

На правах рукописи



РУДМИН МАКСИМ АНДРЕЕВИЧ

**СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И ТИПЫ РУД БАКЧАРСКОГО
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Мазуров Алексей Карпович

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Александрович
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»
(СФУ, г. Красноярск), директор Института горного дела,
геологии и геотехнологий, заведующий кафедрой геологии
месторождений и методики разведки

Бабенко Владимир Витальевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный
университет» (УГГУ, г. Екатеринбург), декан факультета
геологии и геофизики

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Сибирский научно-исследовательский институт геологии,
геофизики и минерального сырья» (ФГУП «СНИИГГиМС»,
г. Новосибирск)

Защита диссертации состоится «21» мая 2015 года в 14 час 30 мин на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (20-й корпус, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
к. г.-м. н., доцент



Л.В. Жорняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований связана с текущей проблемой железорудной минерально-сырьевой базы России. Имеющаяся диспропорция размещения металлургических комбинатов и их сырьевой базы, приводит к необходимой транспортировке товарной руды на значительные расстояния. Более 75 % товарных руд железа производится в европейской части страны, тогда как свыше 60 % металлургических мощностей приходится на Урал и Западную Сибирь со сложившимся дефицитом местных руд. Истощение сырьевой базы отдельных железорудных районов Сибири объясняется длительными сроками эксплуатации месторождений, ухудшением геологических и горнотехнических условий их разработки, параллельно с увеличением мощностей металлургических предприятий. В стратегии развития черной металлургии России до 2030 года (Стратегия развития..., 2014) прописываются основные плановые мероприятия, направленные на решение назревшей проблемы. При этом к числу актуальных задач относится проведение геологоразведочных работ на выявленных перспективных площадях и объектах для оценки новых сырьевых баз железорудного сырья, в первую очередь, в центрах экономического роста Сибири и Дальнего Востока. Одним из таких объектов является Западно-Сибирский железорудный бассейн и наиболее изученное в его пределах Бакcharское рудопроявление. Данное рудопроявление общеизвестно как Бакcharское *месторождение*, но автор использует понятие *рудопроявление*, так как официальные запасы железных руд не числятся на государственном балансе, что доказывает несоответствие термину «месторождение». В связи с острым дефицитом местного сырья для Западно-Сибирского металлургического комбината, а также комбинатов Уральского федерального округа, в настоящее время как никогда требуется решить вопрос освоения Бакcharского рудопроявления как наиболее изученного в пределах Западно-Сибирского железорудного бассейна.

С момента открытия Бакcharскому рудопроявлению было посвящено более 100 научных работ, защищена докторская диссертация (Н.Х. Белоус, 1965 г.) и четыре кандидатские диссертации (И.В. Николаева, 1966; А.Н. Кондаков, 1967; А.А. Бабин, 1969; Е.М. Асочакова, 2014). В 1964 году была издана обобщающая монография «Западно-Сибирский железорудный бассейн», которая до сих пор является «настойной книгой» всех, кто исследует Бакcharское железорудное проявление. Изучением этого уникального объекта занималась широкая плеяда ученых прошлого столетия и современности: А.А. Ананьев, С.И. Ануфриева, С.И. Арбузов, Е.М. Асочакова, А.А. Бабин, Е.А. Бабина, Г.Е. Баканов, Н.Х. Белоус, Г.Ю. Боярко, О.М. Гринёв, Е.Я. Горюхин, В.А. Домаренко, В.В. Ершов, Ю.П. Казанский, А.С. Калугин, А.М. Кассир, А.Н. Кондаков, М.В. Кляровский, А.М. Кузьмин, А.К. Мазуров, А.С. Мухин, М.П. Нагорский, И.В. Николаева, М.С. Паровинчак, А.Я. Пшеничкин, Л.П. Рихванов, С.А. Скробов, Л.П. Тигунов, Н.А. Чинакал, Г.М. Шор и многие др..

Как известно вещественный состав и технологические свойства железных руд на подготовленном к промышленному освоению месторождении должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их переработки. Известные на настоящий момент классификации бакчарских руд (Западно-Сибирский..., 1964; Белоус, 1965; Николаева, 1967; Бабин, 1969; Паровинчак, 2009 ф; Асочакова, 2013) имеют недостатки, основными из которых являются сложная геометризация типов руд в полевых условиях и принципиально единственный фактор типизации (минеральный состав, структурные свойства и т.п.). В связи с этим в первую очередь необходимо на современном уровне изучить вещественный состав руд с применением прецизионных лабораторных методов, после чего провести их типизацию по комплексу факторов, определяющих технологическую схему переработки руд. При этом с необходимой детальностью требуется исследовать рыхлые железные руды, так как в настоящее время они являются наиболее перспективным для первоочередной разработки нетрадиционным способом (скважинная гидродобыча (СГД)). Установление условий формирования определенных типов руд позволит прогнозировать их распространение на соседних площадях Западно-Сибирского железорудного бассейна, а также на месторождениях со сходными геологическими условиями.

Цель работы.

На основе фациальных обстановок разработать седиментационную модель формирования железных руд Бакчарского рудопоявления и провести их типизацию по комплексу вновь обоснованных геолого-минералогических факторов.

Задачи работы.

1. Изучить фациальные обстановки локализации оолитовых железных руд. Разработать седиментационную модель формирования руд.
2. Детально изучить морфологию и минералогическую оолитовых руд (в том числе по гранулометрическим классам) на электронном микроскопе, а также с применением других прецизионных лабораторных методов.
3. Установить содержание и формы нахождения ценных (Fe), вредных (P, As, S, Cu, Zn, Sn, Pb) и легирующих (V, Cr, Mn, Ni, Co) элементов в рудах и породах. Для сыпучих руд определить химический состав в каждом гранулометрическом классе и выделить наиболее богатые фракции.
4. По установленному комплексу геолого-минералогических факторов выделить типы руд.

Фактический материал и методы исследований.

В основе исследований лежат материалы поисковых работ на Бакчарском рудопоявлении, собранные в период 2012-2014 гг. Графическими материалами послужили геологические планы, разрезы и колонки скважин, построенные по результатам поисково-оценочных работ в 1960-х годах и в период с 2006 по 2013 гг. Для лабораторно-аналитических работ использовались пробы, отобранные из керна скважин (2006-2013 гг.). Всего было изучено около

4500 пог. м. керна скважин, отобрано более 230 проб с различных участков рудопроявления.

Весь объем аналитических работ выполнялся на базе лабораторий Томского политехнического университета. Пробоподготовка осуществлялась на базе кафедры геологии и разведки полезных ископаемых (ГРПИ) Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ) в «Оптико-шлифовальной» лаборатории (зав. лабораторией С.М. Сваровский) и лаборатории «Геологии золота» (зав. лабораторией А.Я. Пшеничкин). Гранулометрический анализ рыхлых, слабо и средне сцементированных проб осуществлялся методом «мокрого» ситования при помощи стандартного набора сит.

Минералого-петрографические исследования руд производились следующими методами: оптическая микроскопия (ПОЛАМ Р-312 и МСП-1, более 100 шлифов), рентгенофлуоресцентная микроскопия (HORIBA XGT-7200, 35 образцов, около 900 спектров), электронная микроскопия (TESCAN VEGA 3 SBU с ЭДС OXFORD X-Max 50, более 500 спектров и СЭМ Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010, аналитик С.С. Ильенок), инфракрасная спектроскопия (Shimadzu IRPrestige-21, 20 проб), термический анализ (SDT Q600, оператор Т.П. Морозова, 16 проб), рентгеноструктурный анализ (Shimadzu XRD-7000S, оператор А.А. Качаев, 12 проб).

Химический состав руд устанавливался методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, оборудование NexION 300D, аналитик И.С. Мазурова, 87 проб) и рентгенофлуоресцентным анализом. Геохимические исследования основывались на системе петрохимических модулей и геохимических индикаторов, которые вычислялись по данным химических анализов.

Магнитная восприимчивость пород и руд определялась методом каппаметрии (прибор КТ-10), при этом общая длина измеренного керна составила около 2800 метров (более 9000 замеров). Результаты каппаметрии сравнивались с процентным содержанием железа, полученным по данным рентгенофлуоресцентного анализа (РФА, INNOV-X Delta, около 14000 замеров).

Основные защищаемые положения.

1. Оолитовые железные руды Бакчарского рудопроявления формировались согласно седиментационной модели в специфических фациальных обстановках. Рыхлые руды локализовались в отложениях фации оолитовых песков подвижного мелководья (валов и баров), сцементированные – в отложениях фации песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов.

2. В рыхлых рудах основная доля железа концентрируется во фракции (-1+0,2) мм, которая на 80 % состоит из гидрогетитовых оолитов (с гетитом, лептохлоритом, куларитом) и на 20 % – терригенных компонентов (кварц, полевые шпаты, обломки гидрогетитовых оолитов, обломки глауконита, в единичных случаях магнетит, ильменит, циркон,

рутил). Средний выход фракции (-1+0,2) мм составляет 84,7 % со средним содержанием $Fe_{\text{общ}} - 36,3 \%$, $P - 0,3 \%$, $V - 0,2 \%$, что позволяет считать её наиболее богатой для рыхлых руд.

3. Современный комплексный минералого-геохимический анализ позволил выделить три главных природных типа железных руд Бакчарского рудопроявления: *сыпучие гидрогетитовые руды, слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко цементированные сидерит-гидрогетитовые руды.*

Научная новизна.

Установлены специфические фациальные обстановки формирования оолитовых железных руд Бакчарского рудопроявления и разработана модель их седиментации.

Выявлены гранулометрические классы рыхлых руд, имеющие максимальный процентный выход, определен их химический состав. Доказано, что фракция (-1+0,2) мм является наиболее перспективной для обогащения.

На основе комплекса геолого-минералогических факторов выделены три типа руд Бакчарского рудопроявления: сыпучие гидрогетитовые руды, слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко цементированные сидерит-гидрогетитовые руды.

С применением электронной микроскопии охарактеризованы ранее не описанные на рудопроявлении минералы: куларит, галенит.

Практическая значимость.

Выделенные фации являются критерием при прогнозировании руд на соседних площадях. Представленная характеристика вещественного состава и предложенная классификация руд служат исходными данными для разработки технологической схемы их переработки. Выделенные типы железных руд могут оперативно определяться в полевых условиях (по окраске, текстурно-структурным особенностям, значениям магнитной восприимчивости) без применения затратных лабораторных методов.

Личный вклад автора.

Автором был произведен отбор проб из рудных горизонтов (скважины 2006-2013 гг.). Лично выполнены следующие работы: фациальный анализ рудной толщи; гранулометрический анализ руд; макро- и микроскопическое описание проб; рентгенофлуоресцентный анализ руд на микроскопе; электронная микроскопия руд; инфракрасная спектроскопия; интерпретация результатов термического анализа и рентгеноструктурного анализа; обработка данных ИСП-МС; геохимическая индикация и расчет петрохимических модулей; каппаметрия и обработка данных рентгенофлуоресцентного экспресс-анализа керна. Автор участвовал в написании проекта «Поисково-оценочные работы на бурые железняки в южной части Западно-Сибирского железорудного бассейна (междуречье рр. Андармы и Иксы, Томская область)» в 2012 г.

Апробация работы и публикации.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: XVII, XVIII Международных симпозиумах

имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2013, 2014 г.); XIX научной молодежной школе «Металлогения древних и современных океанов – 2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов» (Миасс, 2013); Всероссийской научной геологической молодежной школе «Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В.А. Обручева, М.А. Усова, Н.Н. Урванцева до наших дней» (Томск, 2013); VII Всероссийском литологическом совещании «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» (Новосибирск, 2013); Всероссийской конференции (с международным участием) «Рудообразующие процессы: от генетической концепции к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений» (Москва, 2013); Пятой научно-практической школе-конференции молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 2013); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы образования и науки» (Тамбов, 2013); XIII конференции Студенческого Научного Общества Геологического факультета СПбГУ «Геология в различных сферах» (Санкт-Петербург, 2014); минералогическом семинаре с международным участием «Проблемы и перспективы современной минералогии (Юшкинские чтения–2014)» (Сыктывкар, 2014). Также результаты диссертационных исследований рассматривались на научных семинарах кафедры геологии и разведки полезных ископаемых ТПУ. По итогам XVII и XVIII международных симпозиумов имени академика М.А. Усова, доклады автора отмечены Дипломами первой степени. Научная работа «Фациальные особенности и магнитная восприимчивость рудовмещающих отложений Бакчарского железорудного проявления (Томская область)» была представлена на Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области наук о Земле (Томск, 2013), где ей был присвоен Диплом второй степени.

По теме исследований автор принимал участие в двух хоздоговорных работах и гранте РФФИ 13-05-98045.

По теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 3 в журналах, входящих в перечень ВАК, и 2 – в журнале, входящем в базу данных SCOPUS и Web of Science. Также одна статья находится в печати в журнале «Доклады Академии наук» (ВАК, SCOPUS, Web of Science).

Структура работы.

Диссертация, объемом 165 страниц, состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы в количестве 159 наименований. Работа содержит 46 иллюстрации и 28 таблиц.

Благодарности.

Автор выражает особую благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры ГРПИ, первому проректору ТПУ Алексею Карповичу Мазурову за всестороннюю помощь и высокий профессионализм при руководстве диссертационной работы. За

ценные советы и консультации автор глубоко признателен д. г.-м. н. Л.П. Рихванову, д. г.-м. н. И.В. Кучеренко, д. г.-м. н. В.Г. Ворошилову, д. г.-м. н. С.И. Арбузову, к. г.-м. н. В.А. Домаренко, к. г.-м. н. Р.Ю. Гаврилову, к. г.-м. н. А.Я. Пшеничкину, к. г.-м. н. А.Н. Орехову.

За постоянную поддержку и помощь при написании диссертации автор благодарит своих коллег, сотрудников кафедры ГРПИ ТПУ: А.Ф. Коробейникова, Ф.Б. Бакшта, Н.Ф. Столбову, Ю.С. Ананьева, Т.И. Полуэктову, А.Н. Кряжова, С.М. Сваровского, Т.В. Тимкина, О.В. Савинову, Л.А. Краснощекову, а также профессора кафедры ГИГЭ О.Г. Савичева. Автор выражает признательность сотруднику томского филиала СНИИГиМС Н.Я. Тищенко за консультации и ценные замечания.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение

Оолитовые железные руды Бакчарского рудопроявления формировались согласно седиментационной модели в специфических фациальных обстановках. Рыхлые руды локализовались в отложениях фации оолитовых песков подвижного мелководья (валов и баров), сцементированные – в отложениях фации песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов.

Бакчарское рудопроявление расположено в юго-восточной части Западно-Сибирского железорудного бассейна (рис. 1), в административном отношении в 200 км северо-западной г. Томска. Проявления железа в пределах бассейна прослежены в полосе шириной 150 км и протяженностью около 2000 км (от бассейнов рек Турухан, Большая Хета на северо-востоке до верхнего течения р. Тобол на юго-западе). Общая площадь бассейна составляет 300000 км², в том числе на территории Томской области около 80000 км².

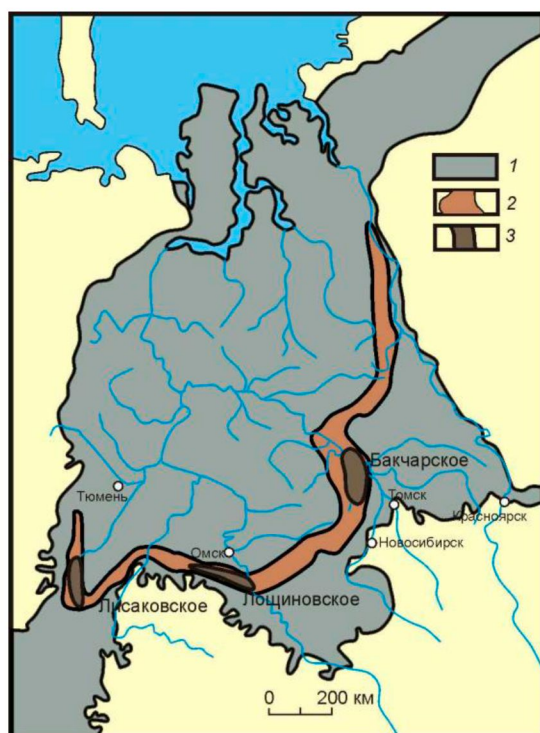


Рис. 1. Схема Западно-Сибирского железорудного бассейна (Западно-Сибирский..., 1964; Мазуров и др., 2006): 1 – площадь распространения мел-палеогенового моря; 2 – полоса распространения прибрежно-морских железорудных отложений; 3 – районы наиболее крупных железорудных узлов (месторождений)

Продуктивные отложения приурочены к трем стратиграфическим уровням позднемелового, палеоценового и эоценового возрастов: нарымскому (сантон), колпашевскому (маастрихт) и бакчарскому (палеоцен-эоцен) горизонтам. Рудоносная толща сложена прибрежно-морскими и морскими осадками, содержащими горизонты оолитовых железных руд: песчаниками, алевролитами, глинами, песками, алевролитами, гравелитами. Руды залегают горизонтально с едва заметным погружением их к востоку и северу.

Первые заключения по фациальным обстановкам формирования железных руд Бакчарского рудопроявления и Западно-Сибирского бассейна были сделаны Ю.П. Казанским, А.Н. Кондаковым, И.В. Николаевой, Н.Х. Белоус в 1959-1967 гг. (Казанский, 1959; Кондаков, 1967; Николаева, 1966; Западно-Сибирский..., 1964; Белоус, 1965). С тех пор вопрос о фациальном расчленении рудовмещающей толщи не поднимался. Осадочные отложения бакчарской рудной толщи общепринято считать прибрежно-морскими, что не вызывает никаких сомнений. Несмотря на это актуально продолжить детальные фациальные исследования рудопроявления в связи с полученным новым фактическим материалом и развитием научно-теоретической базы осадочных фаций за прошедшие полвека.

В результате проведенных исследований были установлены следующие фации бакчарской рудовмещающей толщи (по Н.В. Логвиненко, 1980): фация песчаных пляжных отложений, аккумулятивных террас и кос; фация глинисто-железистых илов застойных изолированных впадин; фация оолитовых песков подвижного мелководья – валов и баров; фация песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов; фация алевролитистых глин мелководного шельфа. Оолитовые железные руды локализируются в специфических фациальных обстановках. К фации оолитовых песков валов и баров приурочены рыхлые руды, к фации песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов – цементированные.

Фация оолитовых песков подвижного мелководья (валов и баров) характеризуется сыпучими гидрогетитовыми оолитовыми рудами, слабо цементированными рудами с глинистым цементом, мелкозернистыми темно-серыми песками. Гидрогетитовые оолиты имеют контрастное концентрически-зональное внутреннее строение, что объясняется колебательными геохимическими (рН изменяется в пределах 4...5) и гидродинамическими условиями среды их образования. Осадки формировались в условиях мелководных баров. Из верхней части баров в результате волновой деятельности происходил вынос глинистой фракции, вследствие чего наблюдается последовательная смена осадков. В итоге бары имеют следующее строение: верхняя часть сложена сыпучими разнозернистыми гидрогетитовыми оолитовыми рудами, постепенно переходящими в средней и нижней части в мелкозернистые пески с глинистым цементом, либо слабо цементированные руды с глинистым цементом. На площади рудопроявления осадки данной фации были распространены в подошве люлинворской свиты, где они представлены двумя рудными залежами.

Отложения характеризуются низким значением титанового модуля (ТМ – 0,19) как свидетельство их меньшей зрелости, что объясняется рыхлой и в какой-то степени разнотельной структурой, а также примесью терригенного материала. Повышенное значение натриевого модуля (НМ – 0,11), плагиоклазового модуля (ПМ – 2,77), на уровне низкого калиевого модуля (КМ – 0,06) и высокого щелочного модуля (ЩМ – 1,83), объясняется практически полным отсутствием гидрослюдистых минералов, меньшим количеством хлоритов и преобладанием терригенных плагиоклазов натриевого состава. Отношение Fe/Mn (343,3) имеет высокое значение, а величины $\sum Ce/\sum Y$ (3,6) и Ce/Ce* (3,0) – пониженные, что доказывает менее мелководные обстановки формирования руд относительно фации песчано-глинисто-железистых осадков. В таких оолитовых песках содержание редкоземельных элементов (РЗЭ – 161,9 г/т) на порядок ниже, чем в сцементированных оолитовых рудах фации прибрежной части залива.

Фация песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны залива представлена оолитовыми рудами и глауконитовыми песчаниками с различным цементом, а также зеленовато-серыми алевролитами и глинами. В направлении от берега постоянно наблюдается латеральный профиль осадков. Серые, зеленоватые песчаники сменяются оолитовыми рудами с глинистым цементом, глинисто-хлоритовым, хлоритовым цементом, которые в седловидных (донных) частях залива переходят в крепко сцементированные оолитовые руды с сидерит-хлоритовым, сидеритовым цементом. Однако за счет колебательного характера трансгрессивно-регрессивных циклов осадкообразования подобный латеральный профиль зачастую прерывается. Отложения данной фации можно разделить на две субфации: алевролит-глинисто-железистых осадков склоновой части залива и песчано-железистых осадков донной части залива.

Субфация алевролит-глинисто-железистых осадков склоновой части залива характеризуется алевролитами, песчаниками с глинистым, хлорит-глинистым цементом, оолитовыми гидрогетит-хлоритовыми рудами с глинистым, глинисто-хлоритовым, глауконитовым, хлоритовым цементом. Осадки данной фации формировались в склоновой части залива, где происходила механическая сортировка осадочного материала придонными течениями и постепенное повышение восстановительного потенциала среды по мере углубления, за счет чего образовывались соответствующие аутигенные минералы (глауконит, монтмориллонит, нонтронит, лептохлорит, сульфиды железа – фрамбоиды пирита). Гидрогетит-хлоритовые зерна в таких осадках имеют форму ооидов и бобовин с однородной внутренней структурой и многочисленными терригенными обломками микронных размеров, вследствие относительно постоянного геохимического и гидродинамического режима среды. Рудонакопление происходило на фоне изменения pH от 5,0 до 6,5, о чем свидетельствует преобладание лептохлорита, глауконита и фрамбоидов пирита, а также практически полное отсутствие сидерита в цементе отложений.

Алевролит-глинисто-железистые осадки образовывались на протяжении формирования всей рудной толщи. За счет преобладания хлоритового и

гидрослюдистого цемента отложения отличаются пониженным значением НМ и ПМ на уровне повышенного КМ и низкого ЦМ. Величина Fe/Mn имеет среднее значение 198,8, на фоне повышенных индикаторов $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ (5,5) и Ce/Ce^* (3,3), что говорит об отдаленном месте формирования и, соответственно, повышению глубины моря. Среднее содержание РЗЭ в цементированных рудах выше, чем в других вмещающих породах и составляет 255,4 г/т.

Субфация песчано-железистых осадков донной части залива характеризуется гидрогетитовыми оолитовыми рудами с хлорит-сидеритовым, глинисто-сидеритовым, сидеритовым цементом. Как правило, оолиты имеют ритмично-зональное внутреннее строение и значительную степень дезинтеграции. Дезинтеграция оолитов свидетельствует об их переносе придонными течениями с повышенных (склоновых и др.) участков дна залива. Формирование руд происходило в илистом осадке донной части залива на фоне изменений рН от 6 до 7, о чем свидетельствует преобладание сидерита, наличие лептохлорита, микросферолитов сфалерита в цементе пород. В результате повышения восстановительного потенциала при диагенезе формировались хлоритовые и карбонатные минералы (сидерит), микросферолиты сфалерита, которые цементируют оолиты. Эти отложения максимально литифицировались за счет наибольшей диагенетической проработки, чему способствовала донная обстановка.

На площади рудопроявления осадки данной фации распространены в кровле ипатовской (рис. 2-А) и ганькинской свит (рис. 2-В), где на их долю приходится 15...20 % площади. Во время формирования рудной толщи данные осадки представляли собой результат фациального замещения отложений склоновой части залива. Это доказывается изменением состава цемента в следующей последовательности (в направлении моря): глинистый, гидрослюдистый (глауконит, монтмориллонит), лептохлоритовый, карбонатный (сидерит). В свою очередь по мере углубления залива происходил вынос легко мигрирующих, ранее образованных гидрогетитовых оолитов со склоновой части, что отразилось в разном зернистой структуре осадков и преобладании в их составе рудных оолитов.

Отложения имеют повышенное значение ТМ (0,36) как свидетельство их максимальной зрелости относительно остальных, что доказывается крепкой цементацией. Пониженное значение НМ (0,06), ПМ (1,38), на уровне среднего значения КМ (0,10) и низкого ЦМ (0,57), объясняется наличием лептохлоритов и терригенных обломков плагиоклазов при практически полном отсутствии гидрослюдистых минералов. Промежуточное значение ЖМ (3,59) доказывает их средний уровень относительной железистости по отношению к глиноземистой составляющей. Величина Fe/Mn (185,4) имеет низкое значение, а величины $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ (4,7) и Ce/Ce^* (3,1) повышенные, что характеризует наиболее мелководные обстановки их формирования относительно осадков субфации склоновой части залива. Среднее содержание РЗЭ характеризуется максимальным значением и составляет 300,3 г/т.

Фашия алевритистых глин мелководного шельфа указывает на переход к мелководно морской обстановке и характеризуется серыми, часто с зеленоватым оттенком параллельно слоистыми глинами и алевролитами. Глины состоят из монтмориллонита, нонтронита, хлоритов и терригенных минералов. Во время формирования рудной толщи отложения фашии алевритистых глин были распространены в подошвах ганькинской (рис. 2-Б) и люлинворской (рис. 2-Г) свит.

С повышением глубины песчано-глинисто-железистые осадки прибрежной зоны залива постепенно переходят в алевритистые глины мелководного шельфа. В разрезе подобные переходы являются результатом трансгрессии и обычно имеют резкие границы, что доказывается маломощными линзами гравелитов, которые являются результатом перемива подстилающих осадков. ТМ осадков алевритистых глин имеет низкие значения, что объясняется более глубоководной обстановкой относительно остальных осадков рудовмещающей толщи. Значение НМ (0,02...0,05), ПМ (0,80...2,22) на фоне КМ (0,07...0,12) и ЩМ (0,27...0,51) характеризует преобладание гидрослюдистых минералов и хлоритов в составе пород.

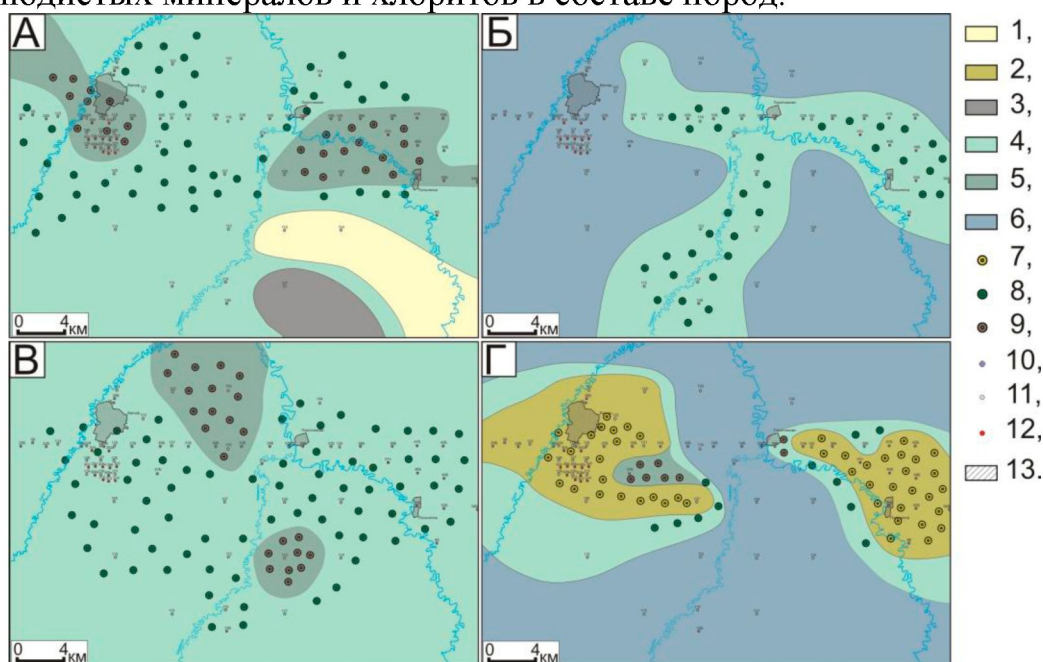


Рис. 2. Фашиальные схемы рудной толщи Бакчарского рудопроявления: А – кровля ипатовской свиты; Б – подошва ганькинской свиты; В – кровля ганькинской свиты; Г – подошва люлинворской свиты; 1 – фашия песчаных пляжных отложений, аккумулятивных террас и кос; 2 – фашия оолитовых песков подвижного мелководья – валов и баров; 3 – фашия глинисто-железистых илов застойных впадин; фашия песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов; 4 – субфашия алевролит-глинисто-железистых осадков склоновой части залива; 5 – субфашия песчано-железистых осадков донной части залива; 6 – фашия алевритистых глин мелководного шельфа; 7 – сыпучие гидрогетитовые руды; 8 – цементированные гидрогетит-лептохлоритовые руды; 9 – крепко цементированные сидерит-гидрогетитовые руды; 10 – скважины 1960ых годов; 11 – скважины 2006-2009 гг.; 12 – скважины 2012-2013 гг.; 13 – границы населенных пунктов

Фашия песчаных пляжных отложений, аккумулятивных террас и кос характеризуется светло-серыми, часто с зеленоватым оттенком,

мелкозернистыми песками, алевритами и слабо сцементированными мелкозернистыми серыми песчаниками. В форме прибрежной косы осадки данной фации были распространены на площади рудопроявления в кровле ипатовской свиты (рис. 2-А). Пляжные отложения имеют относительно низкие значения ЖМ и низкое содержание РЗЭ относительно остальных осадков рудной толщи.

Фация глинисто-железистых илов застойных изолированных впадин представлена тонкослоистыми серыми глинами с единичными содержаниями оолитов, которые образовались в условиях относительно спокойной динамики волн при сносе алевропелитового материала. Осадки данной фации имели локальное распространение на площади рудопроявления (рис. 2-А) и ограничивались прибрежной косой песчаных пляжных отложений, с которых и осуществлялся снос алевропелитового материала.

В настоящей работе не изучается механизм оолитообразования, который достаточно детально описан в работе А.Н. Кондакова (1967). В своей работе А.Н. Кондаков (1967) экспериментально доказал что гидрогетитовые оолиты могут иметь как вторичную – результат окисления глауконита, лептохлорита, так и первично-осадочную природу. Первично-осадочная природа доказывается множеством фактов, одним из которых является контрастное ритмично-зональное строение оолитов, рудные залежи которых обычно «венчают» продуктивные горизонты. Тем не менее, вне зависимости от природы образования оолитов, их место и формы локализации главным образом определяются фациальным фактором. В связи с этим разработана седиментационная модель формирования оолитовых железных руд Бакчарского рудопроявления (рис. 3).

На момент формирования рудной толщи (рис. 3-А) на площади рудопроявления сосуществовали две иловые впадины, куда доносился материал с суши и разносился придонными волнами, в результате чего образовалось слабое поднятие субмеридианального простирания, разделяющие эти впадины и сложенное алевролит-глинисто-железистыми осадками. На склоновой части этого поднятия формировались песчаники с глинистым цементом и гидрогетит-хлоритовые руды с глинистым и глинисто-хлоритовым цементом, а в котловинной части залива – гидрогетитовые руды с сидеритовым цементом. В юго-восточной части рудопроявления за счет наносов песчанистого материала образовалась прибрежная коса юго-западного простирания, отделяющая застойную впадину, где осаждались серые слоистые глины и алевролиты (рис. 3-А).

Затем в ходе наступления моря волновой деятельностью была образована подводная коса (рис. 3-Б), простирающаяся с юго-запада на северо-восток, по обе стороны от которой формировались мелководные алевритистые глины. Эта коса была сложена ранее образованными, окисленными гидрогетит-хлоритовыми рудами и глауконитовыми песчаниками. Доказательством служит преобладание в рудах ооидов, во внутреннем строении которых не наблюдается контрастного ритмично-зонального строения, а ядро в большинстве случаев

представлено корродированными сгустками лептохлорита и других силикатных минералов.

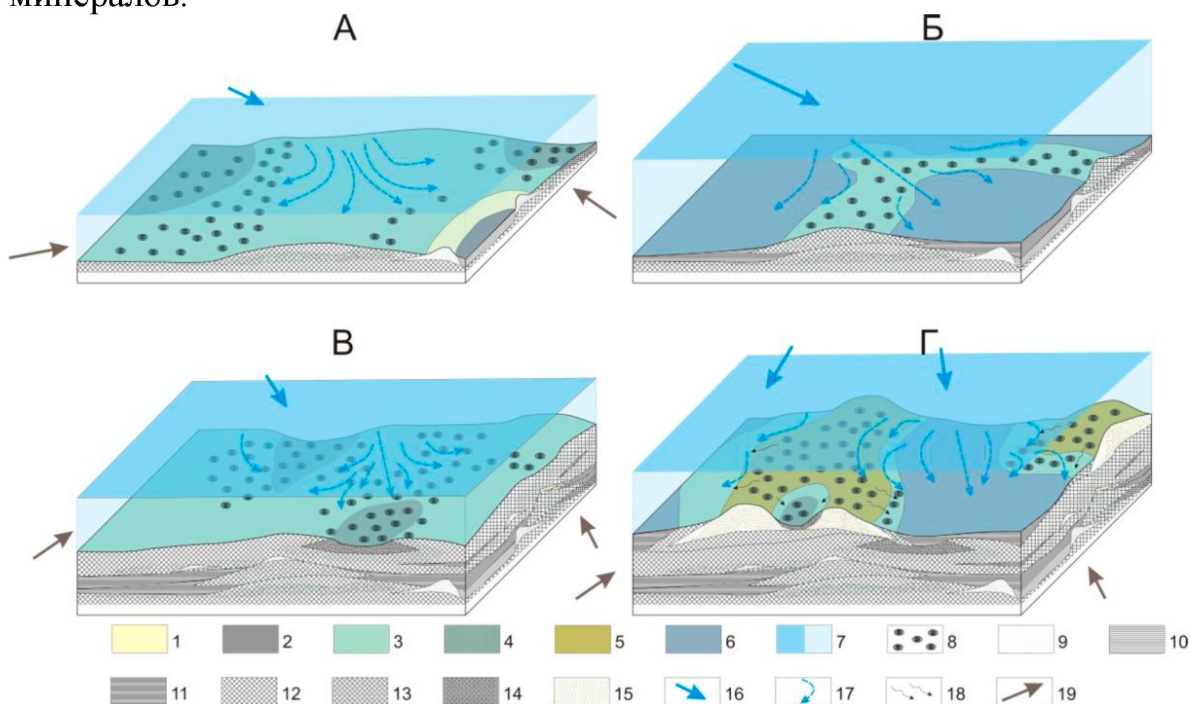


Рис. 3. Седиментационная модель Бакчарского рудопроявления:

А – кровля ипатовской свиты; Б – подошва ганькинской свиты; В – кровля ганькинской свиты; Г – подошва люлинворской свиты; 1 – фация песчаных пляжных отложений, аккумулятивных террас и кос; 2 – фация глинисто-железистых илов застойных впадин; фация песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов; 3 – субфация алевролит-глинисто-железистых осадков склоновой части залива; 4 – субфация песчано-железистых осадков донной части залива; 5 – фация оолитовых песков подвижного мелководья – валов и баров; 6 – фация алевритистых глин мелководного шельфа; 7 – схематичный уровень моря; 8 – область формирования оолитовых руд (в плане); 9 – серые пески, алевриты и слабо сцементированные песчаники; 10 – алевролиты и глины фации глинисто-железистых илов застойных впадин; 11 – алевролиты и глины фации алевритистых глин мелководного шельфа; 12 – сцементированные безрудные песчаники; 13 – сцементированные гидрогетит-лептохлоритовые руды; 14 – крепко сцементированные сидерит-гидрогетитовые руды; 15 – сыпучие гидрогетитовые руды; 16 – направление движения моря; 17 – предполагаемые направления движения придонных волн; 18 – направление сноса материала в донной части; 19 – направление привноса материала

В результате последующих регрессий (рис. 3-В) на площади рудопроявления в северной и южной части рудопроявления образовалось две иловые рытвины, куда сносился рудный материал (гидрогетитовые оолиты). В подобных рытвинах господствовали условия субфации песчано-железистых осадков донной части залива, где формировались руды с сидеритовым цементом. На склоновой части отлагались гидрогетит-хлоритовые оолитовые руды и песчаники.

При следующей трансгрессии (рис. 3-Г) море наступало с севера, «устремляясь» в отрицательные формы залива. В результате придонной и волновой деятельности в мелководной части образовалось два подводных бара (рис. 3-Г). Верхняя часть этих баров сложена несцементированными

разнозернистыми оолитовыми рудами, а нижняя – выносимым мелкозернистым песчанисто-глинистым материалом. Таким образом, в подошве люлинворской свиты на площади Бакчарского рудопроявления образовались две рудные залежи рыхлых оолитовых руд (западная и восточная). Сносимые с баровых отложений оолиты, формировали в донной части залива руды с сидеритовым цементом, которые далее переходили в глины.

Предложенная седиментационная модель не снимает дискуссионный на настоящий момент вопрос относительно источников рудного вещества. Послужили ли накоплению колоссальных объемов железа древние коры выветривания (Бабин, 1969; Западно-Сибирский..., 1964 и др.) или катагенно-элизионные воды нефтегазоносных бассейнов (Павлов, 1995 и др.)? Тем не менее, анализ полученных материалов позволил сделать вывод, что фациальный фактор играет главную роль для формы и места осаднения рудных оолитов. При этом наиболее перспективные в настоящее время для первоочередной разработки (СГД) рыхлые руды формировались в специфических условиях подвижного мелководья (бары и валы).

Второе защищаемое положение

В рыхлых рудах основная доля железа концентрируется во фракции (-1+0,2) мм, которая на 80 % состоит из гидрогетитовых оолитов (с гетитом, лептохлоритом, куларитом) и на 20 % – терригенных компонентов (кварц, полевые шпаты, обломки гидрогетитовых оолитов, обломки глауконита, в единичных случаях магнетит, ильменит, циркон, рутил). Средний выход фракции (-1+0,2) мм составляет 84,7 % со средним содержанием $Fe_{общ}$ – 36,3 %, P – 0,3 %, V – 0,2 %, что позволяет считать её наиболее богатой для рыхлых руд.

Сыпучие руды приурочены к подошве люлинворской свиты. Рудные тела представлены линзами средней суммарной мощностью 7,5 м, которые залегают на глубинах от 160...180 до 170...200 м (Бабин, 1969) и перекрываются залежами крепко сцементированных руд, иногда с плавным переходом через слабо сцементированные руды, что свидетельствует о постепенной смене условий осадкообразования. Внешне руды представляют собой оолитовый песок черно-коричневого блестящего цвета, имеют однородную, оолитовую, рыхлую текстуру. На 70...80 % руды состоят из аутигенных рудных конкреций (оолиты, ооиды и бобовины), на 20...30 % – терригенных обломков кварца, полевых шпатов, ранее образованных оолитов и глинистых минералов. Структура средnezернистая, цемент порово-базальный. Цементируются оолиты гидрогетит-глинистым материалом. Гранулометрический анализ (метод «мокрого» ситования) показал (рис. 4), что средний выход фракции (+1) мм составляет 6,6 %, фракции (-1+0,5) мм – 13,6 %, фракции (-0,5+0,2) мм – 64,4 %, фракции (-0,2+0,1) мм – 7,8 %, фракции (-0,1) мм – 7,5 %.

В диссертации в виде таблицы приводится средний химический состав сыпучих руд по гранулометрическим классам. В целом руды характеризуются средними содержаниями железа ($Fe_{общ}$) 30,9 %, фосфора 0,35 %, ванадия 0,14

%. Среднее содержание общего оксида железа ($\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$) составляет 44,2 %, P_2O_5 – 0,81 %. При этом содержание железа увеличивается на 5...8 % для фракции, имеющей максимальный процентный выход (фракция (-0,5+0,2) мм). Основная доля железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$ – 36,26 %, при P – 0,28 %, V – 0,16 %) концентрируется во фракции (-1+0,2) мм и связана с гидрогетитовыми оолитами. Средний выход этой фракции составляет 84,7 %, в свою очередь фракция (-0,2) мм имеет средний выход 7,6 %, где на долю железа ($\text{Fe}_{\text{общ}}$) приходится в среднем 29,8 %, которое связано с мелкими гидрогетитовыми оолитами, их обломками и сростками с кварцем, что существенно усложняет схемы обогащения этой фракции. Таким образом, для рыхлых руд наиболее богатой является фракция (-1+0,2) мм.

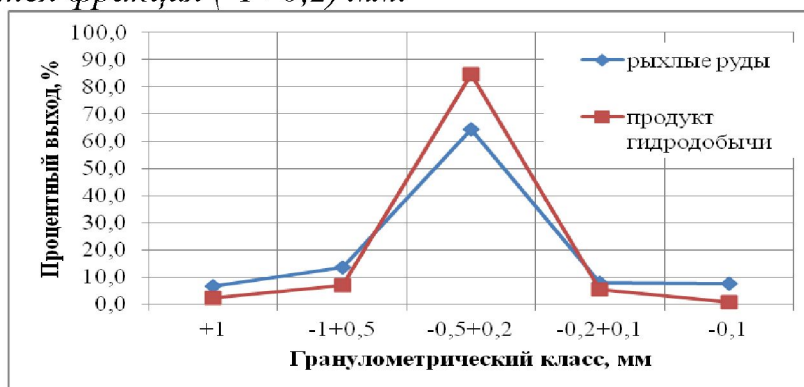


Рис. 4. Диаграмма сравнения среднего гранулометрического состава сыпучих оолитовых руд и продукта скважинной гидродобычи (проба из «карты намыва»)

Гранулометрический класс (-1+0,2) мм на западном участке имеет общий выход около 80 %, при этом среднее содержание железа, фосфора и ванадия в нем составляет 37,5 %, 0,49 % и 0,17 % соответственно, что существенно упрощает дальнейшую схему обогащения этих руд. Гранулометрический класс (-1+0,1) мм на восточном участке имеет общий выход около 86,2 %, при этом среднее содержание железа, фосфора и ванадия в нём составляет 39,4 %, 0,35 % и 0,19 % соответственно, что позволяет считать эти руды наиболее богатыми.

Следует уделить отдельное внимание примеси фосфора, содержание которой в некоторых пробах достигает 2,2 %. Фосфор присутствует как в минеральной форме (куларит), так и, возможно, в виде изоморфной примеси в гидрогетитовом агрегате. Примесь фосфора связана с куларитом, выявленным по результатам электронный микроскопии, который входит в структуру оолитов в виде концентрических зон и микроскопических вкраплений размером менее 5 мкм. В диссертации подробно описана морфология и химизм минерального состава руд, в том числе с высокой детальностью охарактеризован куларит как минерал-концентратор вредной примеси фосфора. Микроскопические выделения куларита существенно ухудшают технологические показатели руды, за счет того, что их удаление не возможно механическим способом.

Остальные вредные примеси мышьяка, серы, меди, цинка, свинца и олова – не превышают допустимые значения для оолитовых руд. Помимо вредной

примеси в структуре гидрогетитовых оолитов постоянно присутствуют примеси легирующих элементов – ванадия и марганца, содержание которых достигает 0,35 и 0,3 % соответственно. Содержание серы не превышает 0,01 %. Содержание титана в рудах достигает 0,8 % и связано с минеральными включениями ильменита, рутила и их обломков. Среди благородных металлов только серебро имеет содержание выше кларковых уровней (0,28 г/т). Среди тяжелых металлов отмечаются повышенные содержания цинка (192,48 г/т), никеля (19,51 г/т), свинца (37,15 г/т). Среди цветных металлов содержания выше кларков имеют молибден (11,25 г/т) и вольфрам (3,66 г/т).

В результате сравнения валового химического состава сыпучих руд с валовым составом продукта гидродобычи (проба из карты намыва) было установлено, что последний имеет повышенное содержание железа. Также при сравнении их гранулометрического состава (рис. 4) наблюдается обогащение продуктивного класса (-0,5+0,2) мм в пробе из карты намыва. Процентный выход фракции (-0,1) мм в пробе из карты намыва составляет 0,7 %, что на 6,8 % меньше, чем средний выход этой же фракции в сыпучих гидрогетитовых рудах. Это можно объяснить естественным обогащением рудного концентрата в процессе гидротранспортного извлечения на поверхность, за счет вымывания бедной пелитовой фракции (Мазуров и др., 2006).

Третье защищаемое положение

Современный комплексный минералого-геохимический анализ позволил выделить три главных природных типа железных руд Бакчарского рудопроявления: сыпучие гидрогетитовые руды, слабо и среднецементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепкоцементированные сидерит-гидрогетитовые руды.

Качественное выделение природных типов руд во многом определяет эффективность геологоразведочных работ. Корректная классификация руд позволяет геологам координировать полевые работы, так как уже на первых стадиях их проведения специалисты будут иметь информацию о геологических и технологических особенностях руд. При этом типы руд должны легко определяться в полевых условиях без применения затратных методов. До настоящего времени для Бакчарского рудопроявления такой классификации не разработано. Все ранее предложенные (Белоус, 1965; Николаева, 1967; Бабин, 1969; Паровничак, 2009ф; Асочакова, 2013) имеют свои недостатки, главными из которых является сложная идентификация руд или единичные факторы их типизации. Примером применения качественной классификации могут служить аналоговые месторождения оолитовых железных руд. Так, на Керченском, Аятском, Лисаковском месторождениях выделяется не более 3 типов руд, которые легко можно определить без проведения детальных лабораторных исследований. Опираясь на обозначенную проблему и полученные результаты комплексных исследований, автор предлагает типизацию руд, которая будет отвечать всем вышеописанным требованиям. В основе этой типизации были

заложены параметры, влияющие на технологическую схему переработки руд (Изоитко, 1988).

По внешнему облику и текстурно-структурным особенностям руды отчетливо разделяются на три типа: коричневато-черные среднезернистые сыпучие (рис. 5-1), зеленовато-коричневые мелкозернистые сцементированные (рис. 5-2), коричневые разномзернистые сцементированные (рис. 5-3). В результате изучения фактического, опубликованного (Бабин, 1969; Западно-Сибирский..., 1964), фондового (Паровинчак, 2009 ф) материала было установлено, что сыпучие руды локализуются в подошве люлинворской свиты на глубинах от 160 до 200 м в виде линз средней суммарной мощностью 7,5 м. Зеленатовато-коричневые сцементированные руды залегают преимущественно в кровле ганькинской свиты на глубинах 160...230 м в форме пластов, реже линз мощностью до 23 м. В кровлях ипатовской и люлинворской свит лежат коричневые сцементированные руды, которые представляют собой линзы или пласты мощностью до 10...12 м.

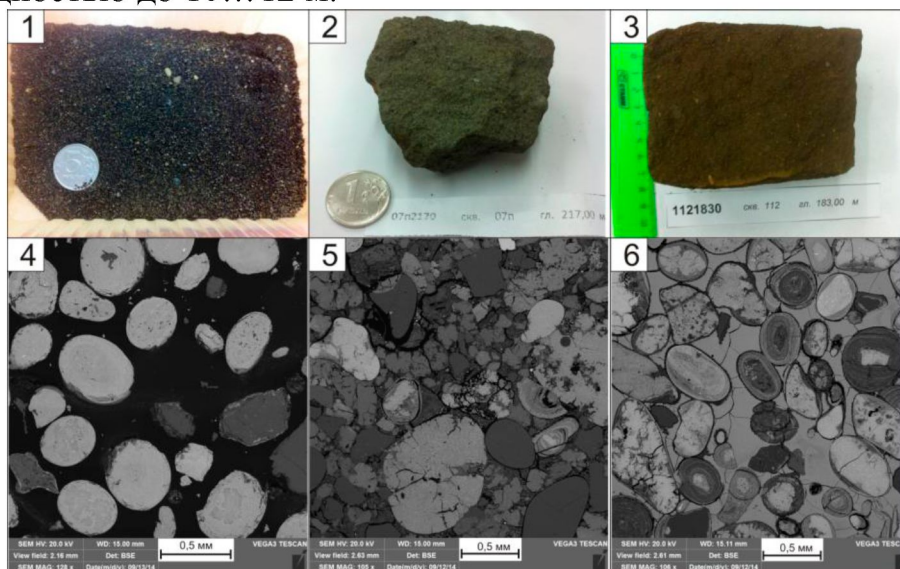


Рис. 5. Типы руд: верхний ряд фотографии образцов, нижний – снимки с электронного микроскопа: 1, 4 – сыпучая гидрогетитовая руда; 2, 5 – слабо и средне сцементированная гидрогетит-хлоритовая; 3, 6 – крепко сцементированная сидерит-гидрогетитовая

Помимо внешнего облика, геологической характеристики, структурных особенностей намеченные типы руд имеют отличительный компонентный состав:

1) сыпучие руды (рис. 5-4) на 70...80 % состоят из оолитов, на 20...30 % – из терригенного и глинистого материала;

2) слабо сцементированные руды (рис. 5-5) на 30...40 % – из ооидов, оолитов и бобовин, на 30...40 % – из терригенного материала и на 20...40 % – из цементирующего материала;

3) крепко сцементированные руды (рис. 5-6) на 40...50 % – из оолитов и бобовин, на 20...25 % – из терригенного материала и 20...30 % – из цементирующего материала.

Среди аутигенных минералов в рудах с сыпучей среднезернистой структурой преобладает гетит и гидрогетит, в меньшей степени лептохлорит,

глауконит и куларит, редко отмечается галенит. Рудные оолиты состоят из устойчивой ассоциации минералов гидрогетита, гетита и лептохлорита, которые образуют контрастную ритмично-зональную внутреннюю структуру. При этом в микропоровом пространстве таких оолитов образуются многочисленные скопления микросферолитов куларита (рис. 6-1). Ядро оолитов сложено различными минералами: глауконит, кварц, сгустки глинистых минералов, полевые шпаты, магнетит, ильменит. Подобная морфология существенно оспаривает вторичную природу гидрогетитовых оолитов, которые, по мнению некоторых авторов (Николаева, 1966; Асочакова, 2013 и др.), образуются в результате окисления лептохлоритовых и глауконитовых зёрен. В составе сыпучих руд встречаются терригенные минералы: циркон, пирит, рутил.

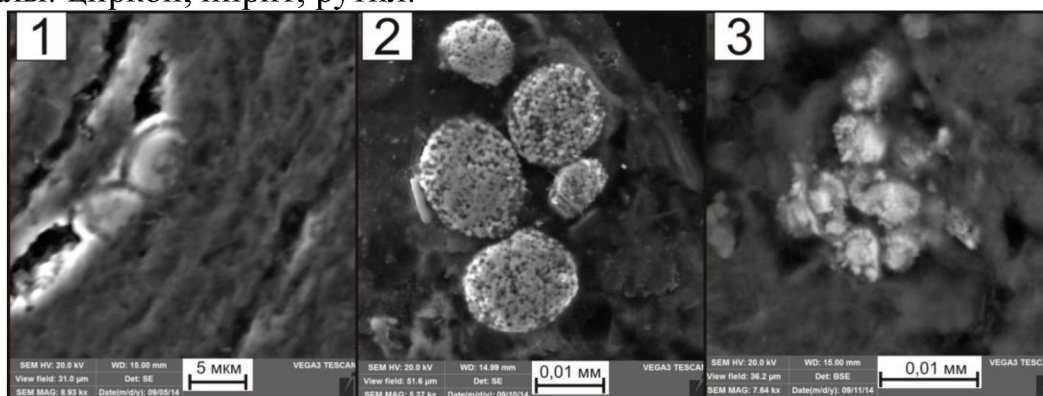


Рис. 6. Аутигенные микровкрапления: 1 – микросферолиты куларита в гидрогетитовом оолите, 2 – фрамбоиды пирита в глинисто-хлоритовом цементе, 3 – скопления микрокристаллов сфалерита в хлорит-сидеритовом цементе

В зеленовато-коричневых рудах с мелкозернистой сцементированной структурой среди аутигенных минералов преобладают лептохлорит, глауконит, гетит, гидрогетит, нонтронит (?), монтмориллонит (?), а также отмечаются куларит, фрамбоиды пирита. Лептохлорит (кронштедит (?)) и глауконит преобладают как в составе цемента, так и выполняет рудные ооиды, реже оолиты. Гидрогетит и гетит имеют подчиненное значение в составе таких ооидов и занимают обычно внешние кольцевые зоны со слабо проявленной ритмично-зональной структурой. Подобные проявления гидроокислов железа и отражают их вторичную природу – результат окисления преобладающих лептохлорита и глауконита (Кондаков, 1967). Еще одной отличительной особенностью данных руд является постоянное присутствие фрамбоидов пирита (рис. 6-2), что практически не отмечается в рудах с другими текстурно-структурными свойствами. Среди терригенных минералов встречаются кварц, полевые шпаты, магнетит, титаномагнетит, ильменит, псевдорутил, циркон, рутил.

Отличительной особенностью коричневых крепко сцементированных руд является преобладание в цементе сидерита и преимущественно гидрогетитовый состав оолитов. Гидрогетитовые оолиты этих руд имеют также контрастное ритмично-зональное строение с микровкраплениями куларита и, в частых случаях, трещинками дезинтеграции, что отличает их от оолитов сыпучих руд.

Последняя особенность объясняется переносом гидрогетитовых оолитов в углубленные части залива и, как следствие, нарушением их внутренней структуры. Также среди аутигенных минералов отмечается глауконит и сфалерит, редко галенит. Сфалерит (рис. 6-3) распространен в виде фрамбоидов и наблюдается только в коричневых цементированных рудах. К терригенным минералам относятся: кварц, полевые шпаты, магнетит, титаномагнетит, ильменит, циркон, пирит.

Руды с различной структурой и минеральным составом также имеют отличия в содержании, как основных пороодообразующих элементов, так и элементов-примесей. В рудах с сыпучей структурой отмечаются: $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ – 44,2 %, P_2O_5 – 0,8 %, V – 0,14 %, Ti – 0,35 %, As – 0,05 %, Co – 29,1 г/т, ΣREE – 161,9 г/т. В зеленовато-коричневых слабо и средне цементированных рудах: $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ – 28,4 %, P_2O_5 – 0,61 %, V – 0,09 %, Ti – 1,78 %, As – 0,01 %, Co – 24,3 г/т, ΣREE – 255,41 г/т. В коричневых крепко цементированных рудах: $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ – 45,1 %, P_2O_5 – 0,69 %, V – 0,13 %, Ti – 1,99 %, As – 0,02 %, Co – 34,8 г/т, ΣREE – 300,29 г/т.

В результате полученных данных автором выделяется три природных типа железных руд (таблица 1) на Бакчарском рудопроявлении: *сыпучие гидрогетитовые руды, слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко цементированные сидерит-гидрогетитовые руды*. При этом выделенные природные типы несут в себе исчерпывающую информацию и могут оперативно идентифицироваться (по окраске и текстурно-структурным особенностям) в ходе полевых работ без применения затратных лабораторных методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Установлены специфические фациальные обстановки формирования оолитовых железных руд Бакчарского рудопроявления и разработана их седиментационная модель. Рыхлые руды локализовались в отложениях фации оолитовых песков подвижного мелководья (валов и баров), цементированные – в отложениях фации песчано-глинисто-железистых осадков прибрежной зоны заливов.

2. Выявлены гранулометрические классы рыхлых руд, имеющие максимальных процентный выход, определен их химический состав. Доказано, что фракция (-1+0,2) мм является наиболее перспективной для обогащения.

3. На основе комплекса геолого-минералогических факторов выделены три главных типа железных руд Бакчарского рудопроявления: сыпучие гидрогетитовые руды, слабо и средне цементированные гидрогетит-хлоритовые руды, крепко цементированные сидерит-гидрогетитовые руды.

4. С применением электронной микроскопии охарактеризованы ранее не описанные на рудопроявлении минералы: куларит, галенит.

Таблица 1. Характеристика основных факторов локализации и типоморфных особенностей руд

ТИПЫ РУД			
Факторы локализации и типоморфные особенности	Сыпучие гидротермические руды	Слабо и средне сцементированные гидротермические руды	Крепко сцементированные гидротермические руды
Геологическая характеристика	Локализуются в подошве люлинворской свиты на глубинах от 160 до 200 м.	Локализуются в кровле ганькинской свиты, иногда в отложениях люлинворской и ипатовской свит на глубинах 160...230 м.	Локализуются в кровле ипатовской и кровле люлинворской свит.
Локализирующие фации	Фация оолитовых песков подвижного мелководья – валов и баров	Фация песчано-глинисто-железистых осадков субфации алевролит-глинисто-железистых осадков склоновой части залива	Фация песчано-железистых осадков донной части залива
Форма рудных тел	Линзы.	Протяженные пласты, реже линзы.	Пласты и линзы.
Цвет. Текстурно-структурные особенности	Черно-коричневый цвет. Текстура однородная, оолитовая, рыхлая, реже слабо сцементированная. Структура среднезернистая.	Коричневато-зеленый, табачный цвет. Текстура однородная, оолитовая, слабо и средне сцементированная. Структура мелкозернистая.	Коричневый цвет с зеленоватым оттенком. Текстура однородная, оолитовая, крепко сцементированная. Структура разнозернистая.
Компонентный состав	70...80 % - рудные оолиты, ооиды; 20...30 % - терригенный и глинистый материал	30...40 % - рудные ооиды, оолиты и бобовины; 30...40 % - терригенный материал; 20...40 % - глинисто-глауконит-лептохлоритовый цемент	40...50 % - рудные оолиты, бобовины, ооиды; 20...25 % - терригенный материал; 20...30 % - цементирующий материал
Терригенные минералы	Кварц, полевые шпаты, магнетит, ильменит, циркон. В единичных случаях: пирит, рутил	Кварц, полевые шпаты, магнетит, титаномагнетит, ильменит, псевдорутил, циркон. В единичных случаях: рутил	Кварц, полевые шпаты, магнетит, титаномагнетит, ильменит, циркон. В единичных случаях: пирит.
Аутигенные минералы	Основные: гетит, гидротермит, лептохлорит. Второстепенные: глауконит, куларит. В единичных случаях: фрамбоиды пирита, сфалерит, галенит	Основные: Гетит, гидротермит, лептохлорит, глауконит. Второстепенные: нонтронит, фрамбоиды пирита. В единичных случаях: сидерит	Основные: Гетит, гидротермит, лептохлорит, сидерит. Второстепенные: глауконит, куларит, сфалерит. В единичных случаях: рихелит(?)=вивианит(?), фрамбоиды пирита, галенит.
Химический состав	Fe_2O_3 общ – 44,2 %; SiO_2 – 48,6 %; P_2O_5 – 0,8 %; Ti – 0,4 %; V – 0,14 %; As – 0,05 %; Co – 29,1 г/т; Ag – 0,3 г/т; Mo – 11,3 г/т; W – 3,7 г/т; Ni – 19,5 г/т; Zn – 192,5 г/т; Pb – 37,2 г/т; ΣREE – 161,9 г/т	Fe_2O_3 общ – 28,4 %; SiO_2 – 51,2 %; P_2O_5 – 0,6 %; Ti – 1,8 %; V – 0,09 %; As – 0,01 %; Co – 24,3 г/т; Ag – 0,6 г/т; Mo – 4,0 г/т; W – 3,4 г/т; Ni – 854,2 г/т; Zn – 201,6 г/т; Pb – 23,6 г/т; ΣREE – 255,4 г/т	Fe_2O_3 общ – 45,1 %; SiO_2 – 40,7 %; P_2O_5 – 0,7 %; Ti – 2,0 %; V – 0,13 %; As – 0,02 %; Co – 34,8 г/т; Ag – 0,7 г/т; Mo – 7,1 г/т; W – 4,1 г/т; Ni – 1439,8 г/т; Zn – 300,9 г/т; Pb – 29,3 г/т; ΣREE – 300,3 г/т
Физико-механические свойства	Естественная влажность – 20 %, плотность – 2,2 г/см ³ , коэффициент пористости – 0,7	Естественная влажность – 23,1 %, плотность – 2 г/см ³ , коэффициент пористости – 0,75	Естественная влажность – 18,1 %, плотность – 2,3 г/см ³ , коэффициент пористости – 0,57
Магнитная восприимчивость	0,53±0,16×10 ⁻³ ед. СИ	0,63±0,17×10 ⁻³ ед. СИ	0,99±0,35×10 ⁻³ ед. СИ

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК

1. Рудмин, М.А. Фациальные особенности и магнитная восприимчивость рудовмещающих отложений Бакcharского железорудного проявления (Томская область) / М.А. Рудмин // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324 – №. 1. – С. 48-55

2. Рудмин, М.А. Элементы-примеси в железорудных оолитах Бакcharского узла (Томская область) / М.А. Рудмин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – №. 3с-2. – С. 28-32

3. Рудмин, М.А. Морфология и вещественный состав железных руд Бакcharского рудопроявления (Томская область) / М.А. Рудмин, А.К. Мазуров, А.С. Рубан // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11 (6). – С. 1323-1327

Статьи в научных журналах, входящих в БД SCOPUS, Web of Science

4. Rudmin, M.A. Mineral and elemental composition features of “Loose” oolitic ores in Bakchar iron ore cluster (Tomsk oblast) / M.A. Rudmin, A.K. Mazurov, L.M. Bolsunovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Vol. 21. – p. 1-6

5. Rudmin, M.A. Facies and Sedimentation Model of Iron-ore Sequence in Bakchar Deposit / M.A. Rudmin, A.K. Mazurov, A.S. Ruban // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Vol. 24. – p. 1-7

Статьи, материалы конференций

6. Рудмин, М.А. Фациальные особенности рудовмещающих горизонтов Бакcharского месторождения / М.А. Рудмин // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск, 1-6 Апреля 2013. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – Т. 1 – С. 218-220

7. Рудмин, М.А. Каппаметрические и фациальные исследования рудовмещающих горизонтов Бакcharского месторождения (Томская область) / М.А. Рудмин // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: материалы VII Всероссийского литологического совещания в 3 т., Новосибирск, 28-31 Октября 2013. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2013. – Т. 3 – С. 21-25

8. Рудмин, М.А. Фациальные обстановки накопления рыхлых осадочных руд Бакcharского месторождения (Томская область) / М.А. Рудмин // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: материалы конференции, Москва, 29 Октября-1 Ноября 2013. – Москва: ИГЕМ РАН, 2013. – С. 236

9. Рудмин, М.А. Фации рудовмещающих отложений Бакcharского железорудного проявления (Томская область) / М.А. Рудмин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013 – №. 12 (19) Часть 2. – С. 6-8

10. Рудмин, М.А. Первые данные об элементном составе железных руд Бакcharского рудопроявления по результатам рентгенофлуоресцентной спектроскопии / М.А. Рудмин // Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых: тезисы докладов Пятой научно-практической школы-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, Москва, 11-12 Декабря 2013. – Москва: ФГУП ВИМС, 2013. – С. 100-102

11. Рудмин, М.А. Внутреннее строение и химический состав оолитовых руд на примере Бакcharского рудопроявления (Западно-Сибирский железорудный бассейн) / М.А. Рудмин // Актуальные вопросы образования и науки: материалы Международной научно-практической конференции, Тамбов, 30 Декабря 2013. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 132-133

12. Рудмин, М.А. Фации и магнитная восприимчивость Бакчарской рудовмещающей толщи (Томская область) / М.А. Рудмин // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В.А. Обручева, М.А. Усова, Н.Н. Урванцева до наших дней: материалы Всероссийской научной геологической молодежной школы, Томск, 24-27 Сентября 2013. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 22-27
13. Рудмин, М.А. Особенности осадочных отложений, вмещающих железные руды Бакчарского месторождения (Томская область) / М.А. Рудмин // Металлогения древних и современных океанов–2013: материалы молодёжной школы, Миасс, 22-26 Апреля 2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 120-123
14. Рудмин, М.А. Петромагнитные особенности рудовмещающих отложений Западно-Сибирского железорудного бассейна (на примере Бакчарского рудопроявления) / М.А. Рудмин // Молодежь в современном мире: гражданский, творческий и инновационный потенциал: материалы научной конференции, Старый Оскол, 1 Ноября – 15 Декабря 2013. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2013. – С. 363–370
15. Рудмин, М.А. Особенности минерального состава «рыхлого» типа руд Бакчарского железорудного узла / М.А. Рудмин // Геология в различных сферах: XIII конференция Студенческого Научного Общества Геологического факультета СПбГУ, Санкт-Петербург, 12-13 Апреля 2014. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2014. – С. 130-131
16. Рудмин, М.А. Особенности минерального и химического состава «рыхлых» оолитовых руд Бакчарского железорудного узла (Томская область) / М.А. Рудмин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, Томск, 7-11 Апреля 2014. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Т. 1 – С. 233-235
17. Рудмин, М.А. Минеральные включения в гидрогетитовых оолитовых рудах (Западно-Сибирский железорудный бассейн) / М.А. Рудмин // Юшкинские чтения – 2014: материалы минералогического семинара с международным участием, Сыктывкар, 19-22 Мая 2014. – Сыктывкар: Изд-во ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. – С. 59-60
18. Рудмин, М.А. Элементы-примеси в железорудных оолитах Бакчарского узла (Томская область) / М.А. Рудмин // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Новосибирск, 28-30 Октября 2014. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 603-609
19. Рудмин, М.А. Минералогическая характеристика фации оолитовых песков Бакчарского железорудного узла (Томская область) / М.А. Рудмин // Виртуальные и реальные литологические модели: материалы Всероссийской школы, Екатеринбург, 21-24 Октября 2014. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. – С. 103-105