

Реферат

Бакалаврская работа содержит 95 страниц, 25 таблиц, 9 рисунков, 27 источников.

Ключевые слова: торф, железная руда, металлическое железо, двухвалентное железо, степень металлизации.

Объектом исследования являются образцы 397-М4 торфяного месторождения Васюганское, уч.5 у с. Кр. Бакчар, п. "Осока".

Цель работы – определить влияние состава торфорудных материалов на восстановление бакчарской железной руды. Определение общего (валового), двухвалентного и металлического железа в образцах 397-М4 торфяного месторождения Васюганское, уч.5 у с. Кр. Бакчар, п. "Осока".

Объектом исследования была руда Бакчарского железорудного месторождения, добытая методом гидродобычи

Для восстановления железа из руды использовались торфа с Васюганского месторождения. Образцы относятся к пластообразующим торфам, занимающим основной объем торфяных залежей. Запасы таких торфов можно считать реальным сырьем для производства по прямому восстановлению Бакчарских руд.

Содержание

Введение

1. Обзор литературы

1.1. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения

1.2. Зеленовато-серые с бурым или буроватым оттенком неявно слоисто комковатые, комковато-брекчевидные глинисто-микроолитовые железняки

1.3. Темно-бурый кристаллическизернистый оолитовый (гетитгидрогетитовый) железняк

1.4. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, томская область

1.5. Современное состояние железорудной базы Урала и Сибири

2. Аналитический обзор

2.1. Развитие прямого восстановления в России

2.1.1. Развитие бескоксовой металлургии в СССР

2.2. Методические проблемы определения экономической эффективности развития бескоксовой металлургии

2.2.1. Народнохозяйственные функции развития бескоксовой металлургии

2.2.2. Отраслевые функции развития бескоксовой металлургии

2.2.3. Региональные функции развития бескоксовой металлургии

3. Объект и методы исследования

3.1. Характеристика объекта исследования

3.2. Подготовка образцов для исследования.

3.3. Методика работы

3.3.1. Подготовка образца

3.3.2. Растворение

3.3.3. Восстановление железа до Fe^{2+}

3.3.4. Титрование восстановленного раствора железа

3.4. Методика определения железа двухвалентного (закись) в продуктах прямого восстановления

3.4.1. Фазовое состояние железа в продуктах прямого восстановления

3.4.2. Выполнение анализа

3.5. Методика определения железа металлического в продуктах прямого восстановления.

3.6. Расчет степени восстановления и степени металлизации

4. Результаты проведенных исследований

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение

5.1. Предпроектный анализ

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.3 SWOT-анализ

5.2 Инициация проекта

5.2.1 Организационная структура проекта

5.3 Бюджет научного исследования

5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных(экспериментальных) работ

5.3.3 Расчет затрат на электроэнергию

5.3.4 Расчет заработной платы исполнителей темы

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

5.3.6 Накладные расходы

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно исследовательского проекта

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

6. Социальная ответственность

6.1. Техногенная безопасность

6.1.1 Вредные вещества

6.1.2 Освещение

6.1.3 Микроклимат

6.2 Анализ опасных факторов

6.2.1 Термические опасные факторы

6.2.2 Электрические опасные факторы

6.2.3 Пожаровзрывоопасный фактор

6.3 Экологическая безопасность

6.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

6.5 Особенности законодательства

6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Заключение

Список используемой литературы

Введение

Освоение Бакчарского железорудного месторождения Томской области позволит надолго обеспечить потребности металлургических заводов Южного Урала и Западной Сибири в товарной железной руде. В настоящее время доменные печи Кузбасса работают на агломерате с содержанием железа 54,3 % (Абагурская аглофабрика) и 56,1 % (Западно-Сибирский металлургический завод). Исходным сырьем для аглофабрик служат магнетитовые концентраты Горно-Шорского железорудного района с содержанием железа 56,4...61,2 % [1] и концентраты магномагнетитовых руд Коршуновского горнообогатительного комбината (Иркутская область) с содержанием железа 63 % [2].

Бакчарские бурые железняки также требуют подготовки (обогащение и окускование) перед использованием в доменных печах. Из 6 известных типов руд Бакчарского месторождения наиболее распространены плотные и рыхлые гетито-гидрогетитовые разновидности со средним содержанием железа 38...42 % [3]. По своему составу они близки к бурым железнякам Аятского и Лисаковского месторождения, на базе которого работает Лисаковский горнообогатительный комбинат [1], выпускающий концентрат гравитационно-магнитного обогащения (Февал=49 %) и концентрат обжиг-магнитного обогащения (Февал=62%) для Карагандинского металлургического комбината (Казахстан). Таким образом, исходная бакчарская руда с содержанием общего железа 38...42 % должна быть обогащена до содержания общего железа 49...62 %, если ориентироваться на выплавку чугуна в доменных печах сибирских заводов.

Одним из вариантов переработки Бакчарской железной руды является полная или частичная металлизация обогащенной руды торфом в процессах прямого восстановления с последующим металлургическим переделом в доменных или сталеплавильных печах. Работы в этом направлении проводятся в ТПУ (кафедра химической технологии топлива). В лабораторных условиях получены торфорудные материалы (ТРМ) из

необогатенной бакчарской руды, имеющие достаточно высокую механическую прочность в воздушно-сухом состоянии [4]. Приготовление ТРМ заключается в смешивании влажной торфомассы с мелкодисперсной рудой. При этом торф выступает как связующее вещество. Образование прочного кускового материала происходит в процессе сушки сформированной сырой торфоминеральной массы. Таким образом, получение ТРМ не требует ни высоких температур, как в агломерации, ни высоких давлениях, как при брикетировании.

Конец 2009 г. для томской геологии ознаменовался весьма значимым событием – завершением разведки и подсчета запасов железных руд в пределах Западного участка Бакчарского месторождения. К сожалению, это событие омрачилось рядом перебитий, рожденных в далеких от геологии инстанциях, что не умаляет значимости выполненной геологической работы – представления в ГКЗ первых промышленных запасов бакчарской руды, которые более полувека считались прогнозными и не имели геолого-экономического статуса месторождения. Между тем, подсчетом запасов руд, сопровождаемым определенным уровнем изучения месторождения, тем более такого гиганта, как Бакчар, дело не ограничивается. За рамками нередко остаются вопросы более углубленного изучения геологии, вещественного состава и фациальных условий образования руд, которые нередко имеют дискуссионный характер. Сотрудники ТГУ на протяжении ряда последних лет (2005-2010 гг.) в рамках инициативной тематики и х/д занимались планомерным изучением геологии и вещественного состава бакчарских руд и периодически освещали полученные результаты в печати.

В основополагающих сводках по геологии и условиям формирования руд Западно-Сибирского железорудного бассейна (ЗСЖБ) в целом и Бакчарского месторождения, в частности, единодушно отмечалось, что накопление железорудных горизонтов происходило в условиях активного проявления тектоники обрамления и внутренних областей Западно-Сибирской плиты (ЗСП). При этом в работе (Западно-Сибирский, 1964)

указывалось, что накопление железорудных горизонтов происходило в ходе последовательных трансгрессийрегрессий. Для всего ЗСЖБ насчитывается семь циклов, каждому из которых соответствует определенный горизонт железоруденения.

Цель работы – определить влияние состава торфорудных материалов на восстановление бакчарской железной руды. Определение общего (валового), двухвалентного и металлического железа в образцах 397-М4 торфяного месторождения Васюганское, уч.5 у с. Кр. Бакчар, п. "Осока".

1. Обзор литературы

Для Бакчарского рудного узла описывает только четыре горизонта, которые вместе с содержащими их свитами относит к единой трансгрессивной серии. Привлечение данных по палеонтолого-стратиграфическому расчленению бакчарского разреза, полученных специалистами НИЛ Микрорудологии ТГУ под руководством профессора В.М. Подобной (Подобина и др., 2005), позволило нам подтвердить его трансгрессивно-регрессивный характер и формирование нарымского, колпашевского, усть-тымского и бакчарского железорудных горизонтов на пике серии трансгрессий, сменявшихся резкими регрессиями (Гринев и др., 2006; 2007). Однако выяснение трансгрессивно-регрессивной цикличности накопления железозоносных горизонтов само по себе не объясняет отмечаемой предшественниками тектонической активности зоны железонаносления ЗСЖБ. Тем не менее, по их данным разрезы поисковых скважин и документация керн свидетельствуют об определенной расчлененности дна зоны железонаносления и скопления железозоносных растворов и коллоидов в локальных ложбинах, впадинах и других неровностях рельефа морского бассейна, чередуемых с поднятиями.

Отмечались также брекчиевые структуры бакчарских руд, что в условиях полого погружающегося к центру Бакчарской впадины дна мелководного морского бассейна требует своего объяснения. Анализ разрезов, составленных по скважинам на Восточном и Западном участках месторождения, однозначно показывает на то, что неровности морского дна в пределах полосы (зоны) железоруднения действительно присутствуют и наиболее резко проявлены в поперечных разрезах, тогда как в направлении, совпадающем с простиранием ЗСЖБ эти неровности проявлены минимально. Поиск аналогов подобных явлений в строении плитно-синеклизных бассейнов седиментации в отечественной и зарубежной литературе, а также привлечение новых данных, полученных в ходе разведочных работ на месторождении, привел нас к следующему выводу.

Для ЗСП рубеж нижнего и верхнего мела отмечен вторым (после верхнеюрского) этапом некомпенсированного осадконакопления, который может быть обусловлен как повышением интенсивности погружения палеозойского ложа мегасинеклизы, так и назревшими диагенетическими преобразованиями юрско-нижнемеловых толщ – их уплотнением, литификацией, отжатию диагенетических и катагенных вод и др. В условиях последовательной серии трансгрессивно-регрессивных циклов, послуживших дополнительным и существенным фактором скачкообразного ускорения отмеченных процессов, верхнемеловое ложе бассейна, с накопленными к тому времени юрско-нижнемеловыми толщами, было, по-видимому, расчленено по типу листрических сбросов и системы разрывов домино.

Формирование подобной совокупности структур способно объяснить многие особенности строения железноносных горизонтов ЗСЖБ и самих железных руд. При этом в строении и составе этих горизонтов и руд, несомненно, должны сохраниться следы проявления подобных процессов. Структурно-текстурные особенности основных типов железных руд Бакчарского месторождения.

Детальное изучение керна эталонных скважин месторождения, полностью вскрывших рудоносные горизонты, позволило установить, что в генетическом плане железные руды Бакчара представлены двумя контрастными типами: зеленовато-серыми глинисто-микроолитовыми и темно-бурыми, бурыми сцементированными оолитовыми гетит-гидрогетитовыми железняками. Между ними располагаются промежуточные разновидности или подтипы в разной степени (от интенсивной до частичной) затронутые наложенными преобразованиями (выветриванием, окислением, разрушением волновой эрозией и др.), которые послужили источниками оолитового материала для формирования сыпучих (перемытых) железных руд месторождения.

Сводное описание установленных двух основных или исходных генетических типов Бакчарских руд заключается в следующем.

1.2. Зеленовато-серые с бурым или буроватым оттенком неявно слоисто комковатые, комковато-брекчевидные глинисто-микроолитовые железняки

Макроскопически все образцы имеют темную зеленовато-серую окраску нередко с буроватым оттенком. Интенсивность буроватого оттенка меняется от слабого до насыщенного, что зависит от процентного содержания оолитов в основной массе и степени выветрелости образца. Иногда в породе присутствуют вкрапления белого минерального вещества и черного растительного углифицированного детрита. Текстуры руд в целом скрыто- и явно неоднородные. Практически во всех образцах неоднородность выражена в присутствии участков с различной концентрацией оолитов: выделяются участки с преобладанием оолитов над основной массой (сгущение оолитов) и участки, состоящие практически из одной глинистой основной массы (без видимых оолитов). Визуально наиболее четко выделяются участки лишенные (или практически лишенные) оолитов. Они имеют вид небольших прослоев, линзочек, псевдопрожилков, угловатоизометричных образований, стяжений неправильной формы и часто формируют пятнистую, линзовидно-пятнистую текстуру образца. Их размеры составляют от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

В целом эти образования (особенно мелкие изометричные) расположены в породе хаотично и не образуют выраженных плоскостей и других закономерных структурных особенностей, а лишь редкие более или менее крупные линзочки и прослойки, а так же тневые «обломки» с общим их простиранием примерно перпендикулярным оси зерна. Они слагаются более плотной глинистой массой, отличной по консистенции от матрикса пород, вмещающего оолиты. Кроме того, в образцах просматривается общее комковатое и реже брекчевидное строение матрикса руд, о чем свидетельствует очень неровная, бугристая поверхность их сколов, наличие явных и тневых брекчиевых и брекчевидных текстур. Иногда отчетливая брекчиевая или брекчевидная текстура проявлена в наличии очевидных кластогенов, в качестве которых выступают угловатые или угловато-

уплощенные включения глинистых зеленоватых пород, лишенных оолитов. В породах – рудах отсутствует четко выраженная слоистость. Вместо нее часто отмечаются скрыто слоистые и неявно слоистые текстуры. Они выражены в присутствии невыдержанных прослоев, линзочек, сгущений, комков с повышенной концентрацией оолитов (оолитовые «прослои»), которые являются ослабленными плоскостями и по ним обычно происходит раскалывание керна.

Они простираются примерно перпендикулярно оси керна, фрагментарно просматриваются их волнистые ограничивающие поверхности и иногда изгибы. Часто слоеобразные скопления матрикса с оолитами невыдержанны по простиранию, прерывисты и развиты в виде множества отдельных участков, фрагментарно очерчивающих общую принадлежность к единому слою. Толщину слойков определить сложно, т.к. на боковой поверхности керна их четко выраженных границ не наблюдается, примерно она составляет 1 – 3 см. В некоторых образцах слоистоподобная текстура, выражена в присутствии разреженного гравийного прослоя, который также не имеет четко выраженных ограничивающих поверхностей. Скрытослоистое строение породы проявляется также в однотипном раскалывании керна молотком, хотя макроскопически выраженных признаков слоистости в образцах не наблюдалось. В целом порода состоит из оолитов, вмещающей их глинистой основной массы и того или иного количества кластогенного материала зеленоватых глинистых пород, не содержащих оолитов. Во многих образцах присутствует так же терригенная составляющая, которая в большинстве случаев представлена в незначительном количестве и лишь иногда играет значительную роль.

В части образцов присутствует органическая составляющая, которая представлена единичными находками растительного углефицированного детрита, но в отдельных случаях она присутствует в повышенных количествах. Оолиты преимущественно имеют мелко-, среднезернистую размерность, редко встречаются единичные оолиты крупнозернистой

размерности. Лишь в отдельных образцах присутствуют средне-крупнозернистые оолиты, а также отдельные их индивиды грубозернистой размерности. Оолиты имеют буроваточерную окраску. Основная масса или матрикс пород имеет серовато-темнозеленый цвет и заполняет пространство между оолитами. Порода в основном имеет среднюю крепость, иногда немного выше, иногда ниже и постепенно осыпается, разрушается от прикосновения. Под биноклем отмеченные составные части этого типа руд дополнительно характеризуются следующими чертами строения и состава. Буроватый цвет породы обусловлен присутствием в ней оолитов, которые, по-видимому, в процессе выветривания или других преобразований приобрели буроватую окраску. На свежих сколах образца оолиты имеют черный цвет, а подверженные изменениям – бурый, охристо-рыжий. Процессу выветривания более подвержены оолиты меньшей размерности. Поверхность оолитов блестящая, отполированная. Интенсивность блеска уменьшается от черных к бурым и рыжим. Оолиты имеют размер от 0,1 до 2 мм (очень редко 3 мм), в среднем 0,30,5 мм. Иногда наиболее крупные оолиты имеют агрегативное строение. Основная масса – матрикс – представлена зеленовато-серым, рыхловатым, аморфным, глинистым агрегатом, определяющим цвет породы. Часто в серой глинистой основной массе встречаются угловатые, полуокатанные зеленые (глауконитовые) обломки и трещиноватые агрегаты размером от 0,2 до 0,5 мм.

Оолиты расположены в основной массе преимущественно неравномерно: отмечаются участки с высокой концентрацией оолитов – до 90 %, но есть участки, где они отсутствуют. Среднее содержание оолитов варьирует от 40 % до 80 %, в среднем 50 – 60 %. Терригенная примесь в основном присутствует в незначительном количестве (менее 5 %) и представлена обломками размерностью в среднем 0,2-0,3 мм и 1 мм. Характерно, что более мелкие обломки (в среднем 0,2 мм) имеют неокатанную, угловатую форму, а более крупные (в среднем 1 мм) – полуокатанную. Кварц представлен в основном желтой, реже белой,

прозрачной и полупрозрачной разностями. В отдельных случаях появляется белый непрозрачный угловатый кварц размерами до 1 мм. Так же отмечены единичные находки предположительно розового прозрачного кварца размером 0,5 мм. В образцах терригенная составляющая представлена гравием размером от 2 до 10 мм, в среднем 5 мм. По степени окатанности обломки здесь варьируют от хорошо окатанных до полуокатанных. Гравий представлен преимущественно окварцованными породами и кварцитами. Он образует небольшие скопления или единичные зерна. Кроме того, в этом образце встречаются единичные чешуйки слюды (мусковит) размерностью 0,5-1 мм. В нескольких образцах обнаружены единичные предположительно растительные углифицированные органические фрагменты уплощенной формы размерами в среднем 0,3-0,5 мм.

Они имеют уплощенную, чешуйчатую и пластинчатую вытянутую форму, размеры до 5 мм и черный блестящий цвет. В породе периодически наблюдаются аморфные включения смоляночерного блестящего вещества, внешне схожего с битумом. В этом прожилке, а также и на поверхности всего образца, имеются вкрапления смоляночерного блестящего битуминоида.

В некоторых образцах присутствуют образования, явно представленные в виде обломков ранее сформировавшихся пород, попавших в рудогенерирующий осадок в момент его накопления. Они распространены в породе хаотично и имеют преимущественно четкие границы с основной ее массой, размеры их от 2 до 10 мм. Большинство их лишено оолитов. В редких случаях оолиты присутствуют в них в небольшом количестве. Кластогенные включения имеют форму остроугольных неокатанных обломков, небольших линзочек или прожилковидных выделений.

1.3. Темно-бурый кристаллическизернистый оолитовый (гетитгидрогетитовый) железняк

Бурые железняки разделяются по крепости на сцементированные полнокристаллические, которые не затронуты процессами «выветривания» и окисления, либо изменены не сильно и сыпучие, которые в процессе

выветривания утратили свою крепость, кристалличность и превратились в ржавую желтоватосветлокоричневую рыхлую массу. Цементированные кристаллическизернистые бурые железняки имеют массивное слабо проявленное грубослоистое строение. Местами эта слоистость отмечается лишь по директивному расположению перпендикулярно оси керна редких уплощенных галек. Порода в сухом состоянии имеет бурый, темно-бурый цвет, во влажном – более темный, почти черный цвет, с буроватым оттенком. Оолиты бурой и светло-коричневой окраски с матовой или блестящей поверхностью и размерами от 0,2-0,5 до 0,5-1 мм. Также встречаются оолиты с размерностью до 2-3 мм. Содержание оолитов варьирует от 70 до 90 %. По составу цемента порода варьирует от карбонатно-гипсового кристаллического до глинисто-железистого аморфного. Вариации в содержании цемента 10-30 %. Тип цемента поровый и базально-поровый. В породе редко разбросаны уплощенные и окатанные гальки, которые, так же как и большая часть оолитов, имеют блестящую поверхность. Встречаются так же угловатые или неправильной формы гальки со сглаженными выступающими углами. Гальки имеют директивную ориентировку уплощенности, подчеркивающую слабо проявленную слоистость породы (руды). Процентное содержание терригенного материала варьирует от 5-7 % до 1 % и менее. В гальках наблюдаются кварциты, разного рода кремнистые образования белого, розоватого, темно-серого, до почти черного, цветов окраски. Рыхло-сыпучие железняки по причине разрушенности утратили первичные структурно-текстурные признаки.

Петро-геохимические особенности основных типов железных руд петрохимические особенности. Согласно данным предшественников (Западно-Сибирский ..., 1964) в пределах Бакчарского месторождения установлено шесть типов железных руд. Анализ данных руд показывает на то, что наиболее широкие вариации в содержании петрогенных оксидов характерны для: общего железа (26,8-41,56 %, среднее – 38,53 %); для окисного железа (1,77-31,64 %, среднее – 10,69 %); для закисного железа

(10,39-56,61 %, среднее – 43,17 %); и кремнезема (15,6833,00 %, среднее – 21,33 %). В ограниченных количествах в рудах присутствуют Al_2O_3 (2,19-5,01 %, среднее – 3,76 %); CaO (0,4-2,34 %, среднее – 0,41 %); MgO (0,28-1,08 %, среднее – 0,64 %); R_2O (0,58-1,59 %, среднее – 0,94 %); TiO_2 (0,27-0,40 %, среднее – 0,20 %). Значительными являются содержания летучих компонентов. Так П.П.П. составляют 11,54-28,47 %, среднее – 15,38 %; CO_2 – 1,32-27,32 %, среднее – 6,6 %; H_2O гидратная + органика – 1,15-11,11 %, среднее – 8,78 %. Таким образом, основными компонентами всех типов руд являются окисное и закисное железо (с преобладанием то одного, то другого), кремнезем и летучие (CO_2 , вода гидратная и органика).

Наличие двух основных петрохимических разновидностей железных руд Бакчара – окисных (V и IV типы) и закисных (I – IV типы). Окисные руды содержат минимум CO_2 (1,32 – 1,47 %), но максимум воды (8,21 – 10,19 %), а закисные, наоборот, содержат максимум CO_2 (11,79 – 27,32 %) и минимум воды (1,15 – 6,45 %). Корреляция петрохимических типов руд с их количественно минералогическим составом позволяет установить, что основными концентраторами железа являются оолиты и в меньшей степени сидерит и сидеритовый цемент; повышенные содержания кремнезема дает терригенная примесь кварца, кварцитов и полевых шпатов, а фоновое содержание кремнезема в рудах дают гидросиликаты цемента и матрицы руд. Отмеченные особенности связи петрохимического и количественно-минералогического составов в основных типах бакчарских руд. Наиболее богатыми из них являются руды, сложенные, главным образом, шамозитгидрогетитовыми оолитами (закисный тип).

В 2009 г. опубликовал результаты петрохимических исследований оолитовых железных руд России и стран СНГ Г.Б. Князев (2009). Основные выводы его работы говорят о том, что бакчарские железные руды вполне соответствуют среднему типу оолитовых железных руд бывшего СССР. Все они делятся на три условных типа: оксидные, силикатные и карбонатные. Главные факторы, определяющие состав руд, определены им как

терригенное (F2) и хемогенное (F1) осадконакопление. При этом в оксидных рудах доминируют подтипы FeO и Fe₂O₃; карбонатные руды определяются активностью П.П.П., CaO, MnO и Fe₂O; силикатные руды определяются активностью SiO₂ и Al₂O₃. С учетом того, что примесь терригенного материала в рудах изученных нами разрезов была минимальна, а привнос терригенного материала лишь разубоживает первичную хемогенную субстанцию, порождающую оолитовые железные руды, но не создает ее, исследования Г.Б. Князева (2009) вполне согласуются с нашими выводами о наличии двух исходных типов железных руд на Бакчарском месторождении.

Геохимические особенности основных типов железных руд. Применение современных прецизионных аналитических методов позволяет несравнимо более точно определить содержание и особенности распределения широкого спектра микроэлементов в бакчарских рудах.

В первую группу с максимальной концентрацией микроэлементов (от 928 до 2500 г/т) входят элементы-спутники железа – Ti, V и Mn. Вторая группа с содержаниями от 172 до 220 г/т представлена В, Cr, Zn, Ва, Се, которые характеризуются смешанной геохимической специализацией (рассеянные, рудные, акцессорные). Третья группа с содержаниями от 31,4 до 103,4 г/т имеет еще более сложный состав геохимической специфики и представлена Li, Y, Co, Se, Ni, Rb, Sr, Zr, Nd, Pb. Четвертая группа с содержаниями от 1,62 до 17,4 г/т является наиболее многочисленной и сложной по составу – Ho, Hf, Sn, Tb, Ge, W, U, Sb, Eu, Be, Cr, Yb, Er, Mo, Nb, Dy, Ga, Sm, Th, Cu, Gd, Pr. Пятая группа содержится в количествах от 0,0908 до 0,572 г/т и представлена Cd, In, Ag, Tl, Bi, Lu, Ta, Tm.

Таким образом, для двух основных типов руд Бакчара характерен весьма широкий и пестрый по составу перечень микроэлементов с выраженным доминированием сидерофилов, целого ряда редких, рудных, всего спектра редкоземельных, щелочноземельных и радиоактивных элементов. Характер ломанных кривых на спайдерграмме позволяет отметить следующее. На левом фланге спайдерграммы (от Li до Nb) кривые

зеленоватосерых и бурых оолитовых руд практически идентичны друг другу. Имеются лишь некоторые различия в содержании Li, B, Ti, Mn, Ge, Rb, Sr. В средней части спайдерграммы наблюдается заметная разница в конфигурации кривых, обусловленная существенными различиями в содержании Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs и Ba. В бурых оолитовых рудах содержания этих микроэлементов заметно выше нежели в зеленовато-серых. Для интервала спайдерграммы от Ba до Sm конфигурация кривой снова близка к идентичной. А правый фланг спайдерграммы, начиная от Sm и до Tl, характеризуется примерно одинаковым уровнем содержаний для Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta и W в бурых рудах и пропорциональным постепенным уменьшением их в этом ряду у зеленовато-серых руд. Крайняя правая часть спайдерграммы в ряду микроэлементов от Pb до U характеризуется однотипностью кривой, но заметной дисперсией содержаний Tl, Bi и U. В целом подобное распределение содержаний микроэлементов может быть охарактеризовано как близкое к однотипному, свидетельствующему о генетическом родстве сравниваемых типов железных руд, но для которых имеются заметные различия в накоплении Li, Ge, Rb, Sr, Mo, Ag, Gd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, а также Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Bi и U. Как видим, в этот ряд в основном входят щелочноземельные, рудные, редкоземельные и редкие микроэлементы, которые, как следует предполагать, отражают специфику формирования зеленовато-серых и бурых оолитовых железных руд при доминирующей общности их происхождения, просматриваемой достаточно уверенно. Для целей сравнения средних составов зеленовато-серых и бурых оолитовых железных руд с формационно- и фациально близкими, а также и разнотипными образованиями, полученные геохимические данные были нормированы по содержаниям микроэлементов в морской воде, осадочных породах (глинах и сланцах) и среднему составу пород земной коры. Анализ этих спайдерграмм позволил установить следующие черты геохимического сходства – различия. Нормирование микроэлементного состава руд по средним составам глин и

сланцев так же уверенно фиксирует обогащенность их по всем анализируемым элементам, но с заметно меньшей разницей, нежели при сравнении сморскими водами. Наиболее резкие положительные пиковые содержания здесь характерны для Sc, V, Zn, Ge, Y, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Eu, Tb, Ho, La, Tl, Bi. Наиболее низкие содержания отмечаются для Li, Ti, Cu, Ga, Rb, Sr, Cd, Sn, Cs, Ba, Hf и Ta. А наиболее существенные расхождения между сравниваемыми типами руд характерны, как и в выше охарактеризованных случаях, для микроэлементов, расположенных в центральной части и правом фланге спайдерграммы. Нормирование микроэлементного состава руд по среднему составу пород земной коры так же показало на их явно повышенный фон и с такой же амплитудой дисперсий, что и в случае с глинами и сланцами. Однако различия в содержаниях микроэлементов в зеленовато-серых и бурых оолитовых рудах здесь проявлены наиболее значимо при общем сходстве конфигурации двух кривых. Наиболее резкие количественные расхождения характерны для ряда микроэлементов от Mo до Ba в средней части спайдерграммы и от Sm до U – в правой ее части. Относительно геохимического профиля морских вод оба типа железных руд характеризуются повышенными в разы и порядки содержаниями всех определенных микроэлементов. При этом минимальные концентрации, относительно морских вод характерны для Li, B, Sr, W, Rb, средние – для Cu, Mo, Ag, Cd, Sn, Ba, Bi и U; максимальные – для Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, In, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Cd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Tl, Pb, Bi и Th. Конфигурация кривых обоих типов руд близка к идентичной. Наиболее ощутимые различия между ними фиксируются для микроэлементов Mo, Ag, Cd, In, Sr, Sb, Cs, Ba в центральной части спайдерграммы и для Eu, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Tl, Bi и U – в ее правой части, что свидетельствует об определенной специфике в геохимических обстановках формирования руд. Редкоземельные элементы. Согласно разработкам В.А. Шатрова с соавторами (2005) и других исследователей, в литогеохимии дифференциация лантаноидов в осадочном процессе

проявляется в изменении их состава и масс при переносе пресными и морскими водами в растворенном, сорбированном состояниях и в составе обломочного комплекса. Результатом является фракционирование редких земель на первоначальном профиле седиментации: в составе центральных частей бассейна преобладают тяжелые REE совместно с иттрием, перенос которых осуществляется преимущественно в растворенном виде; в прибрежных условиях преимущественно накапливаются легкие редкие земли, входящие в состав обломочного комплекса. Ряд REE от La до Pr относится к легким, от Nd до Dy – к средним, и от Ho до Lu и Y – к тяжелым редким землям. Основным критерием, по которому оцениваются спектры REE, является $\Sigma(\text{REE} + \text{Y})$, часто проявляющемся в уменьшении значения суммы в осадке с удалением от береговой линии и углублении бассейна.

В рассматриваемых типах руд отчетливо видно геохимическое родство этих руд; очевидное количественное преобладание легких лантаноидов над средними и тяжелыми и пропорционально нарастающие количественные различия между бурыми и зеленовато-серыми оолитовыми рудами в ряду легкие – средние – тяжелые REE. В указанном ряду содержание лантаноидов у бурых руд максимально, а у зеленовато-серых – минимально. Подобные особенности распределения REE можно, по-видимому, оценивать как результат трансгрессивно-регрессивных колебаний уровня воды бассейна седиментации, учитывая сонахождение руд в одном разрезе, и связанное с этим перемещение береговой линии. По сложившимся представлениям, преобладание легких REE над средними и тяжелыми должно свидетельствовать о близости этой береговой линии, если только не работали другие факторы. А разница в содержании средних и тяжелых REE в бурых и зеленовато-серых рудах обусловлена различиями окислительно-восстановительного потенциала среды. Нормирование средних содержаний REE в зеленовато-серых и бурых железных рудах по морской воде, осадочным породам и среднему составу земной коры показывает на многопорядковое их превышение в железных рудах по отношению к морской

воде, которое, по-видимому, сложно объяснить, если считать основным источником редких земель морские воды. По отношению к осадочным породам (глинам, сланцам) содержание REE в рудах превышает порядок и сохраняет количественные расхождения средних и тяжелых лантаноидов в обоих типах руд. По отношению к среднему составу пород земной коры концентрация REE в железных рудах несколько превышает один порядок с повышением контрастности содержаний лантаноидов в бурых и зеленовато-серых рудах. Радиоактивные элементы. В ряду повышенных концентраций широкого перечня микроэлементов железных руд Бакчара находятся U и Th. Причем, наиболее богатыми содержаниями U и Th отличаются бурые руды. На наш взгляд фоновые содержания Th порядка 15-20 г/т заслуживают внимания при дальнейшем изучении бакчарских руд на предмет выявления их более существенных скоплений, возможно имеющих промышленное значение.

1.4. Перспективы освоения Бакчарского железорудного месторождения, томская область

Проявления железных руд на территории Томской области известны издавна. В 1625-1626 гг. велась их отработка на небольших Лагернотомском, Поздняковском и Аргатюльском месторождениях. Известно, что из них изготавливались пушки для Томского острога [6, 10]. Однако наибольшее значение для промышленности на территории Томской области представляют крупные месторождения осадочных морских сидерит-гидрогётит-лептохлоритовых железных руд. Железные руды этого типа обнаружены в 1950 г. в г. Колпашево при бурении опорной скважины. Железорудные образования фиксировались при производстве поисковых работ на нефть, а также при выполнении специализированных на железо поисковых и ревизионных опробовательских работ [6]. Проявления железа в Западно-Сибирском железорудном бассейне прослежены в полосе шириной около 150 км и протяженностью около 2000 км (от бассейнов рек Турухан, Большая Хета на северо-востоке до истоков р. Омь на юго-западе) [5]. Общая

площадь Западно-Сибирского железорудного бассейна составляет 300 000 км², в том числе на территории Томской области около 80 000 км² (рис. 1). Общие прогнозные запасы железных руд бассейна с содержанием железа более 30% оцениваются в 400 млрд. т, что позволяет считать его крупнейшей железорудной провинцией мира.

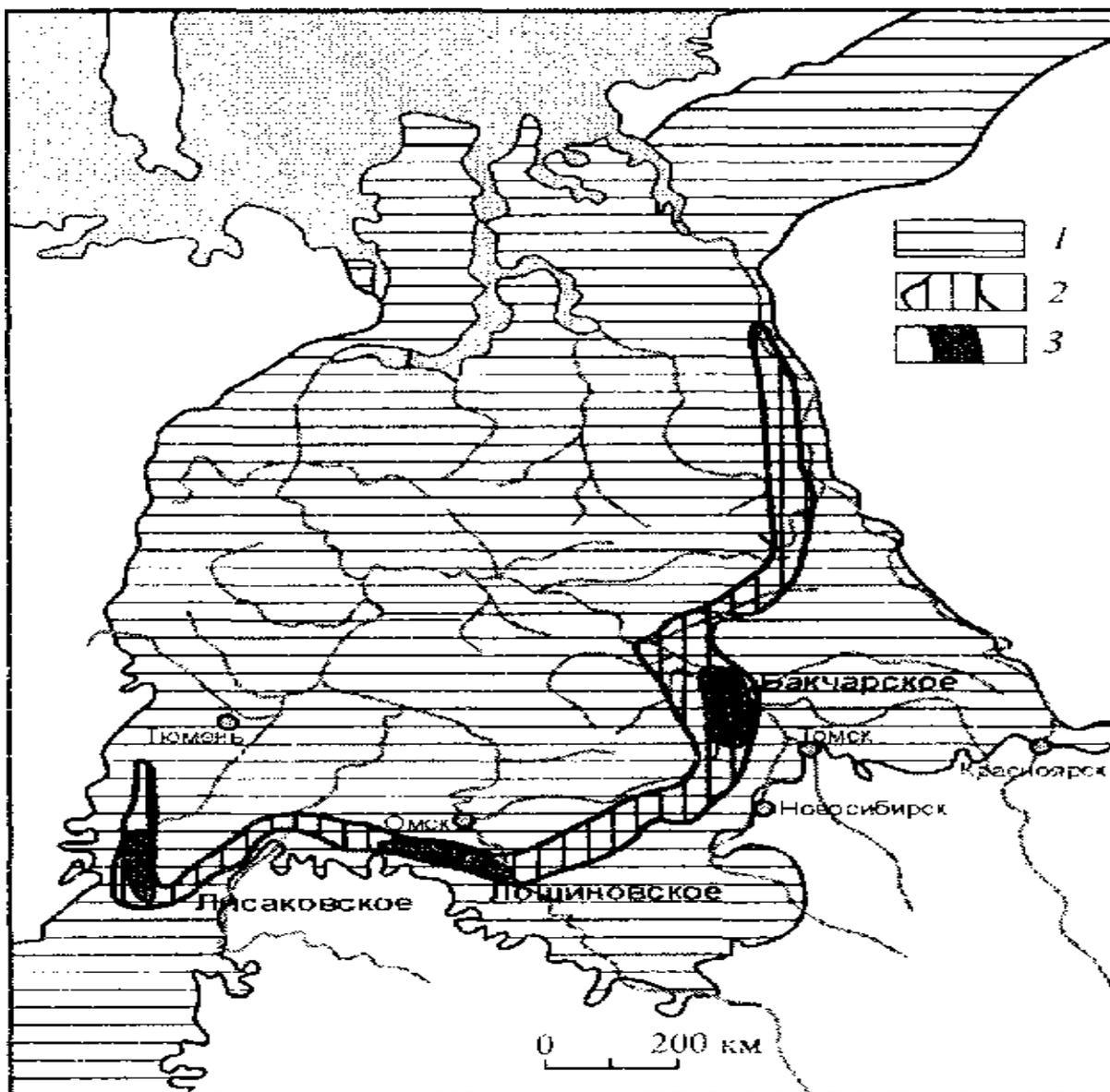


Рис. 1. Схема Западно-Сибирского железорудного бассейна: 1 — площадь распространения мел-палеогенового моря; 2 — полоса распространения прибрежно-морских железорудных отложений; 3 — площади наиболее крупных железорудных узлов (месторождений)

В Центральном Приобье среди верхнемеловых и нижнетретичных отложений значительные площади занимают прибрежно-морские железонесущие осадки. В составе указанных отложений выделяется четыре

железорудных горизонта. Три из них — нарымский, колпашевский, чигоринский — приурочены к верхнемеловым, а четвертый — к эоценовым образованиям

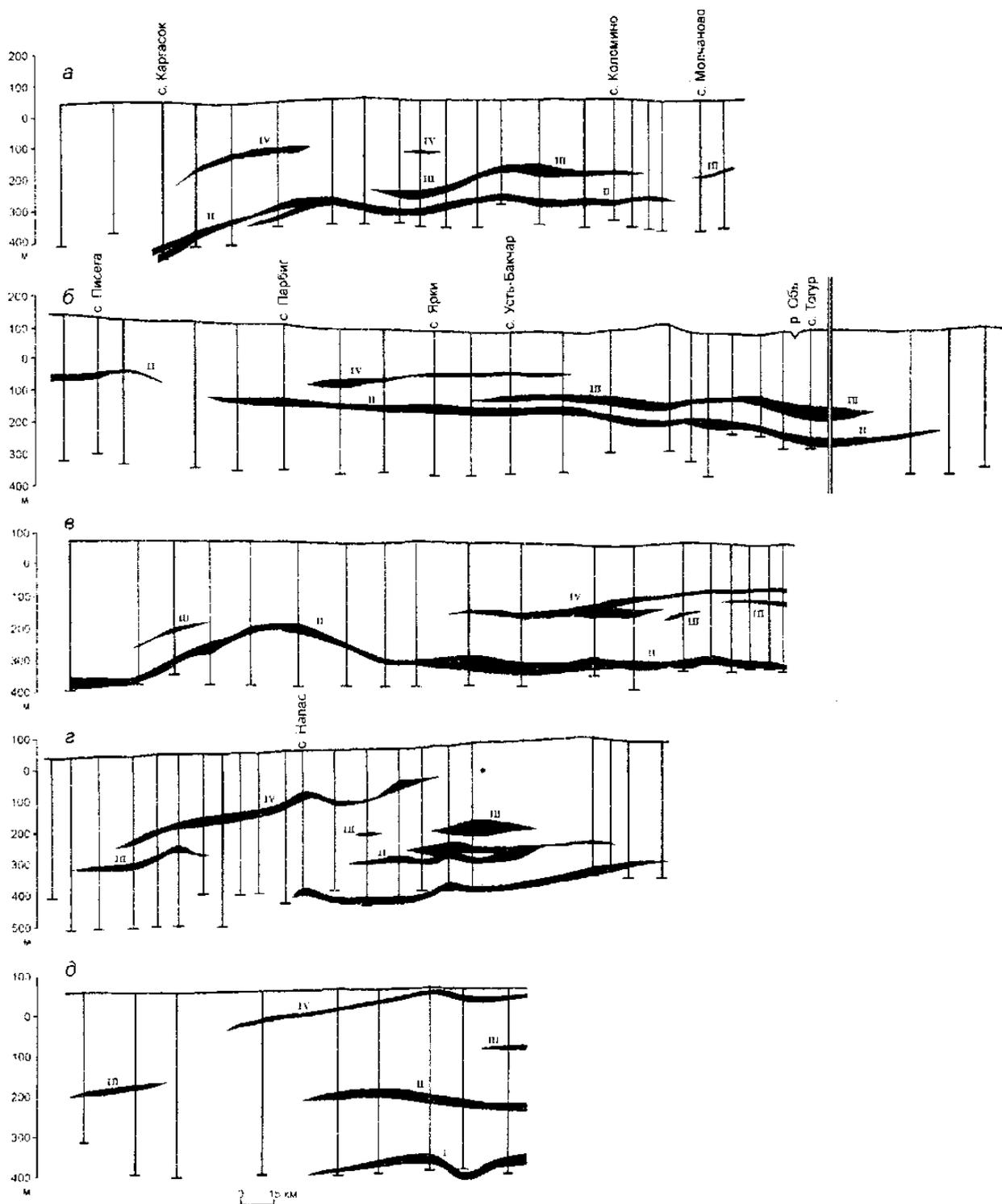


Рис. 2. Разрезы по буровым линиям параметрических и структурных нефтяных скважин: а — по рекам Обь - Томь; б — по рекам Парбиг - Чая - Кеть; в — по рекам Чузык - Парабель - Пайдугина; г — пор. Тым; д — по р.

Вах: черным цветом показаны железорудные горизонты: I — нарымский, II — колпашевский, III — бакчарский, IV -- чигоринский

Наиболее распространенный нарымский железорудный горизонт приурочен к нижней части верхнемеловых железозоносных отложений. Он прослеживается в виде полосы шириной около 260 км, протяженностью более 1200 км от бассейна р. Турухан на северо-востоке до истоков р. Омь на юго-западе. Мощность железозоносных отложений горизонта изменяется от нескольких сантиметров до 30-35 м, но чаще не превышает 25 м. Железные руды с содержанием валового железа $>30\%$ и мощностью >2 м встречаются очень редко. В настоящее время известны четыре таких участка — в районах сел Парбиг, Бакчар, Могочино и г. Колпашево. Колпашевский железорудный горизонт залегает в разрезе выше нарымского и по сравнению с последним имеет меньшую площадь распространения. Он прослеживается почти в меридиональном направлении от низовьев р. Енисей в верховьях р. Вахна на севере и до с. Бакчар — на юге. Мощность железорудного горизонта 5-10, редко 20 -30 м. Наибольшая мощность руд с валовым содержанием железа $>30\%$ составляет 9,3 м в районе р. Чая. По простиранию и вертикали руды переходят в железистые песчаники, алевролиты и алевролитистые глины с зернами глауконита и редкими оолитами лептохлоритового состава. Чигоринский железорудный горизонт залегает над глинистыми отложениями ганькинской свиты и перекрывается песчано-глинистыми отложениями.

Строение горизонта изучено слабо, так как выход керна по большинству скважин был низким или вообще отсутствовал. Можно лишь предположить, что отложения горизонта в виде полосы шириной 50-60 км северо-восточного направления залегают в Нарымско-Колпашевском Приобье. Мощность горизонта составляет первые метры и обычно не превышает 10-15 м. Бакчарский железорудный горизонт имеет меньшую площадь распространения, чем нарымский и колпашевский. Слабая и неравномерная железозоносность прослеживается более чем на 600 км к северу через бассейн ручья Парбиг, Колпашевско-Нарымское Приобье,

низовья р. Парабель и среднюю часть рек Тым и Вах. Ширина железоносной полосы в Бакчарском районе около 50 км, в Колпашевско-Парабельском — около 180 км, а в низовьях р. Тым — около 130 км [6]. Наиболее мощные отложения бакчарского горизонта вскрыты скважинами колонкового бурения в районе сел Вавиловка, Бакчар, Чернышовка и Полянянка. Кондиционные руды в данном горизонте встречены только в приобской части бассейна в Бакчарском административном районе (рис. 3).

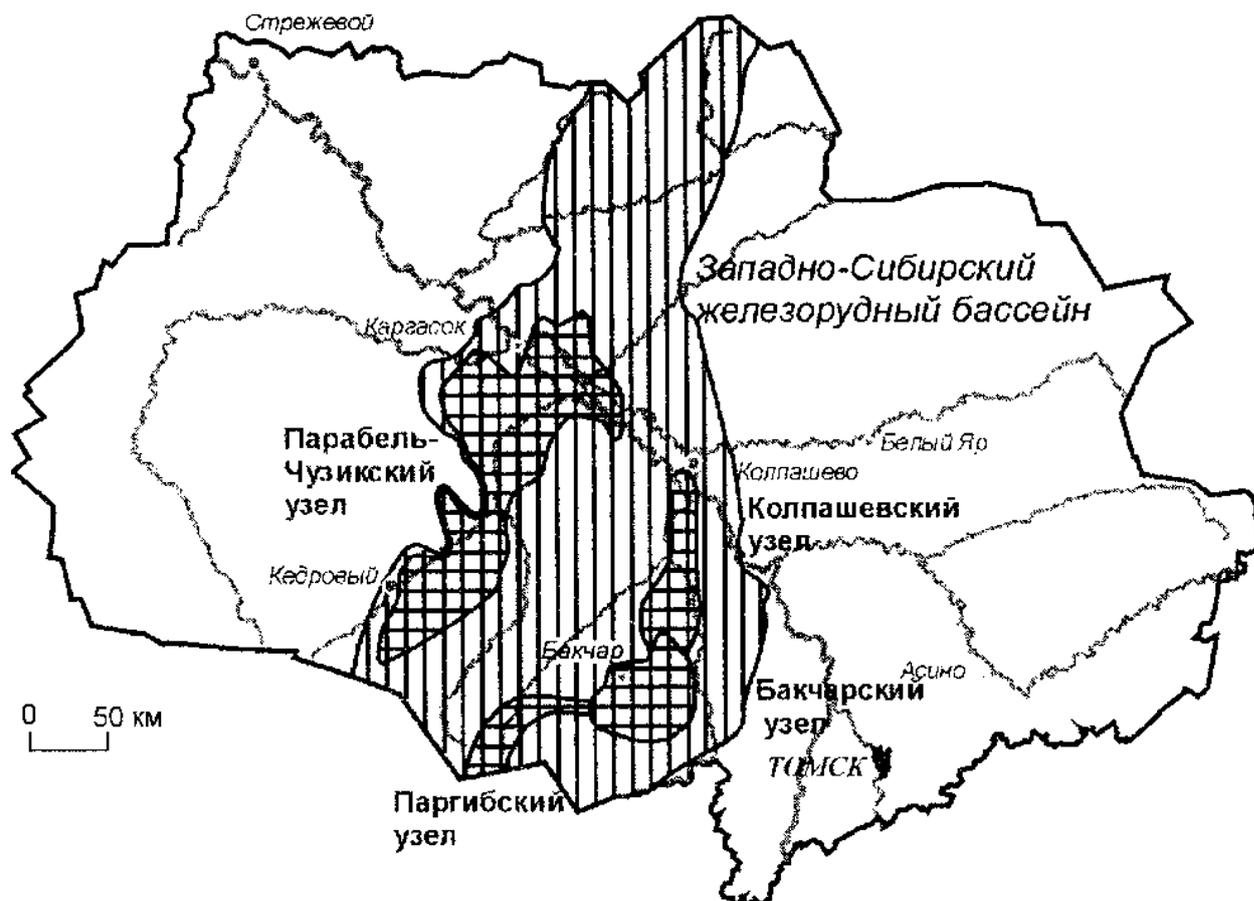


Рис. 3. Схема расположения рудных узлов Западно-Сибирского железорудного бассейна в пределах Томской области.

Наиболее полная характеристика Бакчарского железорудного месторождения приведена в работах А.А.Бабина [7]. Установлено, что наибольшие мощности железорудные пласты находятся в районе современного бассейна р. Бакчар, при этом в восточной части (правобережье р. Бакчар) максимальная мощность железных руд отмечается как на уровне колпашевского, так и бакчарского горизонтов. Анализ керна колонковых скважин показал, что руды колпашевского и бакчарского горизонтов в

восточной части проявления сближаются и практически образуют одно рудное тело мощностью 26-36 м при средней мощности 34 м. Мощность перекрывающих песчано-глинистых отложений с горизонтом бурых углей и лигнитов, а в самой верхней части — торфов, — 195 м. Мощность пластов углей 4 - 9 м, торфов — 3,5 м. Содержание Fe₂O₃ в рудах по данным групповых проб колеблется от 30 до 53% при среднем содержании 40,16%. В прямой зависимости от концентраций железа находятся содержания фосфора и ванадия. Содержание фосфорного ангидрида в руде достаточно высокое — 1,03-1,3%, ванадия — 0,13-0,25%.

По данным Г.М.Шора [8] и А.Я.Пшеничкина [11], в одиночных штуфных пробах, отобранных из бакчарских железных руд, содержится 0,65-1,8 г/т Ai, 10-127 мг/т Pt и 1,3-16 мг/т Pd, отмечаются также повышенные концентрации Mo, Sc, Ge, Be и U. Г.М.Шор предполагает, что повышенные концентрации драгоценных и редких металлов имеют гидрогенную природу и образовались путем высаживания на природный сорбент (тонкодисперсные осадочные железные руды) компонентов, растворенных в фильтрующихся подземных водах. С этой точки зрения Бакчарское месторождение можно рассматривать как весьма перспективный золоторудный объект. По минеральному составу и текстурно-структурным особенностям на месторождении выделены шесть природных типов руд [6,7]: плотная гётит-гидрогётитовая с сидеритовым цементом (1,5% от общего объема руды); глауконит-гидрогётитовая с сидерит-лептохлоритовым цементом (7,1%); слабо сцементированная гидрогётит-лептохлоритовая с лептохлоритовым корковым поровым или базальным цементом (30,3%); слабо сцементированная гидрогётитовая с базальным лептохлоритовым цементом (41,5%); слабо сцементированная гётит-гидрогётитовая с незначительным количеством гизингеритового, хлоритового или сидеритового корково-сгусткового цемента (12,6%); слабо сцементированная перемытая рыхлая гидрогётитовая с базальным лептохлоритовым цементом (7,0%). В целом бакчарские руды кислые, фосфористые; основность их низкая —

коэффициент основности равен 0,063-0,066. Содержание флюсующих оксидов в виде кальция и сидерита не превышает 2,5%, из них на долю кальция приходится 0,6-1,0%, оксида магния — 0,95-1,5%.

1.5. Современное состояние железорудной базы Урала и Сибири

К началу XXI в. наметилась диспропорция в обеспеченности железорудным сырьем уральских и западносибирских металлургических комбинатов, производящих 44 и 13% российского железа. Большинство железорудных комбинатов и рудоуправлений находятся в эксплуатации 30-50 лет и более. За этот период в проектных контурах отработаны запасы основных месторождений, на базе которых были построены карьеры и шахты. Для поддержания их мощностей требуются не только обновление технологического оборудования и внедрение новых технологий, но и главным образом подготовка для отработки новых запасов [7, 9, 12].

В 2004 г. на Урал из других регионов России и Казахстана завезено 22,9 млн. т руды (при собственном производстве 13,9 млн. т), в Западную Сибирь — 5,1 млн. т (собственное производство 8,7 млн. т). Среднее расстояние транспортировки железорудного сырья для уральских заводов составляет 1560 км, для западносибирских — 1490 км [7, 12].

Сокращение нерациональных дальних перевозок железной руды для уральских и западносибирских металлургических комбинатов было бы возможно при вовлечении в производство новых месторождений на территории Сибири. Здесь известны разведанные месторождения: Амалыкское в Кемеровской области, Инское и Белорецкое в Алтайском крае, Холзунское в Республике Алтай, Волковское в Республике Хакасия, Казырская группа проявлений на юге Красноярского края и Ангаро-Питская — на севере [13] (рис. 4).

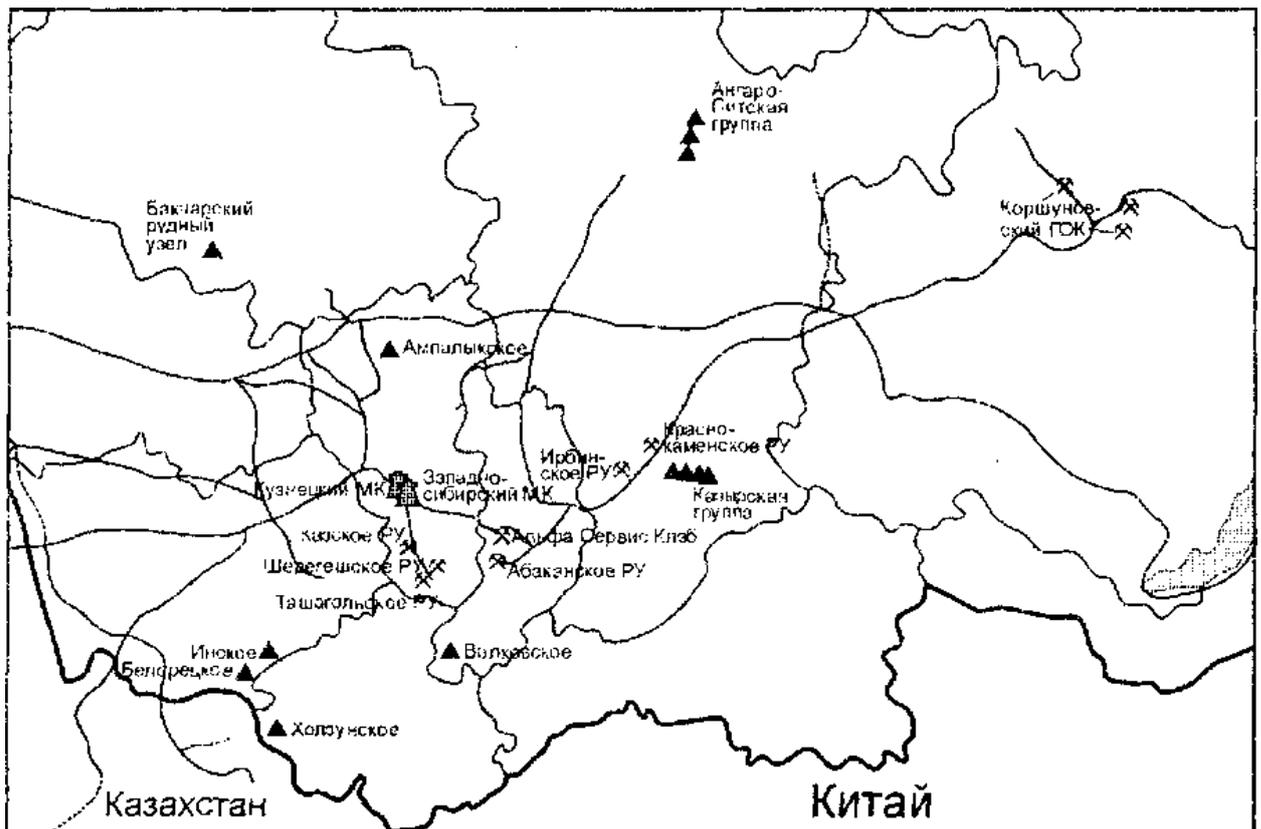


Рис. 4. Схема расположения действующих рудников и известных железорудных месторождений Сибири

Суммарные запасы перечисленных месторождений (по категориям А+В+С1+С2) составляют 12 692,7 млн. г, что сопоставимо с ресурсами одного лишь Восточного участка Бакчарского проявления (ресурсы разными авторами оцениваются от (2 до 23 млрд. т). Кроме того, все эти объекты находятся вне сферы действующей инфраструктуры и их освоение возможно только при значительных капитальных затратах (сотни миллионов долларов) на строительство коммуникаций и осуществление больших объемов строительного-монтажных и горно-подготовительных работ. Строительство одиннадцати рудников вместо одного — Бакчарского — делает маловероятной возможность освоения разрозненных месторождений в ближайшее время. Бакчарское железорудное месторождение расположено в Бакчарском административном районе в 150-200 км к западу от г. Томска. Его изучение было прекращено в начале 60-х годов XX в. на поисковой стадии. Ввиду достаточных запасов железной руды это месторождение

может восполнить дефицит местного железорудного сырья для уральских и западносибирских металлургических комбинатов [14].

Причиной прекращения геологоразведочных работ на Бакчарском железорудном месторождении было отрицательное заключение по гидрогеологическим (высокая водообильность рыхлого разреза) и горнотехническим условиям его эксплуатации. Помимо этого, в 60-е годы XX в. начали разрабатываться руды Соколовско-Сарбайского месторождения в Казахстане, которые с лихвой покрывали дефицит местного сырья на Южном Урале и в Западной Сибири. В рыночных условиях значительная часть казахстанских руд стала поставляться в Китай. Развитие новых технологий добычи (скважинная гидродобыча) и транспортировки полезных ископаемых (гидротранспортировка пульпы по магистральным трубопроводам) позволяют в настоящее время освоение Бакчарского железорудного месторождения считать перспективным. Метод скважинной гидродобычи (СГД) представляет собой дистанционную подземную разработку месторождений через скважины. Твердые рыхлые или слабосвязанные полезные ископаемые переводятся в состояние гидросмеси (суспензии), транспортируемой на дневную поверхность. Скважинная гидродобыча характеризуется малооперационностью и поточностью процесса разработки, простотой используемого оборудования, небольшими капитальными затратами [13, 15]. В Белгородской области с 80-х годов XX в. при разработке железных руд Шамраевского участка применяется скважинная технология [13, 15]. Добыча руд производится с глубины 600 - 800 м, производительность одной установки 40-50 т/час. Содержание железа в добытой руде достигает 66-68% при 60% в исходной руде; себестоимость добычи 1 т руды составляет 5-6 дол. Глубина залегания бакчарских бобовооолитовых железных руд не превышает 250 м, что значительно удешевит процесс их добычи по СГД-технологии. Учитывая геолого-технологический тип руд, они будут обогащаться значительно эффективнее руд КМА за счет присутствия в них значительного количества глауконита и

гидрослюды. Данное обстоятельство дает основание предполагать, что содержание железа в извлеченном методом СГД промпродукте может составить около 55%.

Доставка пульпы железной руды до ближайшей железнодорожной станции в г. Томск возможна гидротранспортом по магистральному трубопроводу (около 150 км), что может радикально изменить технико-экономические показатели отработки месторождения (рис. 5).

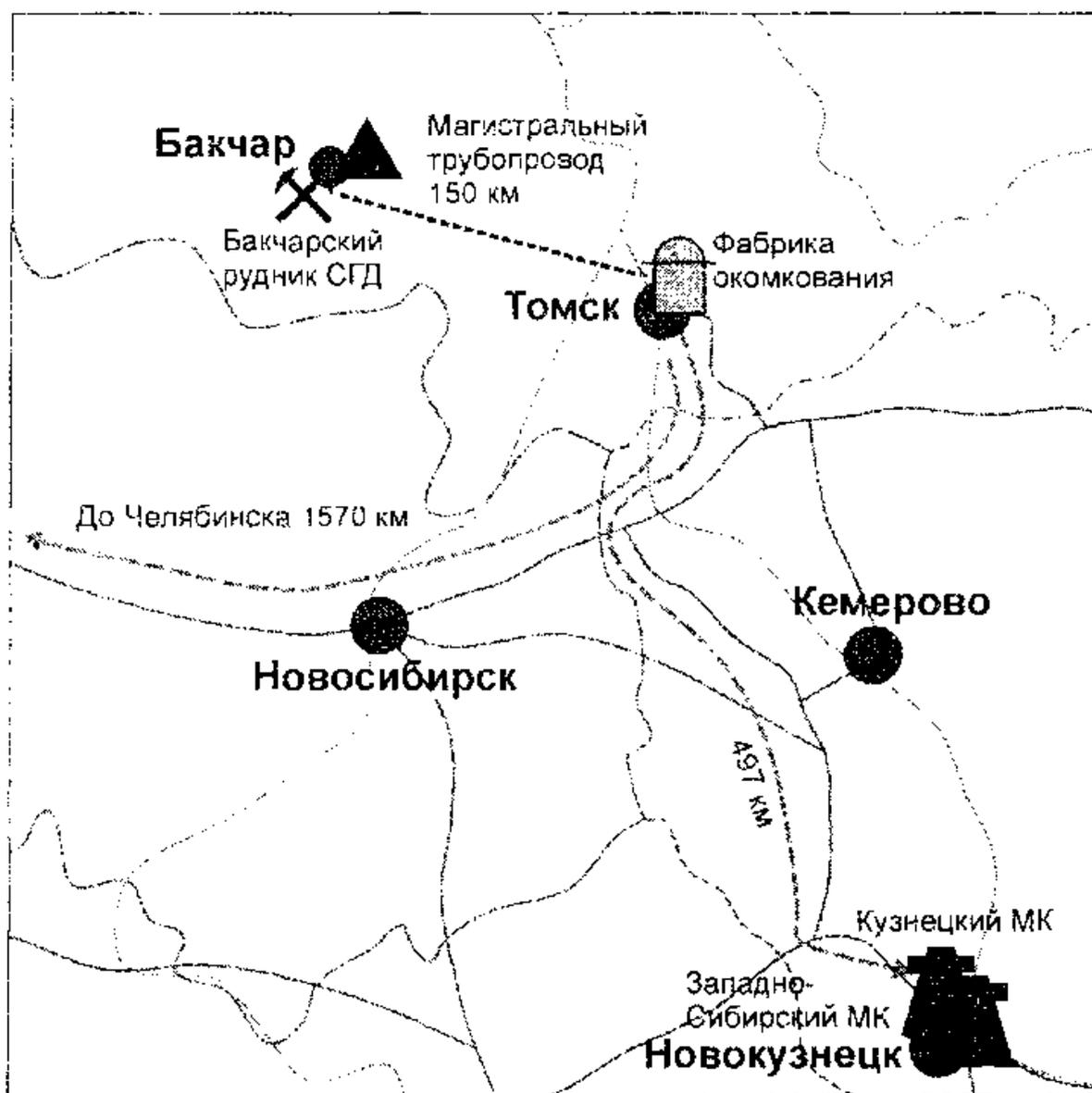


Рис. 5. Схема транспортировки бакчарской железной руды

Опыт работы гидротранспорта в Сибири имеется. Так, до 1995 г. действовал магистральный трубопровод от угольной шахты Инская (г. Белово, Кемеровская область) до ТЭЦ-5 г. Новосибирска протяженностью

262 км и пропускной способностью 3 млн. т угля в год [16]. Опыты по определению оптимальной схемы обогащения руд показали, что наиболее эффективен обжиг-магнитный способ. В восстановительной печи при $T=550^{\circ}\text{C}$ получены концентраты с содержанием железа 53-61%, при этом извлечение составило 91,3-95,8%. В качестве восстановителя применялся газ из оксида углерода (около 35%) и азота (65%). Содержание железа в хвостах от рыхлых руд минимально и не превышает 9-10%, в хвостах из плотных руд варьирует от 15 до 25,8%.

Также из бакчарских руд получается от общей массы чугуна примерно 20% шлака с кондиционным содержанием фосфорного ангидрида (14-15%) и примерно 3,3% отвеса чугуна ванадиевого концентрата. Бакчарские руды нуждаются в предварительном обогащении и окомковании. Проведены опыты агломерации концентратов из бакчарских руд. Тонкоизмельченные концентраты успешно окусковываются агломерацией с получением флюсового агломерата. Содержание железа в агломерате составляет 49-51%, мышьяка — меньше допустимого, т.е. 0,021-0,052%. Основность агломерата низкая и не превышает 1,15-1,26.

Необходимое сырье для окомкования бакчарской руды имеется в 40 км от г. Томска. Здесь находятся месторождение известняков Каменское с запасами 36,4 млн. т и 18 подготовленных месторождений легкоплавких (керамзитовых) глин каолинит-гидролюдисто-монтмориллонитового состава с запасами 33,2 млн. м³.

Таким образом, при использовании новых технологий гидродобычи и гидротранспортировки железные руды Бакчарского месторождения могут заменить для уральских и западносибирских металлургических комбинатов значительную часть сырья от дальних поставщиков из европейской части России и Казахстана. Возможно также создание новых технологий на основе бакчарских руд и огромных запасов торфа в Томской области с приготовлением нетрадиционных рудоторфоплавительных брикетов — сырья для низкошахтных печей, предназначенных для прямой выплавки

стали. Они были предложены еще в 50-е годы XX в. профессором Томского политехнического университета С.И.Смолянинским. Экономические расчеты показывают, что капитальные затраты на добычу и строительство завода по окомкованию бакчарской руды в районе г. Томска составят 120 млн. дол. при годовой добыче 3 млн. т руды и 166 млн. дол. при годовой добыче 7 млн. т. Себестоимость получения 1 т окатышей составляет 7-8 дол. при отпускных ценах российских производителей железорудного сырья 20-22 дол. за 1 т. При металлургическом переделе бакчарского железорудного сырья с 1 млн. т руды возможно получение до 50 тыс. т фосфатных шлаков. Учитывая полное отсутствие производства фосфатных удобрений в Сибирском регионе, они будут востребованы на местном рынке. Перспективно изучение Бакчарского железорудного месторождения на водородное золотое оруденение. В случае подтверждения повышенных концентраций золота в значительных объемах осадочных железных руд это месторождение можно рассматривать и в качестве золоторудного объекта. Извлечение золота можно будет осуществлять в технологическом цикле путем кучного выщелачивания после скважинной гидродобычи железной руды и перед гидротранспортировкой рудной пульпы на завод окомкования.

В ноябре 2005 г. на одном из участков Бакчарского железорудного месторождения был проведен аукцион, и ООО «Томская горнодобывающая компания» выдана сквозная лицензия на разведку и добычу железных руд. Для геологического изучения Бакчарского железорудного узла, опытной гидроскважинной добычи рыхлых железных руд, технологических исследований их обогащения выделяются средства из федерального и областного бюджетов. Освоение уникального Бакчарского железорудного месторождения уже начато, и первые поставки железных руд уральским и западносибирским потребителям — вопрос ближайшего будущего.

2. Аналитический обзор

2.1. Развитие прямого восстановления в России

2.1.1. Развитие бескоксовой металлургии в СССР

Главные вопросы, стоящие перед отечественной металлургией – повышение качества металлопродукции и техническое перевооружение. Наряду с дальнейшим совершенствованием традиционных способов производства железа необходимо в некоторых регионах развивать новые бескоксовые способы его производства, которые по мере повышения качества металлопродукции и технико-экономических показателей могут обеспечить значительную долю прироста выпуска высококачественного металла в стране.

Роль различных методов металлургии определяется ресурсами, ценами используемых видов топлива и сырья и особенно качеством металлопродукции. У нас в стране месторождения металлургического топлива и руды, например Сибирь и Курская магнитная аномалия (КМА), разделены большими расстояниями. Руды КМА сравнительно легко обогащаются до содержания железа в концентрате более 70% и имеют мало вредных примесей (серы, фосфора, цветных металлов). В настоящее время металлургические заводы стремятся строить близ месторождений железных руд, чтобы сократить объем и стоимость транспортировки коксующегося угля и природного газа. Восстановитель в район КМА может поставляться из районов добычи газа и коксующихся углей, расположенных на расстоянии нескольких тысяч километров, электроэнергия производится на АЭС Центрально-Черноземных областей.

Добыча и транспортировка коксующихся углей и природного газа требует различных затрат, в результате чего себестоимость тепла в газе и коксе в районе КМА относится 1:12. Это соотношение может уменьшиться при замене железнодорожной транспортировки коксующегося угля дешевле, независимой от погодных условий трубопроводной, по опыту освоенной

гидротранспортировки железорудного концентрата от Лебединского ГОКа до Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК).

Запасы некоксуемых углей в Сибири превышает запасы коксующихся углей и природного газа, а стоимость единицы тепла в них и в природном газе сопоставимы. Постепенное истощения ресурсов коксующихся углей и природного газа, по-видимому, приведет со временем к широкому использованию некоксуемых углей и получаемого из них синтез-газа.

В нашей стране первые промышленные эксперименты по получению металлизированного продукта из железной руды были проведены 50 лет назад, когда была пущена первая установка прямого получения губчатого железа и проведены промышленные опыты получения крицы с помощью мелкого кокса во вращающейся печи. Позже были построены вращающиеся печи, в которых некоторое время получали губку с помощью твердого топлива из железных (в том числе природно-легированных) руд.

В 50-х годах в полупромышленных условиях были проведены эксперименты по осуществлению прямого получения железа путем последовательного расплавления руды и восстановления железа и других металлов твердым углеродом из рудно-флюсового расплава. Однако промышленный способ не был создан из-за недостаточного интенсивного подвода тепла в зону эндотермической реакции $Fe_xO_y + yC = xFe + yCO$, в результате чего форсирование процесса приводило к катастрофическому вспениванию расплава; в конце же восстановления при содержании оксида железа в расплаве <10% процесс сильно замедлялся из-за низкой скорости подвода реагентов в зону реакции.

С 60-х годов главное внимание исследователей и проектировщиков привлекла предварительная металлизация руды в твердом состоянии с последующим расплавлением металлизированного продукта. Родоначальниками этого направления у нас в стране явились процессы, предложенные институтом газа АН УССР (ИГ АН УССР) [18] и Всесоюзным

институтом металлургической теплотехники (ВНИИМТ) [19]. Восстановителем руды служил конвертированный природный газ (конверсия паром ВНИИМТ и кислородная конверсия в процессе ИГ АН УССР). В 60-х годах процессы ВНИИМТ и ИГ АН УССР были осуществлены в шахтных печах, в которых были проведены исследования металлизации различных железорудных материалов, в частности окатышей и лебединского концентрата. На этих установках были изучены процессы металлизации окатышей при 1000 °С, способ конверсии части углеводородов на свежевосстановленной губке непосредственно в слой восстанавливаемых материалов, процессы восстановления, разрушения, спекания и науглероживания восстанавливаемых материалов, окисляемости губчатого железа и др. В это же время была опробована металлизация руд при повышении давления. Технологические и конструктивные решения этих установок были использованы в проекте промышленной шахтной печи, в котором предусмотрены значительная рециркуляция колошниковога газа с моноэтанолевой очисткой от CO₂ и повышения давления в печи до 5 атм.

Сопоставление промышленных методов бескоксовой (в шахтных печах с помощью конвертированного природного газа) и традиционной металлургии показывает, что в бескоксовой металлургии расход тепла на тонну восстановленного железа ниже, чем в традиционной, примерно на 13% и в будущем, при увеличении мощности установок металлизации и использовании тепла окатышей, эта разница может увеличиваться до 23%; металл из металлизированных окатышей содержит меньше нежелательных примесей и обладает соответственно более высокими и стабильными служебными свойствами, чем обычный; капиталовложения в предприятия бескоксовой металлургии, по оценкам зарубежных и советских экономистов, ниже, чем в аналогичные предприятия традиционной металлургии, однако в условиях ОЭМК это пока не подтвердилось в связи с высокой стоимостью импортного оборудования; новая технология получения железа оказывает меньше отрицательное воздействие на окружающую среду.

К проблемам развития бескоксовой металлургии с использованием природного газа относится сравнительно малая мощность установок, экстенсивность процесса конверсии природного газа, пирофорность продукта. Увеличение мощности шахтных печей определяется в первую очередь проблемами конверсии природного газа: по существующей технологии Мидрекс для установки мощностью 1,5 млн. т/год потребовался бы реформер, имеющий более 1000 труб диаметром 200мм и высотой около 10м. Возможна замена применяемой углекислотной конверсии более интенсивной кислородной или принципиально другими эффективными способами производства восстановленного газа. Для устранения пирофорности металлизированного продукта продолжают поиски способов его пассивации в процессе производства или после выдачи из печи. Это позволит ослабить требования к безопасным условиям хранения и перевозки губчатого железа.

Плавка металлизированного продукта в электропечи поглощает экономию энергии и капитальных вложений, достигаемых в установках прямого восстановления, и суммарный расход энергии на тонну металла становится выше, чем в традиционном способе доменная печь – конвертер. Повышение экономической эффективности плавки металлизированных окатышей возможно путем замены электроэнергии первичным топливом (природным газом, угле и др.).

При решении перечисленных проблем развитие бескоксовой металлургии в СССР могло бы пойти по пути использования природного газа, синтез-газа и непосредственного угля. Бескоксая металлургия развивалась по проекту ОЭМК и Орско-Халиловского металлургического комбината, однако по мере истощения запасов природного газа и при успешном решении проблемы газификации угля возможен второй путь. Крупномасштабная реализация третьего была бы возможна при снижении стоимости транспортировки угля на большие расстояния.

2.2 Методические проблемы определения экономической эффективности развития бескоксовой металлургии

Вовлечение в хозяйственный оборот огромных ресурсов сырья и топлива ставит задачу постоянного поиска и разработки новых, более эффективных способов и технологий металлургической переработки железнорудного сырья. Особенности современного и перспективного этапов экономического развития страны предопределили остановку на завершение перевода народного хозяйства преимущественно на интенсивный путь развития, обеспечивающий более рациональное использование потенциала страны, всемирную экономию всех видов ресурсов.

В понятии интенсификации общественного производства вкладывается чаще всего ускорение научно технического прогресса, снижение материал-, топливо- и энергоемкости, экономия трудовых ресурсов и др. Происходит определенное смещение цели, путей и средств их достижения.

Интенсификация производства – это расширенное воспроизводство, основанное не на расширении границ воспроизводственной деятельности, а на изменении роли и места, т. е. структуры используемых ресурсов – труда, сырья, энергии, оборудования. Интенсификация предполагает нахождение рациональной структуры применяемых производственных ресурсов с целью замены более ограниченных менее ограниченными, менее воспроизводимых – более воспроизводимыми, т. е. расширенное воспроизводство должно осуществляться не за счет в общественное производство дополнительной массы производственных ресурсов, а в основном за счет улучшения использования имеющихся. Намечается резкое ограничение темпов наращивания физических объемов производства готового проката, а растущие потребности народного хозяйства планируется обеспечить за счет кардинального повышения качества металлопродукции, совершенствования сортамента, существенного наращивания объемов производства заменителей черных металлов – конструкционных пластмасс, алюминия, клееной

древесины и др; а также за счет снижения конструктивной и технологической металлоемкости машиностроения, строительства и ремонтов основных фондов. Место, роль и экономическую эффективность бескоксовой металлургии можно и нужно рассматривать, исходя из изложенных целевых установок и ограничений.

В нашей стране практически во всех перспективных экономических районах имеются необходимые ресурсы сырья, топлива, электроэнергии. В европейской части страны ежегодный объем производства суперконцентратов мог бы составить несколько десятков миллионов тонн. Соответствующие ресурсы имеются в Сибири и на Дальнем Востоке. В качестве технологического топлива в европейской части страны имеется природный газ, а в восточных районах – бурые и каменные угли.

Расчет по определению эффективности, выполненные за рубежом и в нашей стране, дают большие расхождения в оценки уровня эффекта бескоксовой металлургии вплоть до противоположных результатов. Это объясняется в основном несоблюдением сопоставимости принимаемых нормативных стоимостных показателей, избирательным подходом к учету круга необходимых затрат смежной отрасли, неполным учетом региональных условий и факторов, игнорированием ограниченности в ресурсах многоцелевого назначения, эклектикой при расчете показателей абсолютной и сравнительной эффективности капитальных вложений, двойственностью при расчете текущих затрат (сквозная оценка по индивидуальным издержкам и удельным капитальным вложениям и оптовым ценам, тарифам и расценкам) и т. д.

Эти недостатки объясняются как субъективными причинами (низким научно-методическим уровнем проведения рядом авторов расчетов), так и объективными (отсутствием единых методических подходов в различных официальных методических документов по практически одной проблеме – эффективности использования капитальных вложений), а также ярко выраженным межотраслевым характером рассматриваемой проблемы.

Экономическая оценка проблемы требует системного подхода, т. е. четкого рассмотрения и обоснования народнохозяйственной, отраслевой и региональной функции бескоксовой металлургии и, исходя из этого выявления независимых переменных факторов, которые определяют уровень эффективности.

2.2.1 Народнохозяйственные функции развития бескоксовой металлургии

Первой и наиболее важной народнохозяйственной функцией является улучшение потребительских свойств готовой металлопродукции и снижение за счет этого металлоемкости общественного совокупного продукта. Промышленный опыт показывает, что использование металлизированных материалов вместо металлолома дает металл с лучшими свойствами, так как эти материалы в отличие от лома практически не содержат нежелательных примесей – серы, фосфора и особенно цветных металлов. В этом смысле говорят о первородных свойствах металлизированных материалов или первородной шихте, подчеркивая, что металлизированные материалы не прошли ранней стадии переплава и, следовательно, не содержат растворенного в металле газа и металлических включений.

Второй народнохозяйственной функцией является совершенствование структуры топливно-энергетического баланса страны за счет замены дефицитных и дорогостоящих коксующихся углей другими видами первичных топлив – природным газом, бурыми и каменными углями по расчетам авторов при производстве одного млн тонн высокометаллизированных окатышей потребность в коксующихся углях снижается приметно на полтора млн тонн.

Третья народнохозяйственная функция – расширение возможностей по переработке комплексах руд, четвертая – существенное сокращение удельных и абсолютных выбросов вредных веществ в окружающую среду.

2.2.2 Отраслевые функции развития бескоксовой металлургии

Первой отраслевой функцией является совершенствование внутриотраслевой структуры черной металлургии. Организацией производства металлизированного сырья прямо или косвенно вызывает изменение объемов производства почти во всех металлургических производствах за исключением прокатного. К этим изменениям относятся: при обогащении железных руд необходимо ведение дополнительной стадии до обогащения для получения супер концентратов; при окисковании концентратов появляется принципиально новый технологический предел – металлизация железорудных окатышей шахтной печи конвертированным природным газом или во вращающейся печи сырым бурым углем; на величину объема перерабатываемых металлизированных окатышей обязательно снижается объем выплавки чугуна при условии замкнутого баланса металлошихты; снижение выплавки чугуна, связанная с производством металлизированных окатышей приводит к снижению потребности в коксе и соответствующим снижением объемов при его производстве; снижение выплавки чугуна приводит к изменению структуры и других пределов в отрасли.

Вторая отраслевая функция – общее повышение качества шихтовых материалов в сталепромышленном производстве. При решении задачи повышения качества и создания марок стали приходится преодолевать ряд объективных трудностей – ограниченность ресурсов скрапа гарантируемой частоты стандартных свойств, ограниченность мощностей по специальным переплавленным процессам и внепечной обработки сталей и др.

Третья отраслевая функция – повышение уровня комплексного использования железосодержащих отходов в черной металлургии. Это задача может быть решена металлизацией во вращающейся печи окатышей полученных из пыли и шламов. При этом наряду с восстановлением окислов железа удаляются цинк, свинец и щелочные элементы до 99%, которые затем улавливаются от отходящих газов в виде оксидов и реализуются для дальнейшего использования в цветной металлургии.

2.2.3 Региональные функции развития бескоксовой металлургии

Первая и важнейшая региональная функция – расширение географии эффективного размещения черной металлургии. Гибкость бескоксовой технологии металлизацией железнорудного сырья по типу агрегата, его единичной мощности и ввиду топлива существенно расширяет возможности строительства металлургических заводов в новых экономических районах в соответствии с их потреблением.

Второй региональной функцией является ослабление территориальных диспропорций добычи и потребления топлива. Производство металлизированного сырья на базе канско-ачинских бурых углей в Восточной Сибири и свободненских бурых углей на Дальнем востоке привело бы к значительному снижению потребности к коксующимся углям Европейской части страны.

Третьей региональной функцией является создание наиболее благоприятных условий для оптимизации уровня концентрации производства на отдельных металлургических заводах и в отдельных экономических районах. Для развития черной металлургии мира характерны два принципиально разных, но органически взаимодополняющих друг друга направления: постоянно повышение единичной мощности металлургических агрегатов и предприятий и интенсивное строительство мини заводов. В зависимости от уровня развития экономического потенциала и природных ресурсов страны или региона действие этих направлений проявляется в большей или меньшей степени.

Четвертая региональная функция – существенное повышение гибкости и маневренности при размещении производств металлургическим циклом по сравнению с традиционной схемой доменно-конвертер. В первую очередь это проявляется в том, что производство чугуна и стали технологически жестко взаимосвязано и их территориально разорвать невозможно. При бескоксовой технологии электросталеплавильно печи могут работать на собственно и на привозных металлизированных окатышей.

Это дает возможность рассматривать уже несколько вариантов размещения предприятий черной металлургии. Если при коксодоменной схеме производства металла большинство заводов приближенно к железорудной базе с целью снижения транспортных расходов, то при работе на привозном металлизированном сырье может оказаться экономичней приближение металлургического завода к району, имеющим избытки металлолома и развитой металлопотребления.

Итак, наиболее важным независимым переменным факторам, относится отражающим три уровня агрегирования функциональных связей экономических показателей производства металлопродукцией, относятся следующие: изменение качества металлопродукцией и улучшение служебных характеристик машин, оборудования, строительных конструкций; вид топлива – восстановители, его ресурсы и технико – экономические характеристики; вид исходного железнорудного сырья, его ресурсы и технико-экономические характеристики структура металлошихты, а следовательно, и структура металлургических пределов; способы металлизации металлорудного сырья и их технико-экономические показатели; способы металлургической переработки металлизированного сырья и их технико-экономические показатели; состав металлургических заводов, их мощности и экономические показатель; капитальные вложения и текущие затраты осуществление мероприятий по охране окружающей природной среды; экономические условия районов развитие и размещение бескоксовой металлургии; земельные, водные, экологические условия и ресурсы размещения металлургических заводов; дальность перевозок железнорудного сырья, материалов, топлива и готовой продукции при развитии маломасштабной металлургии и другое.

3. Объект и методы исследования

3.1 Характеристика объекта исследования

Объектом исследования была руда Бакчарского железорудного месторождения, добытая методом гидродобычи. Руда измельчалась под сито 0.5 мм и хранилась в герметично закрываемой таре.

Для восстановления железа из руды использовались торфа с Васюганского месторождения. Образцы относятся к пластообразующим торфам, занимающим основной объем торфяных залежей. Запасы таких торфов можно считать реальным сырьем для производства по прямому восстановлению Бакчарских руд.

Основным компонентом ТРМ является руда, бурого цвета, состоящая в основном, из круглых блестящих оолитов бобовин гетита. ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гидрогетита ($3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). 86% всей массы руды представлено частицами размеров 0.25...1.0мм. Содержание железа общего в отобранном для исследования образце руды составило 52%.

Таблица 3.1 - Характеристика торфа месторождения Васюганское

Шифр образца	Торфяное месторождение	Тип торфа	Вид торфа	Степень разложения R,%	Зольность A,%
397-М4	Васюганское, уч.5 у с. Кр. Бакчар, п. "Осока"	переходный	Осоково-сфагновый	35	5,5

3.2 Подготовка образцов для исследования.

Сырую торфорудную массу выстилали слоем 1...2см и равномерно распределяли по нему измельченную руду. Для усреднения торфорудной массы её дважды пропускали через шнековый механизм и затем формировали путем выдавливания в специальной матрице цилиндрические

образцы диаметром 34...35мм, которые затем сушили в условиях лабораторного помещения до постоянного веса (воздушно-сухое состояние). Во время сушки периодически замеряли размеры и массу формовок для расчета усадки.

С получившимися ТРМ проведены испытания по их металлизации в режиме нагрева с постоянной скоростью 5С°/мин. Образцы помещали в реторту из жаропрочной стали емкостью 300мл и нагревали в тигельной электропечи ТЭП-1 до температур 500....1000С° с интервалом 100С°. Парогазовые продукты разложения ТРМ выводились через штуцер в крышке реторты в конденсационную аппаратуру (ловушка, водяной конденсатор). По достижению конечной температуры нагрева реторту извлекали из печи и охлаждали до комнатной температуры. Учитывая пирофорность продуктов восстановления при охлаждении в реторте поддерживали избыточное давление азота в течении полусуток. Для прогрева ТРМ до температуры 1100С° использовали высокотемпературную трубчатую печь СУОЛ-0,4412М2-У42. При этом ТРМ помещали в муллиткремнеземистую трубку с заглушённым торцом и отводом парогазовых продуктов через открытый торец.

3.3 Методика работы

Методика определения железа общего (валового) в продуктах прямого восстановления.[20,21]

3.3.1. Подготовка образца

Для надежного выполнения анализа восстановленный материал (ВМ) необходимо прокалить при 650-700С0 в течение 10-15 мин. для удаления углеродистого остатка(полукокса, кокса). С этой целью фарфоровая чашка с навеской 0.5г измельченная под сито 0.25мм устанавливается в муфельную печь при температуре не выше 300С°, нагревается в течение 30 минут до 650-700С° и выдерживается при этой температуре 10-15мин. Полнота удаления углеродистого вещества контролируется по отсутствию темноокрашенных

частиц в характерной для окислов железа коричневой массе прокаленного остатка.

3.3.2. Растворение

Прокаленный остаток из фарфоровой чашки переносят количественно в коническую колбу емкостью 50-100мл, приливают 10мл концентрированной HCl и 0.5 мл концентрированного раствора хлористого олова. Накрыв колбу часовым стеклом, нагревают раствор, не допуская бурного кипения и выдерживают на плитке до полного растворения или до образования нерастворимого остатка, характерного для данной руды. По предварительным данным (Сколубович Ю.В., дипломная работа 2007г.) при нагревании Бакчарской железной руды (кern 1968) с концентрированной HCl в течение 40 мин железо руды практически полностью переходит в раствор и остается 24% нерастворимого остатка (силикаты). При необходимости осадок может быть отфильтрован. Практика анализов ВМ в 2008г. показала, что осадок выпадает на дно колбы и не мешает анализу.

3.3.3. Восстановление железа до Fe^{2+}

После окончания растворения ВМ смывают с часового стекла и стенок колбы капли раствора в колбу небольшим объемом воды. Если раствор не окрашен в желтый цвет хлорного железа, значит, хлористое олово добавлено в избытке и его окисляют, добавляя по каплям раствор перманганата калия ($KMnO_4$ 2-3% р-р) до получения устойчивой слабо-желтой окраски. Затем раствор нагревают почти до кипения и восстанавливают Fe^{3+} , осторожно приливая разбавленный раствор $SnCl_2$ до исчезновения желтой окраски. Для надежности восстановления допускается избыток раствора $SnCl_2$ не больше 1-2 капель. Восстановленный раствор немедленно переводят в коническую колбу емкостью 500мл, содержащую 40мл серной кислоты (разб. 1:4), обмывают стенки колбы холодной водой, разбавляют ею раствор до 300- 350мл и перемешивают. Затем немедленно приступают к титрованию.

3.3.4. Титрование восстановленного раствора железа

Для титрования отбирают из полученного раствора аликвоту объемом 100мл, добавляют 10 мл раствора дифениламиносульфоната и сразу титруют рабочим раствором бихромата калия ($T=0,005585$ г железа на 1мл). Раствор в начале приливают со скоростью примерно 1мл за 1,5сек, а в конце, когда окраска из голубоватой переходит в салатно-зеленую, добавляют его по каплям, перемешивая после прибавления каждой капли. Концом титрования считают момент, когда появившаяся серая окраска от следующей капли раствора бихромата переходит в темно-фиолетовую, уже не изменяющуюся при дальнейшем прибавлении раствора. Отсчет показаний на бюретке ведут с точностью до 0,05мл.

Процентное содержание железа в восстановленном материале определяют по формуле:

$$Fe = \frac{V \cdot T \cdot 100}{N \cdot K}$$

где V- объем раствора бихромата пошедшего на титрование, мл;

T-титр раствора бихромата 0.005585г железа на 1мл раствора;

N-навеска восстановленного материала,г.

K-поправка на объем аликвоты (общий объем раствора/объем аликвоты) Анализ выполняют в 2х параллельных навесках и окончательный результат находят как среднее арифметическое из 2х параллельных опытов при расхождении между ними не более 0,2.

3.4. Методика определения железа двухвалентного (закись) в продуктах прямого восстановления [21,22]

3.4.1. Фазовое состояние железа в продуктах прямого восстановления

В продуктах восстановления одновременно могут присутствовать не более двух валентных состояний железа

а) Fe_2O_3/FeO

б) FeO/Fe

Первый случай имеет место на ранних стадиях восстановления, когда удаляется около 30% исходного кислорода FeO₃. Обычно эта стадия протекает быстро уже при температурах 600-800С°. Для превращения FeO→Fe нужны более высокие температуры. С высокой скоростью эта стадия протекает при температуре выше 900С°. Таким образом, при температурах восстановления ниже 800С° следует ориентироваться на фазовый состав Fe₂O₃/FeO, а при более высоких - на фазовый состав FeO/Fe.

В зависимости от фазового состояния железа методика анализа на железо закисное видоизменяется. При наличии в пробе одновременно металлического железа Fe⁰ и закисного Fe²⁺ железа в раствор переходят обе фазы в виде Fe, так как они находятся в тесном контакте в зернах руды. В дальнейшем истинное содержание Fe находят по разности между суммарным содержанием (Fe²⁺ + Fe⁰) и содержанием Fe⁰, найденным отдельным анализом на железо металлическое. Анализ мешают продукты разложения торфа (полукокс, кокс), которые необходимо отфильтровать перед титрованием.

3.4.2. Выполнение анализа

Для определение содержания Fe²⁺ навеску обрабатывают кислотами при нагревании и предохранении раствора от контакта с воздухом. В случае отсутствия Fe⁰ в раствор переходит железо Fe²⁺ и Fe³⁺ в тех же соотношениях, что и в твердом веществе.

При анализе проб, не содержащих Fe⁰, навеску восстановленного материала (ВМ) массой 0,5 г помещают в коническую колбу емкостью 250мл, засыпают в нее 2 г бикарбоната натрия и приливают 50 мл разбавленной 1:2 HCl. Колбу закрывают насадкой с гидрозатвором, содержащим 20-30 см³ 4-5% раствора бикарбоната натрия. Гидрозатвор служит для изоляции раствора от наружного воздуха. Содержимое колбы быстро нагревают до кипения и слабо кипятят в течение 20 - 40 мин, пока

объем раствора не уменьшится примерно наполовину. При растворении не допускается прекращение кипения во избежание засасывания раствора из гидрозатвора и попадания воздуха в реакционную колбу.

После растворения колбу снимают с плитки и быстро охлаждают. При охлаждении раствор из гидрозатвора засасывается в колбу. Добавляют через гидрозатвор 120 см³ разбавленной (1:25) серной кислоты и перемешивают. После охлаждения раствора отфильтровывают продукты термического разложения торфа на широкопористом стеклянном фильтре. Фильтрование следует провести быстро во избежание окисления Fe²⁺. В случае незначительной концентрации углеродистых частиц фильтрование не требуется.

В раствор добавляют 10 мл раствора дифениламиносульфоната натрия и титруют раствором бихромата калия. Раствор бихромата в начале приливают со скоростью примерно 1 мл за 1,5 сек, а в конце, когда окраска переходит из светло-зеленой со слабым голубоватым оттенком в салатно-зеленую, добавляют его по каплям, перемешивая после прибавления каждой капли. Концом титрования считают момент, когда появившаяся серая окраска от следующей капли бихромата переходит в темно-фиолетовую, уже не изменяющуюся при дальнейшем прибавлении раствора. Отчет показаний на бюретке ведут с точностью до 0,05 мл. Содержание Fe в % определяют по формуле:

—

где T- титр раствора бихромата калия, 0,005585 г Fe на 1 см³

Y- объем раствора бихромата, израсходованный на титрование, мл

N- навеска пробы, г

При анализе проб, содержащих Fe^o, навеску 0,5 г помещают в коническую колбу емкостью 250 мл, всыпают в нее около 0,1 г двууглекислого натрия, приливают 10-15 мл серной кислоты, разбавленной

1:9. Накрыв колбу часовым стеклом, кипятят на плитке 5 мин. После этого в колбу быстро всыпают 2 г двууглекислого натрия и немедленно приливают 50 мл разбавленной 1:2 HCl. Быстро закрывают колбу гидрозатвором с раствором бикарбоната и ставят на горячую плитку. Дальнейший ход анализа такой же, как и в случае отсутствия в пробе Fe^o. По формуле находят суммарное содержание Fe²⁺ и Fe^o (ΣFe).

3.5. Методика определения железа металлического в продуктах прямого восстановления [21,23]

Сущность метода заключается в селективном растворении железа металлического при обработке продуктов восстановления раствором хлорного железа (pH=1,0 ± 0,05) в присутствии хлористого калия и титровании двухвалентного железа раствором бихромата калия в присутствии индикатора дифениламиносульфоната натрия.

Навеску восстановленного торф орудного материала массой 0,5 г (при массовой доле металлического железа более 92% масса навески не более 0,45 г) помещают в сухую коническую колбу вместимостью 250 или 500 см, приливают 50 мл раствора хлорного железа и перемешивают 30-60 мин на магнитной мешалке или на встряхивающей машине. Раствор переливают в мерную колбу вместимостью 250 см³, доливают водой до метки и перемешивают. Затем раствор фильтруют через сухой складчатый фильтр в сухой стакан, отбрасывая первые порции фильтрата. Отбирают аликвоту 50 мл и помещают ее в коническую колбу вместимостью 500мл, приливают 300-350 мл воды, 20 мл смеси кислот, 2 мл раствора индикатора и титруют раствором двуххромовокислого калия до устойчивой темно - фиолетовой окраски. При массовой доле металлического железа не менее 5% используют для титрования разбавленный раствор двуххромовогокислого калия (основной раствор разбавить в 4 раза).

Массовую долю металлического железа ($X_{Fe\text{ мет}}$) в процентах вычисляют по формуле:

$$X_{\text{Fe мет}} = \frac{3 \cdot T \cdot 100}{V \cdot t}$$

где T-титр раствора двухромовокислого калия по железу, г/мл

V- объем раствора двухромовокислого калия, израсходованный на титрование раствора анализируемой пробы, см³;

3 - коэффициент, учитывающий долю металлического железа в общем количестве железа, определенном при титровании;

t- масса навески восстановленного торфорудного материала, г.

Аппаратура необходимая для определения содержания общего, двухвалентного и металлического железа в образцах.

Аналитические весы с точностью 0.0001; плита электрическая; встряхиватель; бюретка для титрования; колбы конические термостойкие объемом 500 и 250 мл; стаканчики объемом 100 и 10 мл; мерные пипетки на 25 и 1 мл; часовые стекла; пробки с П-образной стеклянной трубкой; капельница для индикатора; пористые стеклянные фильтры;

3.6. Расчет степени восстановления и степени металлизации

Степень восстановления определяется как отношение отнятого при восстановлении кислорода окисла к исходному содержанию кислорода окисла. В случае восстановления торфорудного материала (ТРМ) степень восстановления α находят по формуле:

$$\alpha = \frac{O_{\text{отн}}}{O_{\text{исх}}} \cdot 100\%$$

α - степень восстановления, %

O_{исх} - содержание кислорода Fe₂O₃ руды до восстановления, %

O_{отн} - отнятое при восстановлении содержание кислорода, %

O_{отн} = O_{исх} - O_{ост}

Отнятое содержание кислорода руды находят по разнице между исходным и остаточным содержанием кислорода руды. При расчете исходного содержания кислорода в окислах руды считаем, что в исходной руде все железо находится в виде Fe_2O_3 . Таким образом, из стехиометрии окисла содержание $O_{исх}$ составляет:

$$O_{исх} = Fe_{общ} * 0,43$$

где $Fe_{общ}$ - общее содержание железа в восстановленном ТРМ, %

Остаточное содержание кислорода в окислах руды ТРМ определяют по результатам анализа восстановленного ТРМ на $Fe_{общ}, Fe^{2+}, Fe_{мет}$ – содержание 2-х валентного железа в восстановленном ТРМ, %.

$Fe_{мет}$ - содержание металлического железа в восстановленном ТРМ, %

Из физико-химии восстановления окисла железа известно, что процесс проходит ступенчато, через промежуточные фазы:



Из практики восстановления известно, что одновременно в восстановленном продукте присутствует не более двух фаз, причем при низких температурах (ниже $800^\circ C$) совместно присутствует Fe_2O_3 и FeO .

При более высоких температурах ($800^\circ C$ и выше), появляется металлическое железо и одновременно в продуктах восстановления находится Fe^{2+} и $Fe_{мет}$. Отсюда расчет остаточного кислорода $O_{осх}$ проводят по-разному, в зависимости от температуры восстановления.

Расчет остаточного кислорода $O_{осх}$ и степени восстановления α в продуктах восстановления, прогретых до $500-800^\circ C$.

Остаточное содержание кислорода железа окисного ($O_{ок}$) и закисного ($O_{зак}$):

$$O_{ост} = O_{ок} + O_{зак}$$

$$\text{где } O_{ок} = Fe^{3+} * 0.43 \quad O_{зак} = Fe^{2+} * 0.29$$

Содержание Fe^{2+} находят непосредственно анализом восстановленного материала (ГОСТ 23581.3-79). Содержание Fe^{3+} находят по разности между $Fe_{\text{общ}}$ и Fe^{2+}

$$Fe^{2+} = Fe_{\text{общ}} - Fe^{3+}$$

Таким образом, окончательно уравнение для расчета степени восстановления ТРМ в интервале температур 500-800°C будет иметь следующий вид:

$$\alpha = \frac{Fe_{\text{общ}} - Fe_{\text{мет}}}{Fe_{\text{общ}} - Fe^{3+}}$$

Расчет остаточного кислорода $O_{\text{ост}}$ и степени восстановления α в продуктах восстановления, прогретых до 900-1100°C

В продуктах восстановления, полученных в интервале температур 900- 1100°C, содержатся Fe^{2+} и $Fe_{\text{мет}}$. Остаточное содержание кислорода определяют по содержанию Fe^{2+}

$$O_{\text{ост}} = Fe^{2+} * 0,29$$

При этом содержание Fe^{2+} находят по разности между $Fe_{\text{общ}}$ и $Fe_{\text{мет}}$

$$Fe^{2+} = Fe_{\text{общ}} - Fe_{\text{мет}}$$

Содержание $Fe_{\text{мет}}$ определяют в продуктах восстановления непосредственно анализом (ГОСТ 26482-90). Степень восстановления α рассчитывают по уравнению:

$$\alpha = \frac{Fe_{\text{общ}} - Fe_{\text{мет}}}{Fe_{\text{общ}} - Fe^{3+}}$$

Расчет степени металлизации:

$$\psi = \frac{Fe_{\text{мет}}}{Fe_{\text{общ}}} * 100\%$$

4. Результаты проведенных исследований

Таблица 4.1 - Результаты определения общего железа, Соотношение торф-руда 40-60% 397-М4,

Температура, °С	Навеска, г	Объем, см ³	Fe, %	Fe ср., %
500	0,4999	12,5	41,85	42,55
	0,5004	12,9	43,24	
600	0,5000	13,8	46,24	46,57
	0,5002	14,0	46,9	
700	0,5009	15,5	51,85	51,74
	0,4998	15,4	51,63	
800	0,5006	15,8	52,88	53,87
	0,5010	16,4	54,85	
900	0,5010	17,1	57,19	56,73
	0,5003	16,8	56,26	
1000	0,5007	17,5	58,56	58,88
	0,5010	17,7	59,2	
1100	0,5004	18,8	62,95	62,08
	0,5010	18,3	61,2	

Таблица 4.2 - Результаты определения железа двухвалентного,
Соотношение торф-руда 40 - 60%, 397-М4,

Температура, ° С	Навеска, г	Объем бихромата, см ³	Fe ²⁺ , %	Fe ²⁺ ср.,%
500	0,5001	15,5	17,3	17,47
	0,5003	15,8	17,64	
600	0,5001	16,5	18,43	18,53
	0,5006	16,7	18,63	
700	0,5006	17,9	19,97	19,82
	0,4999	17,6	19,66	
800	0,5001	19,7	22,0	22,17
	0,5003	20,0	22,33	

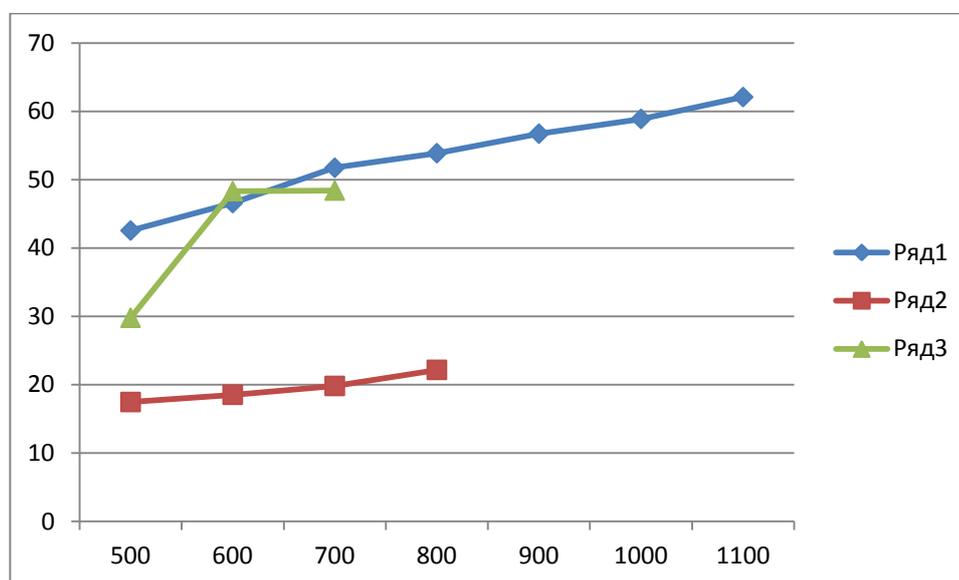
Таблица 4.3 - Результаты определения железа металлического,
соотношение торф - руда 40-60%, 397-М4,

Температура, °С	Навеска, г	Объем бихромата, см ³	Femet, %	Femet ср.,%
900	0,5006	16,0	29,79	29,79
	0,5001	16,0	29,79	
1000	0,5004	26,0	48,40	48,31

Продолжение таблицы 4.3

	0,5011	25,9	48,22	
1100	0,5000	26,0	48,40	48,4
	0,5007	26,0	48,40	

Рис 6.Процентное содержание железа в восстановленном материале при соотношении торф-руда 40-60%



Ряд 1 – содержание общего железа;

Ряд 2 – содержание железа двухвалентного

Ряд 3 – содержание железа металлического

Таблица 4.4 - Результаты определения общего железа, соотношение 10 - 90%, 397-М4,

Температура, 0 С	Навеска, г	Объем бихромата, см ³	Fe, %	Fe ср., %
500	0,5002	15,8	52,93	53,59
	0,5004	16,2	54,24	

Продолжение таблицы 4.4

600	0,5001	16,0	53,61	54,25
	0,5006	16,4	54,89	
700	0,4993	16,7	56,04	56,46
	0,5008	17,0	56,88	
800	0,5006	17,3	57,9	57,9
	0,5005	17,3	57,91	
900	0,5016	17,8	59,46	58,75
	0,4994	17,3	58,04	
1000	0,5001	18,3	61,31	61,78
	0,5006	18,6	62,25	
1100	0,5014	19,3	64,49	65,35
	0,5011	19,8	66,2	

Таблица 4.5- Результаты определения железа двухвалентного, соотношение 10-90%, 397-М4,

Температура, °С	Навеска, г	Объем бихромата, см ³	Fe ²⁺ , %	Fe ²⁺ ср., %
500	0,5003	6,0	6,7	6,65

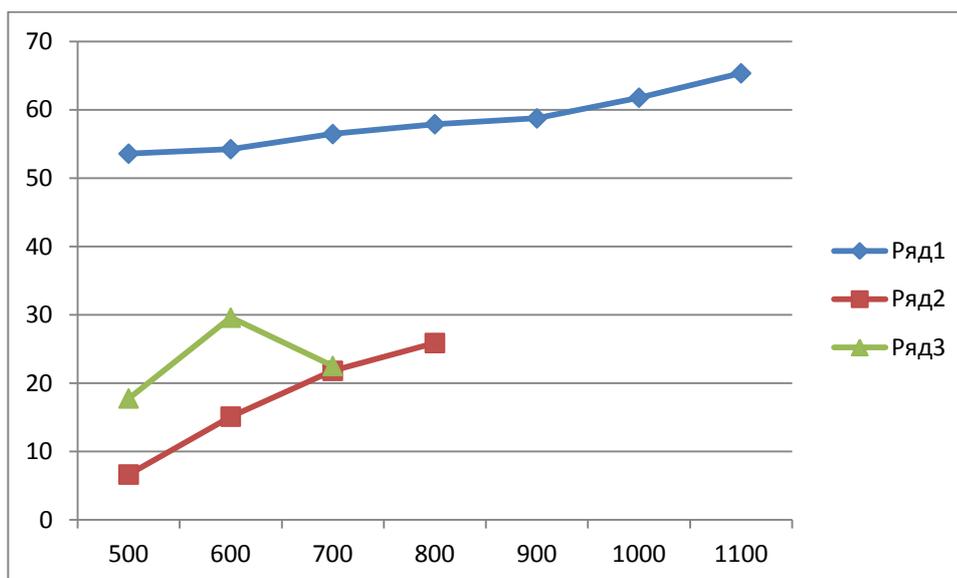
Продолжение таблицы 4. 5

	0,5004	5,9	6,59	
600	0,5007	13,4	14,95	15,12
	0,5007	13,7	15,28	
700	0,5000	19,6	21,89	21,82
	0,5009	19,5	21,74	
800	0,5006	25,0	27,89	25,89
	0,5007	25,0	27,89	

Таблица 4.6 - Результаты определения железа металлического, соотношение 10-90%, 397-М4,

Температура, °С	Навеска, г	Объем бихромата, см ³	Femet, %	Femet ср.,%
900	0,5001	9,5	17,69	17,78
	0,5002	9,6	17,87	
1000	0,5009	15,8	29,41	29,60
	0,5012	16,0	29,79	
1100	0,5003	12,2	22,71	22,53
	0,5009	12,0	22,34	

Рис 2.Процентное содержание железа в восстановленном материале при соотношении торф-руды 10-90%



Ряд 1 – содержание общего железа

Ряд 2 – содержание железа двухвалентного

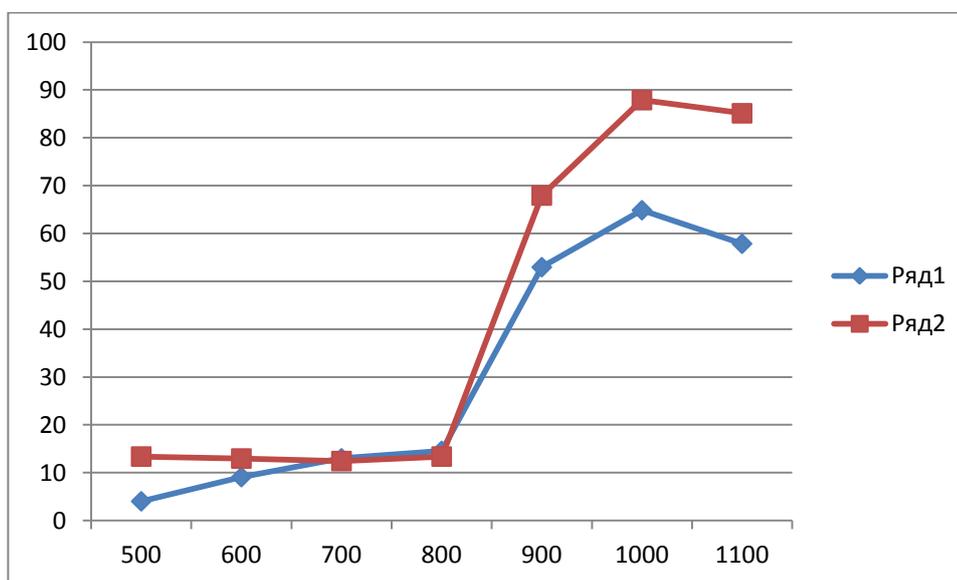
Ряд 3 – содержание железа металлического

Таблица 4.7 - Степень восстановления торфорудных материалов.

Соотношение торф-руды 10:90%		Соотношение торф-руды 40:60%	
Температура °С	а %	Температура °С	а%
500	4,04	500	13,39
600	9,09	600	12,98
700	13,02	700	12,45
800	14,58	800	13,39
900	52,97	900	67,94
1000	64,87	1000	87,88
1100	57,86	1100	85,13

Рисунок 3 - Зависимость восстановления торфорудных материалов от температуры коксования

Степень восстановления торфорудных материалов



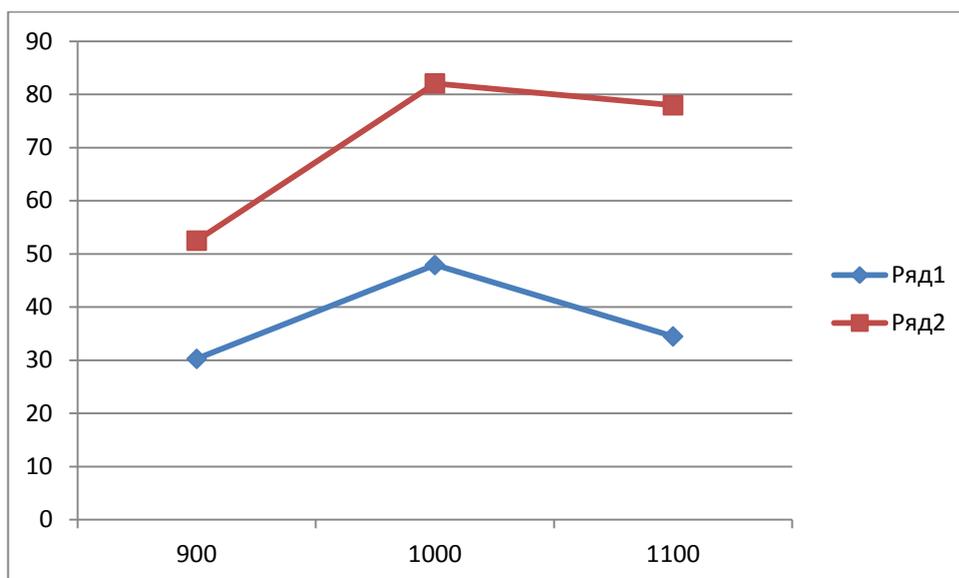
Ряд 1 – степень восстановления торфорудных материалов для состава 10/90

Ряд 2 – степень восстановления торфорудных материалов для состава 40/60

Таблица 4.8 - Степень металлизации торфорудных материалов.

Соотношение торф-руда 10:90%		Соотношение торф-руда 40:60%	
Температура, °C	¥, %	Температура, °C	¥, %
900	30,26	900	52,49
1000	47,91	1000	82,05
1100	34,48	1100	77,96

Рис. 4 Степень металлизации торфорудных материалов



Ряд 1 – степень металлизации торфорудных материалов для состава 10/90

Ряд 2 – степень металлизации торфорудных материалов для состава 40/60

В данной работе был проанализирован восстановленный торфорудный материал содержащий торф 397-М4 (переходный осоково-сфагновый) с составом 40% торфа 60% руды и 10% торфа и 90% руды (концентрат обогащения путем магнитной сепарации). Этот торфорудный материал был восстановлен при температуре 500-1100°C. В каждом образце были проведены анализы на содержание $Fe_{\text{общ}}$, Fe^{2+} и $Fe_{\text{мет}}$. Методика анализа заключается в растворении образцов в соляной кислоте и определение содержания Fe бихроматным методом.

Полученные данные представлены в таблицах 4.1 – 4.8.

При нагревании торфорудных материалов протекает две группы реакций: термическое разложение торфа и восстановление окислов железа. Судя по выходу летучих в продуктах восстановления, процесс коксования торфа завершается при температуре 600°C. В этот период процессы восстановления протекают с низкой скоростью с участием летучих продуктов разложения торфа. За счет потери летучих, содержание общего железа в продуктах восстановления постепенно возрастает.

Заключение

В результате проведения исследования четырнадцати проб Бакчарского железнорудного материала месторождения «Васюганского» определено, общее (валовое) железо, двухвалентное и металлическое железо в пробах состава 10/90 и 40/60.

Объектом исследования была руда Бакчарского железнорудного месторождения, добытая методом гидродобычи.

Для восстановления железа из руды использовались торфа с Васюганского месторождения. Образцы относятся к пластообразующим торфам, занимающим основной объем торфяных залежей. Запасы таких торфов можно считать реальным сырьем для производства по прямому восстановлению Бакчарских руд.

При нагревании торфорудных материалов протекает две группы реакций: термическое разложение торфа и восстановление окислов железа. Судя по выходу летучих в продуктах восстановления, процесс коксования торфа завершается при температуре 600°C. В этот период процессы восстановления протекают с низкой скоростью с участием летучих продуктов разложения торфа. За счет потери летучих, содержание общего железа в продуктах восстановления постепенно возрастает.

Список используемой литературы:

1. Ладыгичев М.Г., Чижикова В.М., Лобанов В.И. и др. Сырье для черной металлургии. Справочник. Т. 1. – М.: Машиностроение, 2001. – 896 с.
2. Леонтьев Л.И., Юсфин Ю.С., Малышева Т.Я. и др. Сырьевая и топливная база черной металлургии. – М.: ИКЦ Академкнига, 2007. – 304 с.
3. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Ф.Н. Шахова. – Новосибирск: Изд_во СО АН СССР, 1964. – 448 с.
4. Архипов В.С., Маслов С.Г., Долгов А.В., Каревская А.О. Свойства торфорудных материалов на основе бакчарской руды и торфа Васюганского месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 1. – С. 44–47.
5. Гурова Т.И., Сорокина Е.Г. О верхнемеловых железных рудах восточной части Западно-Сибирской низменности // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1959. № 6. С. 52-61.
6. Западно-Сибирский железорудный бассейн / Под ред. Ф.Н.Шахова. - Новосибирск: СО РАН СССР, 1964.
7. Бабин А. А. Бакчарское железорудное месторождение (геология, закономерности размещения и генезис железных руд): Автореф. дис... канд. геол.-минер.-наук.- Томск: ТПИ, 1969.
8. Нетрадиционное гидрогенное оруденение металлов платиновой группы в чехле Западно-Сибирской платформы / ПМ.Шор, Э.А.Ланда, Л.Г.Гусинова и др. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. М., 1999. Т. 111. С. 345-352.
9. Боярко Г.Ю. Проблемы обеспечения железной рудой металлургических комбинатов Новокузнецка // Металлы Евразии. 2003. № 5. С. 34-37.
10. Пугачев А.Р. Федор Еремеев — первооткрыватель железных руд Сибири // Вопросы географии Сибири. Томск, 1949. № 1. С. 105-121.
11. Пшеничкин А.Я., Коробейников А.Ф., Колпакова Н.А. Проявления благороднометальной минерализации в осадочных железных рудах

Бакчарского месторождения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири. Томск, 2005. С. 274-277.

12. Сухорученков А. Железорудное сырье: прогноз на завтра /У Металлы Евразии. 2005. № 1. С. 32-35.

13. Железорудная база России / Под. ред. В.П.Орлова, М.И.Веригина, Н.И.Голивкина. - М.: Геоинформмарк, 1998

14. Мазуров А.К., Боярко Г.Ю., Ананьев А.А., Емешев В.Г. Перспективы освоения железорудных месторождений Томской области И Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2005. № 5. С. 16-20.

15. Опыт скважинной гидродобычи руд на Шамраевском участке КМА / В.Ж.Аренс, А.Д.Панков, А.Г.Балашов и др. // Горный журнал. 1995. №. 1. С. 25-26.

16. Дмитриев Г.П., Гичиташвили Т.Ш., Махарадза Л.И. Напорные гидротранспортные системы. - М.: Недра, 1991.

17. Тигунов Л.П. Состояние и перспективы развития сырьевой базы черной металлургии России // Минеральные ресурсы России. 1994. № 3. С. 20-24.

18. Доброхотов Н. Н., Махорин К. Е. – Изв. вузов. Черной металлургии, 1958, №10, с. 9-13.

19. Привалов С. И., Тимофеев В. Н., Боковиков Б. А. – Сталь, 1960, №1, с. 3-10.

20. Ляликов Ю. С., Ткаченко Н. С., Добржанский А. В., Сакунов В. И. Анализ железных, марганцевых руд и агломератов – М.: Металлургия, 1966 – 311с.

21. ГОСТ 23581.3-79. Руды железные, концентраты, агломераторы и окатыши. Метод определения двухвалентного железа в пересчете на закись М.: Изд-во стандартов 1982.

22. ГОСТ 26482-90. Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши предварительно восстановленные. Метод определения металлического железа. М.: Изд-во стандартов, 1990.

23. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утверждено Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ № ВК 477 от 21.06.1999 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа . - <http://www.cfin.ru/>

24. Новицкий, Н.И., Пашуто, В.П. Организация, планирование и управление производством: Учебн.-методич. пособие/ Под ред. Н.И. Новицкого. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 576с.

25. Пашуто, В.П. производственный менеджмент: Учебн.-методич. комплекс / Авт.-сост. В.П. Пашуто – Мн: ФУСТ БГУ, 2004. – 188с.

26. Пелих, С.А., Гоев, А.И., Плотницкий, М.И. Производственный менеджмент. Управление предприятием: Учебн. Пособие/ С.А. Пелих, А.И. Гоев, М.И.Плотницкий и др. – Мн.: БГЭУ, 2003 – 555с.

27. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистрантов, специалистов и бакалавров всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ Составители С.В. Романенко, Ю.В. Анищенко