервалам содержание Au – до 0,6 г/т, Ag – до 53,4 т. Декоративные мраморы, смолодоломиты
	As	480	–	480	Среднее	
	Au	0,0625	–	0,0625	«	
	Ag	0,233	–	0,308	Мелкое	
	Mn	775	475	1250	«	
	S	2900	1680	4580	–	
	Co	16	10	26	Среднее	
	Cu	120	70	190	Мелкое	
	S	4800	2400	7200	–	
	Co	40	20	60	Уникальное	
Анаасское	Cu	27	13	40	Мелкое	Содержание Au в кварцевой жиле мощностью 5 м до 90 г/т, во вмещающих ее породах до 14 г/т
	Ni	40	20	60	«	
	Au	0,015	0,0075	0,0225	«	
	S	4250	2875	7125	–	
Тагарское	Co	35	15	50	Крупное	По отдельным анализам содержание золота в пириите до 20 г/т. Отмечаются перспективы на бор
	Cu	400	200	600	Среднее	
Талое	S	1800	1750	3550	–	Имеются барит-стронциевые руды. Содержание Ag 3–20 г/т
	Co	10	10	20	Среднее	
Октябрьское	Cu	45	45	90	Мелкое	Имеются барит-стронциевые руды. Содержание Ag 3–20 г/т
	S	300	5075	5375	–	
Капаевское	Cu	165	200	365	Среднее	Имеются барит-стронциевые руды. Содержание Ag 3–20 г/т
	Аметист	–	–	–	–	



ствующее крупному месторождению кобальта. Средние по масштабу потенциальные месторождения имеются на Казском (бора), на Абаканском и Ирбинском (кобальта) месторождениях. Мелкие потенциальные месторождения золота сосредоточены в железных рудах Казского, Абаканского и Краснокаменского месторождений; марганца, меди и цинка на Сухаринском, фосфора – на Коршуновском и Рудногорском, кобальта и никеля – на Коршуновском месторождениях. На большинстве объектов сосредоточены запасы и прогнозные ресурсы серы, эквивалентные средним и мелким месторождениям.

Резервные разведанные железорудные месторождения

В качестве потенциально комплексных рассмотрены Белорецкое, Инское, Холзунское, Ампалыкское, Ташелгинское, Анзасское, Табратское, Тагарское, Талое, Октябрьское, Капавское месторождения (см. рисунок, табл. 2), более полная характеристика приводится для Ампалыкского, Холзунского, Анзасского и Тагарского.

Ампалыкское месторождение с 1954 г. до недавнего времени находилось в разведке. Запасы железных руд на 01.01.83 составляли по категориям В+С₁ 182 млн т, С₂ – 120 млн т. Предварительный пересчет запасов со снижением бортового содержания железа с 25 до 20 % показал, что они могут быть увеличены на 170 млн т, которые следует рассматривать как прогнозные ресурсы. Возможная годовая производительность проектируемого рудника 6 млн т и может быть увеличена до 10 млн т. На месторождении выделяются три типа комплексных руд: пирротин-магнетитовый, железо-редкометалльный и редкометалльный. Каждый занимает обособленное положение в пространстве и может отрабатываться отдельно. Технологические исследования руд проводились в институте «Механобр» и в Центральной лаборатории ПГО «Запсибгеология». Результаты обогащения и характеристика концентратов попутных компонентов приведены в табл. 3. Основной интерес с точки зрения комплексного использования руд представляют железо-редкометалльные и редкометалльные руды.

Железо-редкометалльные руды приурочены к первому рудному телу в пределах участков аномалии II и аномалии III, где присутствуют промышленные концентрации кобальта, золота и висмута. Кобальт концентрируется в сульфидарсенидах, количество которых в этом типе руд достигает 15 %. Среднее содержание кобальта в руде 0,068 %, в коллективном сульфидном концентрате 2,10 %, в мышьяковом и кобальт-висмутовом около 1 %. Прогнозные ресурсы кобальта по данным разведки 51,4 тыс. т. Золото также связано с сульфидарсенидами. Среднее его содержание по месторождению 0,8 г/т при колебаниях 0,2–

70,0 г/т. Содержание золота в концентратах достигает 15,9–93,0 г/т. Подсчитанные Е. Н. Трибунским прогнозные ресурсы золота составляют 61011,7 кг. Висмут связан с висмутином, но, вероятно, содержится и в сульфидарсенидах. Прогнозные ресурсы висмута, по данным Е. Н. Трибунского, 882,3 т. Кроме перечисленных компонентов, прогнозные ресурсы которых определены в ходе разведки, промышленный интерес в этом типе руд могут представлять сера, мышьяк, медь, серебро.

Прогнозные ресурсы серы, при среднем ее содержании 2,27 % можно оценить в 1700 тыс. т; меди, при среднем содержании 0,035 % – 25 тыс. т; мышьяка, при среднем содержании 0,53 % – 400 тыс. т и серебра при среднем содержании 1,15 г/т – 87 т.

Редкометалльные руды локализируются на участке аномалии III между разведочными линиями 3 и 5-а, а также в породах вскрыши. Выделены три рудные зоны, оконтуренные по одному из компонентов при бортовом содержании 0,01 %. Запасы редкометалльных руд, подсчитанные Е. Н. Трибунским, 6244,6 тыс. т, среднее содержание молибдена 0,069 %, кобальта 0,031 %, никеля 0,004 %. Прогнозные ресурсы металлов, подсчитанные при коэффициенте рудоносности 0,8, следует отнести к категории Р₁: молибдена 4325,5 т, кобальта 1571,1 т, никеля 286,5 т.

Кроме перечисленных компонентов, интерес могут представлять сера, мышьяк, золото, серебро, висмут, т. е. те же, которые составляют комплекс полезных примесей в рудах железо-редкометалльного типа. Содержание серы в них 3,4 %, прогнозные ресурсы – 170 тыс. т, мышьяка – 80 тыс. т, в среднем 1,65 %. Содержание меди в рудах в среднем 0,083 %, в медном концентрате – 12,79 %. Прогнозные ресурсы меди при принятом Е. Н. Трибунским коэффициенте рудоносности 0,8 составят 4 тыс. т, среднее содержание золота в редкометалльных рудах 0,3 г/т, в сульфидном, медном и молибденовом концентратах 2,15, 20,1 и 1 г/т соответственно, а прогнозные ресурсы оцениваются в 1500 кг. Среднее содержание серебра в руде по технологической пробе составляет 3,2 г/т, в сульфидном, медном и молибденовом концентратах 12,4, 41,5 и 9,6 г/т соответственно. Прогнозные ресурсы серебра оценены в 16 т. При содержании висмута в руде 0,1 % его прогнозные ресурсы составляют 625 т.

Пирротин-магнетитовые руды идентичны железо-редкометалльным по содержанию компонентов, представляющих промышленный интерес, и таким образом за счет комплексного использования руд этого типа можно не только увеличить общие прогнозные ресурсы компонентов, но и объединить их при отработке и обогащении. Прогнозные ресурсы попутных с железными рудами компонентов Ампалыкского месторождения и распределение их по группам приведены в табл. 3.



Таблица 3

Содержание прогнозных ресурсов и запасов попутных компонентов (тыс. т) в железных рудах Амपालыкского месторождения (категории P_1+C_2)

Компонент	Группа попутных компонентов				Всего
	Пирротин-магнетитовые		Железо-редкометалльные	Редкометалльные	
	в запасах	в ресурсах	в запасах	в запасах	
Сера	5525	3225	1700	170	10620
Мышьяк	–	–	400	80	480
Кобальт	16,5	10	51,45	1,57	80
Никель	–	–	–	0,29	0,3
Медь	100	55	25	4	185
Молибден	16,5	10	–	4,3	31
Висмут	–	–	0,882	0,625	1,5
Золото	–	–	0,061	0,0015	0,062
Серебро	0,13	0,075	0,087	0,016	0,308

Многокомпонентность руд, величина прогнозных ресурсов и запасов попутных компонентов ставят Амपालыкское месторождение на одно из первых мест в ряду потенциально комплексных железорудных месторождений Сибири. Однако изученность его недостаточна и полностью отвечает заключению, к которому пришли специалисты Уралмеханобра в 1982 г. после анализа имеющегося материала: руды до сих пор не исследованы на возможность их комплексного использования.

Следует подчеркнуть, что Амपालыкское месторождение с запасами в 302 млн т и прогнозными ресурсами минимум в 170 млн т находится в исключительно благоприятных экономических условиях. Представляется необходимым провести доразведку и детальное изучение вещественного состава руд с составлением ТЭО их комплексного использования.

Холзунское месторождение на Алтае вместе с Инским и Белорецким входит в состав рудной базы действующего Западно-Сибирского металлургического завода в качестве резерва. Месторождение оставлено на стадии предварительной разведки с запасами по категориям $V+C_1$ 408 млн т, C_2 – 272 млн т. Прогнозные ресурсы до глубины 1000 м оцениваются в 320 млн т, годовая производительность, по последним оценкам СФ института «Гипроруда», при бортовом содержании железа 20 % составляет 12 млн т. Руды высокованадистые и высокофосфористые.

Нами месторождение относится к типу Кируны [5]. Кроме апатитосодержащих железных руд на месторождении распространены апатитоносные породы в составе рудной пачки с содержанием P_2O_5 1,27–11,67 % (среднее 5,02 %). Проведенные технологические исследования рядовых и групповых проб достаточно хорошо характеризуют руды на содержание фосфора. На отдельных участках осуществлено технологическое картирование. Исследованиями, выполненными Технологической лабораторией ПГО «Запсибгеология» и Уралмеханобром, установлена возможность получения апатитового концен-

трата из хвостов магнитной сепарации. Среднее содержание P_2O_5 в железных рудах в среднем по месторождению 0,79 %; максимальное в контурах рудных тел отмечается на аномалии III Тургусунского участка (2,23 %) и по аномалии II (1,42 %). Выявлено увеличение содержания фосфора при уменьшении мощности рудных тел на флангах. В результате обогащения получены апатитовые концентраты с содержанием P_2O_5 22,80–35,12 % и группа некондиционных концентратов (13–16 %).

Для окончательного решения вопроса необходимы дополнительные исследования. Учитывая, что кондиционные концентраты получены из руд с содержанием P_2O_5 0,45–0,52 %, считаем возможным оценить общие ресурсы фосфорного ангидрида в рудах месторождения. При среднем содержании P_2O_5 0,79 % его прогнозными ресурсами оцениваются в запасах и в прогнозных ресурсах железных руд в 5500 и 2400 тыс. т соответственно. Попутное производство апатитового концентрата при производительности предприятия по сырой руде 12 млн т может составить 250 тыс. т с содержанием P_2O_5 более 30 %. С апатитом связаны редкие земли (0,04–0,64 %). При общих ресурсах фосфорного ангидрида 7,9 млн т количество апатита определяется в 20 млн т, а редких земель – в 60 тыс. т, в том числе 40 тыс. т в запасах и 20 тыс. т в прогнозных ресурсах железных руд.

Согласно требованиям промышленности к качеству апатитового сырья при производстве простого суперфосфата содержание P_2O_5 в концентрате должно быть не ниже 29–30 %. При производстве концентрированных удобрений, когда апатитовый концентрат подвергается обработке кислотами, допускается использование исходного продукта с более низким содержанием P_2O_5 при лимите содержания попутных окислов [3]. Общая потребность в фосфатных удобрениях определена СО ВАСХНИЛ для Западной Сибири 1,4 млн т, для Восточной – 1,8 млн т. При этом можно использовать значительное количество фосфатной муки. Таким образом, за счет комплексного освое-



ния Холзунского и некоторых других аналогичных месторождений проблема с фосфатными удобрениями для региона может быть решена.

Вопрос о промышленном значении ванадия (как и фосфора) в магнетите и сравнительной оценке месторождения с крупнейшими зарубежными поставлен нами еще в конце 1960-х гг. Среднее содержание V_2O_5 в руде (13 крупнообъемных технологических проб) составляет 0,068 %; в магнетитовом концентрате (29 проб) 0,27 %, в товарной руде (49 групповых проб) 0,21 %. Прогнозные ресурсы ванадия при подобных содержаниях составят 680 тыс. т, в том числе 460 тыс. т в запасах железных руд. Годовая производительность по магнетитовому ванадийсодержащему концентрату 4,5 млн т. По ресурсам ванадия Холзунское месторождение находится на уровне крупнейших месторождений мира.

Среднее содержание серы в рудах месторождения по данным 360 групповых проб 0,70 % при колебаниях от 0 до 5,8 %. Содержание серы в пиритно-кобальтовом концентрате 32,1–47,3 %, при извлечении ее в концентрат до 83,7 %. Прогнозные ресурсы серы в целом по месторождению оцениваются в 7000 тыс. т при среднем ее содержании 0,70 %, в том числе 4760 тыс. т в запасах железных руд и 2240 тыс. т в ресурсах. При годовой производительности по сырой руде 12 млн т добыча серы при самых неблагоприятных условиях составит 85 тыс. т. Это достаточно для организации крупного предприятия по производству серной кислоты.

Содержание кобальта в железных рудах месторождения и его распределение практически не изучены. Из хвостов магнитной сепарации получены сульфидные, главным образом пиритные концентраты с содержанием кобальта 0,07–0,184 %, при этом кондиционные концентраты получены из руд, содержащих первые тысячные доли процента кобальта. Ресурсы кобальта в железных рудах месторождения при среднем содержании 0,005 % (15 анализов) составят 50 тыс. т, в том числе 35 тыс. т в запасах железных руд. В одной из проб в сульфидном концентрате содержится 0,4 % меди и 4,5 % серебра.

Очевидно, что на месторождении не изучены основные вопросы по возможному комплексному освоению железных руд. Использование кобальта, редких земель, серы и фосфора проблематично, так как содержания всех полезных компонентов находятся на уровне некондиционных и могут быть разубожены в зависимости от выбранной системы отработки. Поэтому необходимо тщательное всестороннее изучение вещественного состава. К этому обязывает положение месторождения в составе резерва рудной базы действующего металлургического завода и его масштабы (самое крупное из месторождений местной рудной базы).

В ТЭО детальной разведки месторождения, выполненного СФ института «Гипроруда» в 1975 г.,

основные технико-экономические показатели рассчитаны без учета комплексного состава руд, что, несомненно, повлияло на дальнейшую судьбу месторождения. Однако в ТЭО имеется совершенно справедливое требование уточнения содержания ванадия, фосфора и других полезных компонентов в железных рудах с целью повышения эффективности освоения месторождения.

Анзасское месторождение с утвержденными ГКЗ СССР запасами 200 млн т, в том числе по категориям А+В+С₁ 151 млн т, С₂ 16 млн т и забалансовыми 32 млн т, прогнозными ресурсами 100 млн т является резервным первой очереди освоения для металлургических заводов Кузбасса. Проект рудника включает отработку открытым способом с производительностью 5 млн т руды в год. Месторождение разведано в начале 1960-х гг. В процессе разведки, а также в результате специальных работ по изучению вещественного состава, особое внимание уделялось кобальтоносности железных руд, связанной с сульфидной минерализацией. В 1975 и 1981 гг. проводились ревизионные работы на золото, проанализировано 499 групповых проб и дана оценка золотоносности железных руд по главным рудным телам месторождения. Технологические исследования комплексности руд выполнены Механобром и Уралмеханобром. Руды обогащались по магнитно-флотационной схеме.

С сульфидами в рудах связаны промышленные концентрации серы, кобальта, меди и золота. Среднее содержание серы в рудах месторождения 2,4 %. Содержания серы в пиритно-кобальтовых концентратах относятся к кондиционным по сере (среднего качества) и достигает от 44,25 %. Прогнозные ресурсы серы по месторождению составляют 7,2 млн т, в том числе 4,8 млн т в запасах железных руд.

Кобальт на 70 % связан с сульфидами, главным образом с пиритом, содержащим до 1,6 % кобальта. Среднее количество кобальта в рудах 0,02 %, в пиритно-кобальтовом концентрате 0,28 %. Ресурсы кобальта оценены в 30 тыс. т и рассматриваются как «теоретически извлекаемые». Прогнозные ресурсы кобальта в недрах при установленных параметрах нами оцениваются в 60 тыс. т, из них 40 тыс. т в запасах железных руд. Содержание меди в рудах составляет сотые доли процента, присутствие ее связано с халькопиритом, частично с пиритом (до 0,08 %); в пиритно-кобальтовых концентратах 0,24–1,10 %, т. е. на уровне используемых промышленностью, что дает основание для оценки ресурсов меди. Ресурсы меди при выходе сульфидной фракции 12,37 % и содержании в ней меди 0,108 % можно оценить в 40 тыс. т, из них 27 тыс. т в запасах железных руд. Среднее содержание никеля в сульфидной фракции 0,166 %. Исходя из этого значения и выхода сульфидной фракции, можно оценить прогнозные ресурсы никеля в 60 тыс. т, из них 40 тыс. т в запа-



сах железных руд. В ходе специальных работ на золото установлено, что при среднем содержании золота в пирите 0,66 г/т и суммарном выходе сульфидного концентрата 22,7 % прогнозные ресурсы золота составят около 15 т. Особый интерес представляет северо-восточный фланг месторождения (участок Медвежий Лог), в пределах которого содержание золота в кварцевой жиле достигает 90 г/т, а во вмещающих окварцованных и сульфидизированных породах – 14 г/т. Положительные перспективы месторождения на золото можно увязать с большим количеством отработанных золотых россыпей в районе и в рудном поле месторождения.

В Кодинскую группу месторождений в Ангарской железорудной провинции входят **Тагарское** (наиболее крупное и лучше всех изученное), Огненское, Талое I, Восток, Пихтовое. Детальная разведка завершена в начале 1970-х гг. Запасы утверждены ГКЗ СССР в количестве 263 млн т по категориям А+В+С₁, 251 млн т по положению вне контуров карьера отнесены к забалансовым. Годовая производительность единого для месторождений Кондинской группы ГОКа проектировалась на 7,5 млн т. Руды месторождения представлены двумя технологическими разностями (первичными магнетитовыми и вторичными гетит-гидрогетитовыми), в которых содержатся в промышленных концентрациях компоненты, связанные с сульфидами (кобальт, медь и сера). Технологические исследования комплексных руд проводились на заводе «Сибэлектросталь».

Среднее содержание кобальта по данным технологического опробования в первичных рудах 0,0063 %, во вторичных 0,0083 %. Содержание кобальта в пиритно-кобальтовом концентрате колеблется в пределах 0,17–0,354 % (в среднем 0,25 %), т. е. из руд получен кондиционный кобальтовый концентрат. Прогнозные ресурсы кобальта в запасах первичных руд оценены в 23 тыс. т, вторичных 12 тыс. т, в прогнозных ресурсах железных руд в 15 тыс. т, т. е. всего 50 тыс. т.

Среднее содержание меди в рудах по многочисленным технологическим пробам в окисленных рудах 0,083 %, в первичных 0,026 %. Количество меди в медном концентрате 11 % при извлечении 37,8 %. Прогнозные ресурсы меди оцениваются в 600 тыс. т, из них 400 тыс. т в запасах железных руд. Прогнозные ресурсы серы при среднем содержании 1,15 % в первичных рудах составят 4250 тыс. т, а в прогнозных ресурсах – 2875 тыс. т. Кроме того, на месторождении возможно обнаружение бора и золота. Содержание последнего по отдельным анализам пирита достигает 20 г/т.

Следовательно, при рациональном комплексном освоении **разведанных резервных железорудных месторождений** потенциально можно

открыть два уникальных и два крупных месторождения кобальта, одно крупное ванадия, два средних месторождения кобальта, два средних и пять мелких меди; одно среднее и одно мелкое золота; одно среднее молибдена, мелкие – никеля, висмута, мышьяка, серебра, марганца, фосфора, средние и мелкие серы (см. табл. 2). Среди разведанных резервных железорудных месторождений наиболее перспективны в отношении комплекса попутных компонентов:

- **Ампалыкское** (содержит прогнозные ресурсы и запасы, эквивалентные по масштабу уникальному месторождению *кобальта*, средним месторождениям *молибдена*, *висмута*, *мышьяка* и *золота*; мелким-серебра и меди);
- **Холзунское** (соответствует крупным месторождениям *ванадия* и *кобальта*, мелким фосфора и редких земель);
- **Анзасское** (эквивалентно уникальному месторождению *кобальта*, мелким меди, никеля и золота);
- **Тагарское** (соответствует крупному месторождению *кобальта*, среднему *меди*).

Выводы

Комплексное освоение железорудных месторождений Сибири может привести к открытию месторождений, в том числе крупных, цветных, благородных, редких, черных металлов, горно-химического сырья, значительно (в разы!) повысить рентабельность разработки месторождений железных руд и получения конечной продукции черной металлургии, устранить или ослабить отрицательное воздействие отходов металлургического производства на окружающую среду.

Подчеркнем, что использование минерального сырья комплексно – это не временное явление, а устойчивая тенденция развития всей горнорудной промышленности мира, поэтому указанная проблема для сибирских железорудных месторождений требует быстрее решения. Ее решение в значительной степени снимает экологическую проблему промышленных центров, перерабатывающих железорудное сырье.

Анализ материалов по попутным компонентам в железных рудах месторождений Сибири показал, что в силу разных причин, главным образом из-за давности разведки и ввода объектов в эксплуатацию, месторождения даже с утвержденными запасами попутных компонентов не отвечают современным требованиям к изученности комплексных месторождений, тем более что руды анализировались на ограниченный набор элементов. *Приступить к комплексному использованию железных руд и месторождений невозможно, не решив главных задач геологического, технологического, экономического, стратегического и политического характера.*

Геологические задачи – детальное изучение вещественного состава руд с применением



современных приборов, оборудования и методик, максимально полное установление попутных компонентов в рудах, закономерностей их содержания и распределения.

Технологические – создание малоотходных и безотходных технологий, основывающихся на усовершенствовании действующих и разработка новых эффективных методов извлечения компонентов, комплексное геолого-технологическое моделирование месторождений и др.

Экономические – оценка целесообразности извлечения и комплексного использования попутных компонентов в рудах, изучение их спроса, конъюнктуры, рыночной стоимости, областей применения, затрат на модернизацию обогатительных фабрик и строительство новых объектов, усовершенствование экономического стимулирования комплексного использования руд и др.

Стратегические – перспективное планирование освоения месторождений, строительство новых заводов и обогатительных фабрик, модернизация действующих предприятий и др.

Политические – переход на интенсивный путь развития геологической, добывающей и перерабатывающей отраслей промышленности, касающихся минерально-сырьевых ресурсов.

Месторождение, признанное комплексным, должно разрабатываться комплексно. Принимая во внимание важность скорейшего воплощения на практике глубокой переработки минерального сырья, необходимо разработать соответствующую межотраслевую программу с учетом высокой наукоемкости проблемы и значительных капитальных вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Быховский, Л. З.** Комплексная оценка месторождений – основа рационального использования минерально-сырьевых ресурсов [Текст] / Л. З. Быховский, В. И. Воропаев // Минеральные

ресурсы России. Экономика и управление. – 2004. – № 32. – С. 16–20.

2. **Виноградов, В. Н.** Экономическая оценка комплексного минерального сырья [Текст] / В. Н. Виноградов. – М. : Недра, 1978. – 223 с.

3. **Геология** месторождений апатита [Текст] / Гл. ред. А. С. Зверев. – М. : Недра, 1980. – 267 с.

4. **Кассандров, Э. Г.** Комплексная оценка железных руд в Центрах экономического развития Сибири и Дальнего Востока в соответствии с инновационной стратегией глубокой переработки минерального сырья [Текст] / Э. Г. Кассандров // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 3(11). – С. 75–89.

5. **Кассандров, Э. Г.** О комплексном использовании железных руд Холзунского месторождения в Горном Алтае и перспективах создания на его основе крупного горнорудного предприятия [Текст] / Э. Г. Кассандров // Оценка, прогнозирование, рациональное использование и охрана минеральных ресурсов. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 95–98.

6. **Комплексное** использование сульфидно-магнетитовых руд в СССР [Текст] / В. Н. Комлев, С. А. Кулигин, Н. С. Ревзина [и др.] // Бюл. НТИ. Черная металлургия. – 1982. – Вып. 5(913). – С. 3–24.

7. **Манохин, А. И.** Научные основы рационального использования рудных ресурсов [Текст] / А. И. Манохин, В. Н. Резниченко // Вестн. АН СССР. – 1982. – № 6. – С. 97–105.

8. **Орлов, В. П.** Задачи изучения и использования комплексных скарново-магнетитовых руд Сибири [Текст] / В. П. Орлов // II Всесоюзная конференция по комплексному использованию руд и концентратов : тез. докл. Ч. I. – М. : Изд-во АН СССР, 1982. – С. 102–103.

9. **Ферсман, А. Е.** Комплексное использование ископаемого сырья [Текст] / А. Е. Ферсман. – Л. : Изд-во АН СССР, 1932. – 20 с.