

На правах рукописи

АЮРЖАНАЕВА Дулмажап Цыденешиевна

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ЧЕРЕМШАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
КРЕМНЕЗЕМНОГО СЫРЬЯ**

25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Улан-Удэ – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН)

- Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук профессор **Дмитрий Иванович Царев**
- Официальные оппоненты:** **Юргенсон Георгий Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук
Семейкин Игорь Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук

Защита диссертации состоится 25 октября 2013 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д003.002.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

тел./факс: (3012) 43-30-24

<http://geo.stbur.ru>

e-mail: meta@gin.bscnet.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук по адресу:

670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а.

Автореферат разослан 23 сентября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



О.К. Смирнова

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Кварциты, образовавшиеся по песчаникам, на фоне большого объема исследований вторичных кварцитов, слабо изучены. Наиболее широко распространены они в протерозойских отложениях в виде сплошных пластовых тел большой протяженности. Большинство из них разведаны как кварцитовидные песчаники.

Изучению постседиментационных преобразований или “вторичных изменений” песчаных пород посвящены работы А.Г. Коссовской, М.И. Тучковой [1988], А.В. Копелиович [1965], В.Д.Шутова [1967], В.И. Муравьева, Ю.Г. Цеховского [1997], И.М. Симанович [1978] и др. Однако, генезис этих пород изучен недостаточно. Так, вопросы превращения кварцевых песков в монолитные породы, кварциты, решены не полностью. Такое положение объясняется разнообразием обстановок формирования исходного материала кварцевых песчаных пород, многостадийностью его преобразования и большим разнообразием типов таких пород [Цехомский, Карстенс, 1982]. В связи с этим, особую актуальность приобрела проблема раскрытия сущности механизмов многофакторных процессов превращения осадков (песков) в породы (песчаники), а затем в кварциты в надстадии литогенеза (в стадиях диагенеза, катагенеза, метагенеза) [Япаскерт, 1999], а также последующего очищения их от примесей при региональном метаморфизме.

Вместе с тем, кварциты представляют собой большой практический интерес как источник высокочистого кварцевого сырья, который в связи с развитием высоких технологий, широко используется в различных изделиях: в оптике, металлургии, стекольной промышленности, военной и космической технике. Особый интерес возрос к ним в связи с перспективой получения кристаллического кремния «солнечного» качества, который используется для создания фотоэлектрических станций с элементами на основе кремния, способного преобразовать солнечную радиацию в электрическую энергию [Ананьева, 2003]. В связи с этим значительный интерес представляют месторождения кварцитов, обладающие крупными запасами и выдержанностью качественных характеристик во всем объеме продуктивной толщи. Одним из таких объектов является Черемшанское месторождение кремнеземного сырья, расположенное на территории Западного Забайкалья в 80 км от г. Улан-Удэ.

Цели и задачи исследования

Цель исследования: выяснение условий формирования Черемшанского месторождения кремнеземного сырья.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Уточнение геологического строения Черемшанского месторождения.

2. Исследование минералого-петрографических, геохимических особенностей высококремнеземных пород.
3. Определение физико-химических условий образования высококремнеземных пород.
4. Установление исходного состава высококремнеземных пород и источника флюидов при преобразовании песчаников.
5. Выяснение процесса преобразования песчаников в химически «чистые» кварциты.

Защищаемые положения

1. Черемшанское месторождение кремнеземного сырья представляет собой пластообразное тело разнотипных кварцевых песчаников, кварцитовидных песчаников и кварцитов, образовавшихся по древним осадочным песчаникам.
2. Тело высококремнеземных пород имеет блоково-зональное строение. Зональность выражается в изменении структурно-текстурных и вещественных особенностей пород от периферии блока к центру: во внешних зонах преобладают слабые кварцевые песчаники, в промежуточной зоне – кварцитовидные песчаники, центр сложен кварцитами. Вещественная зональность выражается в увеличении содержания оксида кремния от кварцевых песчаников к кварцитам (от 75 до 97–99.92 мас%), и снижения примесных компонентов.
3. Преобразование песчаников в кварциты происходило по механизму инфильтрационно-диффузионной дифференциации вещества при кислотном выщелачивании в капиллярно-пористой среде карбонатно-силикатных пород. Очищение кварцитов происходило диффузионным путем.

Фактический материал и методы исследования

Основой работы являются материалы, полученные автором в 2003-2012 гг. при полевом изучении Черемшанского месторождения кремнеземного сырья. Были составлены разрезы по эксплуатационному карьеру и по дорожным выемкам с отбором проб на аналитические исследования. Петрографические исследования пород и руд проведены на 520 прозрачных и прозрачно-полированных шлифах, 25 аншлифах. Анализы выполнены в ГИН СО РАН. Проведено свыше 500 микронзондовых и электронномикроскопических анализов минералов на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) Н.С. Кармановым, С.В. Канакиным, а также на электронно-зондовом микроанализаторе MAP-3 С.В. Канакиным, Г.Н. Загузиным. Полный химический анализ состава 255 проб пород (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , включая S общ., CO_2 , F, P_2O_5 , п.п.п.), а также благородных элементов (Au, Ag, Pt, Pd) был проведен А.А.

Цыреновой, В.А. Ивановой, И.В. Боржоновой атомно-абсорбционным, пламенно-фотометрическим и спектрофотометрическим методами в лаборатории химико-спектральных методов анализа. Рентгеноспектральным флуоресцентным методом было определено содержание Rb, Ba, Sr, Y, Zr, La, Ce, Nb, Nd, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Mo, Sn в породах Б.Ж. Жалсараевым в лаборатории физических методов анализа в 56 пробах.

Автором проведены термометрические исследования флюидных включений под руководством д.г.-м.н. Ф.Г. Рейфа, с использованием камеры с силитовым нагревателем в комплекте с микроскопом Биолам Л-211 и Pt/Pt-Rh термопарой, откалиброванной по точкам плавления шести химически чистых веществ и температуре гомогенизации двух флюидных включений, синтезированных при известных РТ-параметрах. Отклонение градуировочной кривой не превышало 4°C. Часть включений изучена на микроскопе Olympus VX-51 с термокамерой Lincam TS-1500 (Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск). Изучение включений в кварце кварцитов и песчаников проведено в 35 пластинах.

Изотопный состав кислорода в кварце кварцитов и песчаников (4 анализа), а также в известняках (4 анализа) определен в лаборатории физических методов анализа ГИН СО РАН на масс-спектрометре МИ-1201Т В.Ф. Посоховым. Определение изотопного состава кислорода в силикатах проводилось с использованием методов лазерного фторирования (ЛФ) на установке «лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов» в присутствии реагента BrF_3 по методу [Шарп, 1990]. Для изотопного анализа кислорода использовались только чистые минералы (в виде осколков) общим весом 1,5-2,5 мг. Расчеты $\delta^{18}\text{O}$ были выполнены по международным стандартам NBS-28 (кварц) и NBS-30 (биотит). Погрешность полученных значений величин $\delta^{18}\text{O}$ составляет $(1\sigma)\pm 0,2\%$.

Научная новизна

Получены новые данные по минералогии вмещающих пород и высококремнеземных пород месторождения.

Выявлена структурно-вещественная зональность Черемшанского месторождения. Пластообразное рудное тело разнотипных кварцевых песчаников, кварцитовидных песчаников и кварцитов рассечено разломами и дайками на зональные блоки. Зональность выражается в изменении структурно-текстурных особенностей высококремнеземных пород от периферии блока к его центру: во внешних зонах преобладают слабые кварцевые песчаники в промежуточной зоне – кварцитовидные песчаники, центр сложен кварцитами. Вещественная зональность блоков выражается в увеличении содержания оксида кремния от кварцевых песчаников к кварцитам (от 75 до 97–99,92 мас %), и снижения примесных компонентов. Изменение структурно-текстурных особенностей обусловлено стадийными преобразованиями высоко-

кремнеземных пород. Округлые фрагменты (овоиды) в кварцитах являются реликтами песчаников.

Впервые определены РТ-условия формирования кварцитов. На основе изотопных данных показано, что источниками гидротерм послужили воды метаморфогенного происхождения. Предложена геолого-генетическая модель формирования высокочистых разновидностей кварцитов.

Практическое значение работы

Установленные генетические особенности формирования высокочистых кварцитов, типоморфные минералого-петрографические и геохимические характеристики их разновидностей могут быть использованы для разработки критериев выделения участков высокосортного кремнеземного сырья, необходимых при проведении поисково-разведочных работ как на территории Черемшанского месторождения, так и на подобных месторождениях в других регионах.

Апробация работы

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе одна статья – в журнале, входящем в перечень ВАК. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международном научном симпозиуме студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова [Томск, 2005], VI межрегиональной научной конференции молодых учёных «Научный и инновационный потенциал Байкальского региона» [Улан-Удэ, 2006], Всероссийском симпозиуме «Минералогия и геохимия ландшафта и горнорудных территорий» и VII Всероссийских чтениях памяти академика А.Е. Ферсмана по проблеме «Современное минералообразование» [Чита, 2006], 3-ей Сибирской международной конференции молодых ученых по наукам о Земле [Новосибирск, 2006], Всероссийской конференции «Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах», посвященная 50-летию СО РАН и 80-летию чл.-корр. РАН Кренделева Ф.П. [Улан-Удэ, 2007], Всероссийской научно-практической конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья» [Улан-Удэ, 2010], Ежегодной научно-практической конференции преподавателей, сотрудников и аспирантов в Бурятском государственном университете, [Улан-Удэ, 2011], Всероссийской молодежной конференции «Геология Западного Забайкалья», [Улан-Удэ, 2011], Всероссийском совещании «Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья», [Миасс, 2011], II Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения чл.-корр. РАН Ф.П. Кренделева «Геология Западного Забайкалья», [Улан-Удэ, 2012], III Всероссийской научно-практической конференции «Минера-

гения Северо-Восточной Азии», посвященной 20-летию кафедры геологии Бурятского государственного университета.

Объем и структура

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Объем текста составляет 131 машинописных страниц, содержащий 49 рисунков, 7 таблиц. Список литературы включено 242 наименования. Работа выполнялась при финансовой поддержке общественного Фонда содействия отечественной науке (грант Лучший аспирант 2006 и 2007 гг.).

Благодарности

Работа выполнена в лаборатории петрологии ГИН СО РАН под научным руководством д.г.-м.н., профессора Д.И. Царева, которому автор искренне выражает благодарность за помощь в проведении исследований и советы при подготовке диссертации. Полевые исследования проводились в сотрудничестве с главным геологом Черемшанского рудника к.г.-м.н. В.И. Гальченко, А.В. Решетовым, к.г.-м.н. В.К. Хрустальевым. Большую помощь в выполнении данной работы оказали д.г.-м.н. Ф.Г. Рейф, д.г.-м.н. Н.С. Жатнуев, д.г.-м.н. А.Н. Булгатов, д.г.-м.н. А.А. Цыганков, к.г.-м.н. Е.В. Кислов, к.г.-м.н. О.К. Смирнова, мнс А.А. Батуева, Е.Е. Дугданова, советы которых были очень полезными. Всем им автор выражает свою искреннюю благодарность.

Особую признательность автор выражает специалистам-аналитикам и мастерам шлифовальной мастерской ГИН СО РАН С.В. Канакину, Н.С. Карманову, Г.Н. Загузину, Е.В. Ходыревой, А.А. Цыреновой, Г.И. Буддаевой, И.В. Боржомовой, И.В. Бардамовой, Л.А. Левантуевой, Т.И. Казанцевой, М.Л. Воробьеву.

Глава 1. Геологическая изученность Черемшанского месторождения

Черемшанское месторождение было открыто коллективом Зырянской партии Бурятского геологического управления (БГУ) в 1965-1966 гг. в ходе геологической съемки масштаба 1:50000 среди верхнепротерозойских осадочно-терригенных отложений Восточного Прибайкалья [Соколов, Плотников, 1972 г.]. В результате разведочных работ О.В. Соколовым и Ю.В. Плотниковым [1969] было выявлено, что данное месторождение кремнеземного сырья представляет собой пласт высокочистых кварцитовидных песчаников. А.Н. Новикова и Н.А. Суранова [1971] изучавшие месторождение описали продуктивный пласт высококремнеземных пород как кварцевые и кварцитовидные песчаники и дали подробную минералого-петрографическую характеристику. В.И. Игнатович и В.В. Новиков, [1979] также установили, что продуктивный пласт высококремнеземных пород являются кварцевыми и

кварцитовидными песчаниками и объяснили их формирование эпигенетическими процессами восстановительного глеевого ряда. В 1974 году В.В. Поликарпочкин написал «Заключение о золоторудных проявлениях Черемшанского месторождения химически чистых кварцитов». Он пишет, что продуктивный пласт является не кварцевым песчаником, а кварцитом, который слабо отличается от послойных седловидных жил Ленского золотоносного района. Далее он сообщает, что кварциты образовались путем протекавшего в толще черных сланцев метасоматического окварцевания, развивавшегося непосредственно по сланцам или по залегающим среди них пластам более проницаемых пород (песчаников). Однако доказательств в пользу метасоматического происхождения кварцитов данного месторождения автор не сделал.

Нашими исследованиями установлено, что генезис кварцитов, сформировавшихся по песчаникам, связан с метасоматозом. Месторождения подобного типа, распространены в протерозойских отложениях в виде сплошных пластовых тел большой протяженности и большинство из них разведаны как кварцитовидные песчаники.

Глава 2. Геологическое строение Черемшанского месторождения кремнеземного сырья

Обзор геологического строения района и Черемшанской площади составлен по материалам предшественников, полученным в процессе геологосъемочных [Яценко, 1960; Соколов, 1966, 1967; Гусев, 1968 и др.], геологоразведочных работ [Соколов, 1972], а также по результатам работ, выполненных рудничной геологической службой ЗАО «Черемшанский кварцит» и Геологическим институтом СО РАН в 1994–2001 гг. [Царев и др., 2001] и собственными исследованиями автора.

Черемшанское месторождение кремнеземного сырья представляет собой пластообразное тело разнотипных кварцевых песчаников, кварцитовидных песчаников и кварцитов, мощностью 20–50 м, прослеженного с юга на север на расстоянии 8 км среди осадочно-метаморфической толщи верхнего протерозоя, состоящей из итанцинской (Pt₃it), преимущественно силикатной, и бурлинской (Pt₃bl), существенно карбонатной свит. Рудное тело приурочено к сочленению этих свит и, повторяя их наслоения, разбит разрывными нарушениями с малой амплитудой смещения на блоки. Со стороны висячего блока «продуктивного горизонта» на удалении 30–50 м по горизонтали по контакту даек (преимущественно дацитовых порфиритов), в ослабленных межпластовых минерализованных зонах, встречаются карбонатные метасоматиты, которые представлены существенно кальцитовыми и анкеритовыми разновидностями средне-крупнозернистого сложения характерной полосчатой, реже – массивной текстуры. Они образуют небольшие (50×130; 10×50 м и менее) субогласные линзообразные, плитообразные и неправильной формы

тела, реже секущие дайкоподобные. Вероятно, они образовались в результате выноса карбонатного вещества из песчаников.

Силикатные породы итанцинской свиты, представлены черными углисто-серицит-кварцевыми сланцами, мощностью более 300 м; темно-серыми углисто-серицит-кварцевыми сланцами, переслаивающихся с песчаниками, с линзовидными прослоями черных известняков, желтовато-серыми окварцованными доломитами, мощностью 300-400 м; желтовато-серыми массивными серицитовыми кварцитами, переслаивающимися с окварцованными доломитами и углисто-кварц-серицитовыми сланцами, мощностью 40-90 м; темно-серыми, кварцево-серицитовыми сланцами, хлоритоид-андалузит-серицит-кварцевыми сланцами, хлоритоид-андалузит-кварц-серицитовыми сланцами, хлоритоид-серицитовыми кварцитами, мощностью 35-40 м. Видимая мощность пород итанцинской свиты по разрезу колеблется в пределах 1250 – 1400 м. Карбонатные породы бурлинской свиты представлены темно-серыми, серыми, переходящими в светло-серые, массивными пелитоморфными доломитами с прожилками крупнокристаллического кальцита с прослоями (10-50 см), кварц-серицит-карбонатными и серицит-карбонатными сланцами серого цвета, мощностью 68 м; брекчированными и водорослевыми доломитами с прослойками, обогащенными органическим материалом. В низах свиты доломиты окварцованы и содержат слои карбонатно-кварцевых песчаников. Видимая мощность пород бурлинской свиты по разрезу колеблется в пределах 2500–3500 м.

Сформированные осадочные отложения претерпели стадии седиментогенеза, диагенеза, катагенеза, метагенеза, метаморфизма и ультраметаморфизма, что проявились в многообразии пород описываемых свит – от различных сланцев, гнейсов, пелитоморфных доломитов, известняков, мраморов, а за пределами района мигматитов, скарнов. Интрузивные образования на месторождении представлены гранитоидами баргузинского ($\gamma PR_2 br$), витимканского ($\gamma PZ_2 vt$) и мезозойского (ηMZ) комплексов. Баргузинские гранитоиды огнейсованы, местами рассланцованы и окварцованы. Они представлены массивами и дайками плагиогранитпорфиров, микроплагиогранитпорфиров и кварцевых порфиров. Витимканские гранитоиды мелко-, среднезернистые, от лейкократовых гранитов до гранодиоритов с широким по составу дайковым комплексом. К мезозойским интрузиям отнесены гипабиссальные дайковые образования, представленные кварцевыми порфирами, плагиогранитпорфирами, дацитовыми порфиритами и монцонитами. Они слагают жилло-, дайко- и штокообразные крутопадающие тела, преимущественно субмеридионального простирания. Древние породы перекрыты четвертичными отложениями.

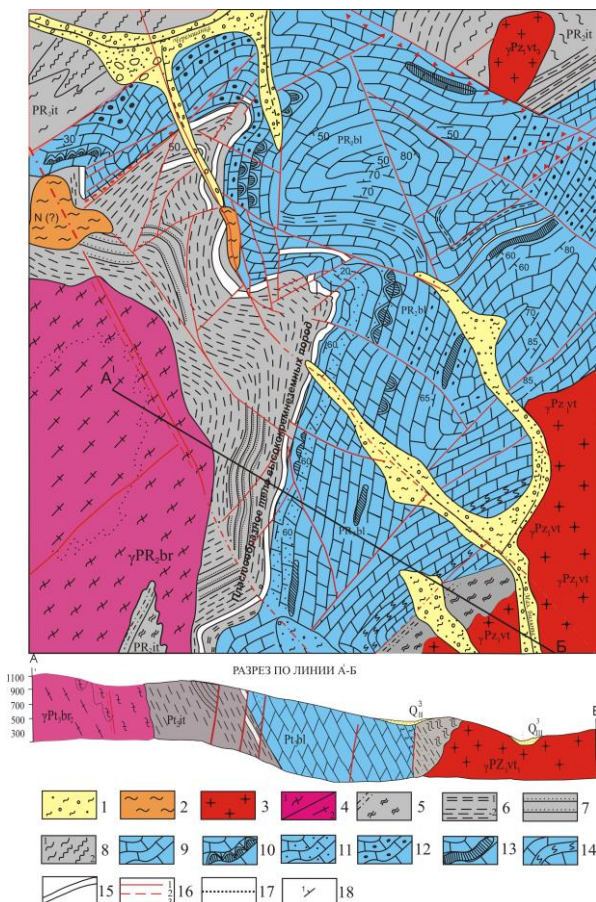


Рис. 1. Геологическая карта Черемшанского месторождения кремнеземного сырья. М. 1:50000. Составили О.В. Соколов, В.В. Новиков, 1971 г.

1—четвертичные отложения, **2**—неогеновые коры выветривания, **3**—витимканский комплекс гранитоидов, **4**—баргузинский комплекс гнейсовидных гранитов (а) и гнейсогранитов (б), **5–8** — итанцинская свита: **5**—роговообманковые гнейсы (а), биотитовые гнейсы и сланцы (б), **6**—кварцево-серицитовые, серицито-кварцевые (а), углисто-серицит-кварцевые сланцы (б), **7**—серицитовые кварциты, **8**—хлоритово-актинолитовые, амфиболовые и др. зеленые сланцы (а), амфиболиты (б), **9–14** — бурлинская свита: **9**—долмиты, **10**—водорослевые долмиты, **11**—песчаник на карбонатном цементе, **12**—окварцованный доломит, **13**—фосфоритсодержащие долмиты, **14**—полосчатые диопсид-скаполитовые сланцы, **15**—кварцитовидные песчаники, кварциты **16**—разрывные нарушения (а-достоверные, б-предполагаемые, в- под более молодыми образованиями), **17**—граница фациальных разновидностей, **18**—элементы залегания слоев

Тектонические особенности месторождения характеризуются интенсивной пликативной дислокацией осадочно-метаморфической толщи с антиклинальными и синклинальными складками, с ундуляцией и виргацией их осей, с падением крыльев до вертикальных. Складки во многих местах разорваны и смещены разрывными дислокациями северо-восточного и других направлений. Многие разрывы вмещают дайки, как вдоль слоев напластования, так и поперек.

Глава 3. Минералого-петрографическая и геохимическая характеристика высококремнеземных пород

3.1. Минералого-петрографическая характеристика

Кварцевые пески под действием процессов литогенеза и метаморфизма превращаются в песчаники и кварциты. По основным петрографическим и механическим свойствам выделяют слабые песчаники, кварцитовидные песчаники (метапесчаники) и кварциты [Цехомский, Карстенс, 1982]. На Черемшанском месторождении проявлены все три эти разновидности.

Слабые песчаники представлены кварцевыми песчаниками на карбонатном цементе (рис. 2). Эти породы слагают локальные линзовидные или вытянутые полосовидные участки шириной от 3–5 до 10–15 м со стороны лежащих боков кремнеземных тел, вдоль контактов с вмещающими породами, а также наблюдаются в виде реликтовых включений в кварцитах. Размеры включений песчаников, в различной степени окварцованных, варьируют в самых широких пределах от 3–5 до 10–15 см и более. Кварцевые песчаники характеризуются серой, бурой или ржаво-бурой пятнистой окраской и пятнистой, иногда брекчиевидной, текстурой. Структура пород псаммитовая, среднезернистая ($d=0,5-0,25$ мм), цемент выполнения, поровый, пойкилитовый (рис. 2б). Крупные останцы первичных пород сложены пористыми высокожелезистыми (Fe_2O_3 до 3-5 %) кварцевыми песчаниками на карбонатном цементе ($CaO+MgO$ до 20-25 %) (табл.). Механическая прочность песчаников различна: от почти рыхлых песков (пористые песчаники) до сравнительно крепких пород, с трудом раскалывающихся при ударе молотком.

Обломочная часть песчаников представлена кварцем. Кварцевые зерна характеризуются изометричными, неровными волнистоокруглыми краями, обладают волнистым и облачным погасанием, они бесцветные и бледно-желтые за счет содержания в них гидроксидов железа. Цемент песчаников представлен кальцитом, доломитом, окислами железа, глинистыми минералами. Значение $\delta^{18}O$ в карбонатном веществе цемента песчаников составило 14,5‰, $\delta^{13}C$ –4,0‰, что указывает на метаморфогенное происхождение карбонатного вещества.

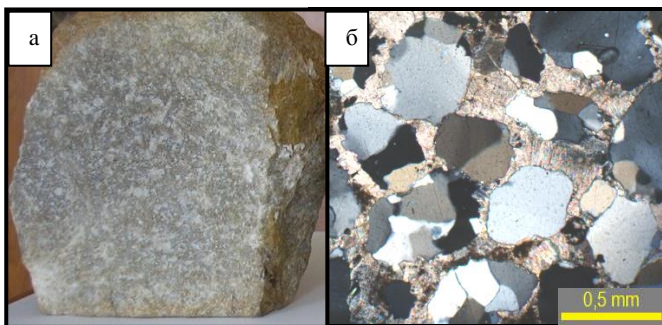


Рис. 2. Кварцевый песчаник с карбонатным цементом (Обр. ДЧ-127):

а – образец, длина образца 15 см; б – микрофото шлифа, николи +. Псаммитовая структура, поровый цемент кальцитового состава. Видны округлые кварцевые песчинки

Кварцитовидные песчаники (метапесчаники)

К данным разновидностям пород на месторождении отнесены желто-серые кварцитовидные песчаники. Они отличаются от описанных выше большей механической прочностью (до 1000 кгс/см² и выше). Макроскопически эта разновидность пород представляет собой мелко-, среднезернистые желтые плотные породы с серыми включениями реликтов пористых песчаников (рис. 3а). В породе часто отмечается кварц первично-обломочный и новообразованный, выполняющий роль цемента. Структура пород остается псаммитовой, преимущественно коррозионного, конформно-регенерационного типа, с участками начально-бластической. Кварц метапесчаников сохраняет свои первичные особенности. В этих породах трудно различить первичный цемент от скоплений в межзерновых пространствах вторичных кварцевых зерен, образованных путем грануляции части обломков. «Цементом» метапесчаников служат кварц, серицит, окислы железа, пирит (рис. 3б). Текстура – массивная, местами оспенная. Второстепенные минералы представлены серицитом, изредка биотитом, а также рутилом, цирконом, сфеном, лимонитизированным пиритом, монацитом.

Дальнейшие преобразования привели к появлению более светлых разновидностей кварцитовидных песчаников с еще большими проявлениями конформно-регенерационной и начально-бластической структур (рис. 3в).

Желто-белые пятнистые кварцитовидные песчаники.

Макроскопически эта разновидность пород представляет собой мелко-, среднезернистые, желто-белые, крепкие породы с частыми включениями замещенных первичных пород (рис. 4а). Структура пород – бластопсаммитовая, конформно-регенерационная, начально-бластическая, гетерогранобластовая, (рис. 4б). Текстура – массивная, местами оспенная. Главным породо-

образующим минералом является кварц, первично-обломочный и новообразованный, выполняющий роль цемента. Первичный обломочный кварц характеризуется изометричными зернами размером от 0,4 до 1 мм с неровными корродированными краями. Кварц, слагающий цементирующую массу, представлен зернами размером до 0,10-0,05 мм с зубчатыми или полигональными очертаниями. Второстепенные минералы представлены серицитом; акцессорные минералы представлены рутилом, цирконом, сфеном, лимонитизированным пиритом, монацитом, ксенотимом, которые приурочены к сочленению кварцевых зерен.

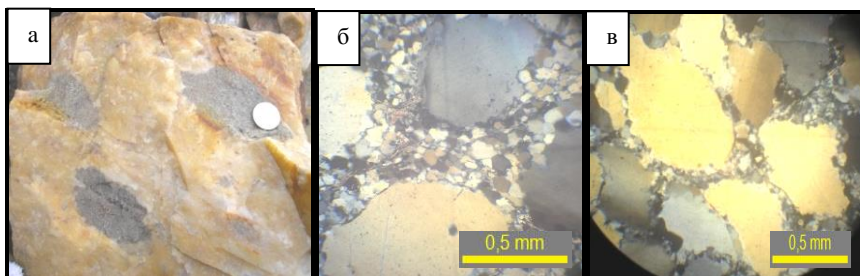


Рис. 3. Желто-серые кварцитовидные песчаники:

обр. ДЧ-114: а – общий вид, б – микрофото шлифа, николи +. Структура бластосаммитовая, заметны кристаллобластез и грануляция части обломков; в – микрофото шлифа (Обр. ДЧ-115), николи +, также прослеживается кристаллобластез и грануляция обломков, конформно-регенерационная структура породы

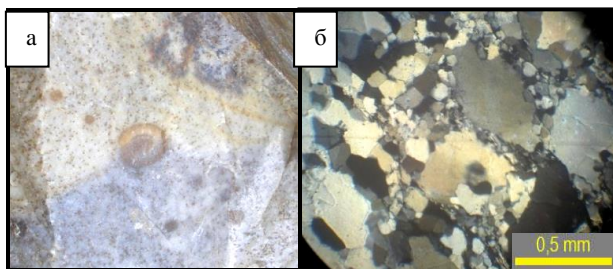


Рис. 4. Желто-белый пятнистый кварцитовидный песчаник (Обр. ДЧ-113):

а – фото образца, длина образца 50 см. Видны коричневые пятна реликтов песчаников в общей массе белого кварцита; б – микрофото шлифа, николи +, в правой части рисунка заметны кристаллобластез и грануляция части обломков, прослеживается полное превращение отдельных обломков в микрогранобластовые агрегаты псевдоцемента, в левой части видна гранобластовая структура породы

Кварциты представляют собой конечную стадию прогрессивного преобразования песков. Для них характерна потеря первичных особенностей, присущих кварцу материнских пород.

Белые кварциты с реликтами песчаников.

К данным кварцитам относятся белые кварциты с мелкими (0,3-0,5 до 1,5 см) рассеянными реликтами - «оспинами» - слабо окварцованных первично-осадочных песчаников (рис. 5 а). Характерны метагенетические структуры рекристаллизационно-грануляционного бластеза, зубчатая с микростилолитовыми швами (рис.5 б), гранобластовая структура, в оспинах отмечается бластопсаммитовая структура пород. Текстура – массивная, местами оспенная. В породе редко отмечаются чешуйки серицита, пленки гидроксидов железа, акцессорные зерна циркона, рутила, монацита.

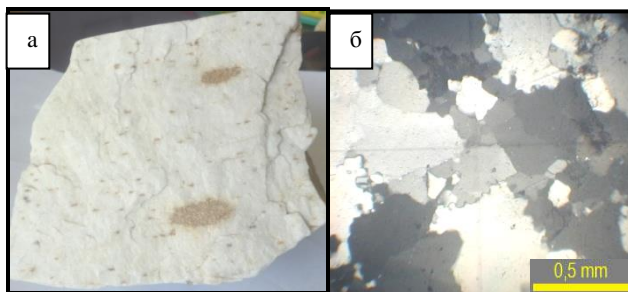


Рис. 5. Белый кварцит с редкими тенями недозамещенных песчаников (Обр. ДЧ-111):

а – фото образца, длина образца 20 см, видны коричневые пятна реликтов песчаников в общей массе белого кварцита; б – микрофото шлифа, николи +. Видны метагенетические структуры рекристаллизационно-грануляционного бластеза, а также зубчатая с микростилолитовыми швами структура

Белые высокочистые кварциты. Эта разновидность приурочена к центральным частям блоков пластообразного рудного тела (рис. 7). Макроскопически это белые, голубовато-белые тонко-мелкозернистые породы с массивной текстурой, отличающиеся от других разновидностей плотным сложением, значительной крепостью и чистотой (рис. 6 а). Микроскопические особенности этой разновидности пород заключаются в повсеместном развитии четких гранобластовых структур с прямым и облачным угасанием большинства кварцевых зерен, размером до 0,9 мм (рис. 6 б). Второстепенные минералы в породе представлены тонкими пленками лимонита, лишь изредка встречаются зерна циркона.

Кроме вышеперечисленных высококремнеземных пород, на участках 1 и 4 в виде неправильных линз, часто в контактовых зонах с силикатными слан-

цами встречаются серые кварциты. Макроскопически они представляют собой серые, мелко- и среднезернистые плотные породы. Серый цвет пород обусловлен значительным содержанием в них серицита и углеродистого вещества. Кварцевые зерна обладают волнистым погасанием, бесцветные с неровными краями, размером от 0,2–0,4 мм. Серицит в этих кварцитах составляет 5%. В основном он приурочен к сочленению кварцевых зерен, но иногда проявлен непосредственно в зернах кварца. В интерстициях кварцевых зерен отмечаются зерна рутила, лейкоксена, сфена, эпидота, гетита, пирита. Такие кварциты образуются в основном при окварцевании силикатных сланцев в некоторых краевых участках продуктивного пластообразного тела.

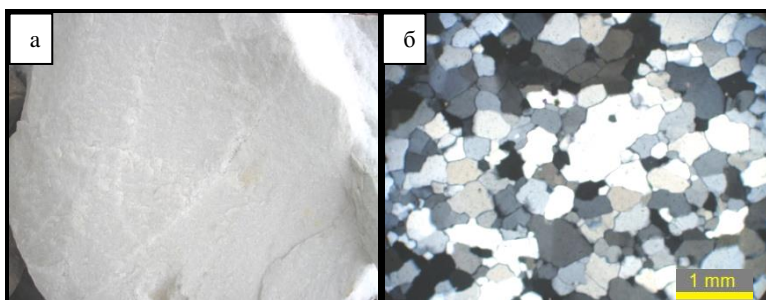


Рис. 6. Белый кварцит (Обр. ДС-110):

а – фото образца, длина образца 20 см; б – микрофото шлифа, николи +, видна гранобластовая структура

3.2. Геохимическая характеристика высококремнеземных пород

Первые геохимические исследования высококремнеземных пород месторождения были проведены еще в 1967 г. в процессе поисково-разведочных работ. Еще тогда была выявлена химическая чистота пород, в результате было открыто Черемшанское месторождение кремнеземного сырья (Соколов, Плотников, 1972 г.). Автором в рамках исследования генезиса месторождения были использованы производственные данные химического состава высококремнеземных пород, а также результаты изучения пород, полученные в лабораториях химико-спектральных и физических методов анализа ГИН СО РАН.

Пласт высококремнеземных пород Черемшанского месторождения разбит разрывными нарушениями с малой амплитудой смещения на блоки, которые ограничены по простиранию поперечными трещинами или дайками (см. рис. 7). Наиболее измененные разновидности и наиболее чистые участки в них расположены в центре этих блоков. К периферии блоков степень изменения и чистота кремнеземных пород постепенно уменьшается (см. табл.,

рис. 8). Четких границ между выделенными разновидностями высококремнеземных пород, в связи с их постепенными переходами от одних к другим, не наблюдается, но по их химическому составу от периферии к центру отмечается концентрическая зональность. Результаты опробования кварцитов на глубину также показали, что в центральных частях блоков локализованы наиболее чистые разности кварцитов. Данная зональность отражает изменения высококремнеземных пород по стадияльно-возрастному типу. Таким образом, наиболее чистыми разностями являются белые кварциты – наиболее преобразованные кремнеземные породы. Желто-серые пятнистые кварциты с реликтами песчаников менее изменены, песчаники содержат больше всего примесей.

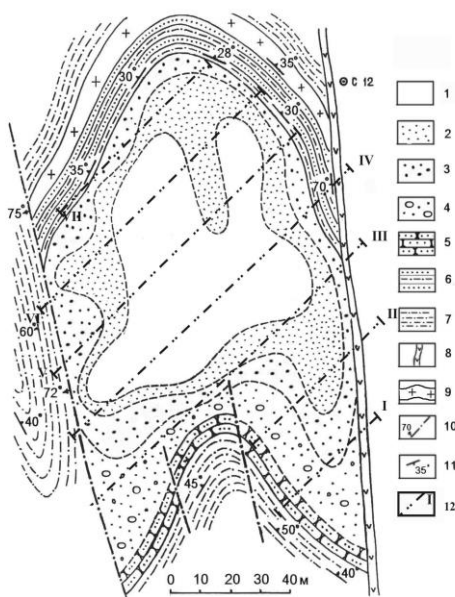


Рис. 7. Зональное строение блока высококремнеземных пород и распределение оксидов железа (Карьер №2, гор. 1300, бл. 8 по материалам В.И. Гальченко, 2005)

1–4 – кварциты с различными концентрациями оксидов железа: 1 – белые высококислотные кварциты; 2 - белые кварциты с реликтами песчаников; 3 – желто-белые пятнистые кварцитовидные песчаники; 4 – желто-серые пятнистые кварцитовидные песчаники;

5-9 – вмещающие породы: 5 – кварцевые песчаники на карбонатном цементе; 6 – чередование серицитсодержащих кварцитов и кварц-серицитовых сланцев; 7 – серицитов и кварцевые сланцы; 8 – дайка монцонитов; 9 – силл каолинизированных аплитовидных гранитов; 10 – разрывные нарушения с элементами падения; 11 – элементы залегания плоскостей расщепления; 12 – линии бороздowego опробования

Таблица

Содержание оксида кремнезема и примесей в зональных межтрещинных блоках высококремнеземных пород

Типы высококремнеземных пород	Содержание оксидов (масс %)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO
1. Белые высокочистые кварциты	99,90	<0,100	0,028	0,002	-	0,005	-
	99,68	0,120	0,027	0,004	-	0,004	-
2. Белые кварциты с реликтами песчаников	99,40	0,110	0,058	0,004	-	0,002	-
	99,30	0,130	0,059	0,004	-	0,004	-
3. Желто-белые пятнистые кварцитовидные песчаники	99,30	0,200	0,070	0,005	-	0,010	-
4. Желто-серые кварцитовидные песчаники	98,50	0,356	0,463	0,013	0,057	0,15	0,07
	95,71	0,270	0,120	0,007	0,01	1,51	0,02
5. Песчаники на карбонатном цементе	75,60	0,424	2,930	0,019	0,119	11,90	8,65
	68,30	0,373	3,760	0,020	0,218	15,01	11,10

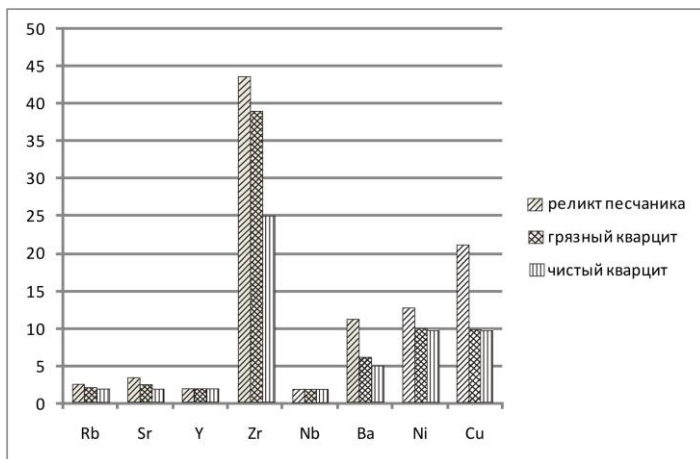


Рис. 8. Диаграмма распределения примесных компонентов в высококремнеземных породах (в г/т)

Глава 4. Генезис Черемшанских кварцитов

4.1. Условия накопления песков

Известно, что пески накапливаются в различных фациальных обстановках: морские, озерные, речные, пески временных потоков, пески ледниковых

отложений, эоловые пески, элювиальные пески, делювиальные пески, дельтовые пески. По критериям, отличающим данные фациальные обстановки, вероятно, Черемшанские пески накапливались в морском бассейне. П.В. Осокин и др. [1989] установили, что отложения итанцинской свиты представляют собой сложный комплекс прибрежно-континентальных, мелководно-морских и относительно глубоководных морских осадков. Возникновение пород бурлинской свиты связано преимущественно с органогенно-хемогенным осадко-накоплением в шельфовой зоне эпиконтинентального моря. Наши исследования геологического строения месторождения, петрографических характеристик его высококремнеземных и вмещающих пород позволили согласиться с этой точкой зрения. Дополнительным свидетельством формирования отложений в условиях морского бассейна служат полученные нами значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в известняках итанцинской свиты (до 1,59 ‰ $\delta^{13}\text{C}$ и 23,68 ‰ $\delta^{18}\text{O}$).

4.1. Источники тепла и флюидов при литологических и метаморфических процессах высококремнеземных пород

После накопления терригенно-карбонатной толщи в позднем протерозое данная территория претерпела несколько этапов тектоно-магматической активизации на что указывают разновозрастные магматические породы и разрывные нарушения. Объем вскрытых эрозией кислых интрузий на Черемшанке незначителен, но, судя по геофизическим аномалиям, предполагается наличие нескрытых массивов [Михайлов и др., 1971]. С ними, вероятнее всего, связаны термальные аномалии. Как известно, в районе месторождения проявления глубинного магматизма, контролируемые разломами, продолжались до позднемеловой эпохи включительно (отголосками их служат послескладчатые дайки монцититовых, дацитовых порфиров). Следовательно, тепловые импульсы из недр должны были поступать в бассейн породообразования до конца мезозойской эры. Тепловое воздействие их на вещество осадочных пород привело к активизации гигантских объемов собственных, сконцентрированных в породном бассейне газодных флюидов, которые становились неравновесными с вмещающей средой. Содержание поровой (капиллярной, пленочной, конституционной) воды в различных породах неодинаковое и может достигать 40% от общего объема. По подсчетам А.И. Германова [1975], осадочные породы содержат огромные количества несвязанной воды. Так, в песчаниках при пористости 12% ее содержание составляет 119 л/м³, в известняках с пористостью 7,2%—78 л/м³, а в глинах при пористости 36%—360 л/м³. Вода поровых пространств выделяется из пород в при возрастании давления и их нагревании до 200° С. По данным В.Д. Ломтадзе [1977], глины, содержащие около 40% воды, при нагрузке 5000 кг/см² сохраняют только 3,2–3,8% воды. Вода, связанная в

минералах в виде кристаллизационной или в форме гидроксила, являются основным источником термальных метаморфогенных вод. Она длительное время удерживается в породах и не удаляется простым выжиманием или незначительным нагреванием в начальные стадии метаморфизма. Связанная вода покидает метаморфизованные породы только при температуре выше 350° С. Вероятно, вся эта вода выжималась постепенно от стадии диагенеза до метагенеза, впоследствии метаморфизма фации зеленых сланцев пород.

Полученные значения $\delta^{18}\text{O}$ (12,1–14,94‰) в кварцитах и песчаниках, по классификации Роллинсона [1994], указывают на участие в их формировании вод метаморфогенного происхождения.

4.3. Термометрические исследования высококремнеземных пород

Для термометрических исследований на Черемшанском месторождении были отобраны образцы различных типов высококремнеземных пород в 8 и в 7 блоках. В кварцитах и окварцованных песчаниках Черемшанского месторождения изучены флюидные включения: первичные (сингенетические) и вторичные (эпигенетические) газово-жидкие включения. Первичные включения - единичные в теле кристалла, не содержащего других включений. Вторичные включения располагаются в виде групп в плоскостях, представляющих собой залеченные трещины, выходящие на поверхность кристалла, включения очень тонкие, уплощенные и затронутые процессом расшнурования. В зернах кварца кварцитов для первичных газово-жидких включений замерены $T_{\text{гом}} - 268^\circ\text{C}$, вторичных – $T_{\text{гом}} - 170^\circ\text{C}$. В зернах кварца песчаников $T_{\text{гом}} - 345^\circ\text{C}$. Состав включений специально не определялся, так как встречались включения размером до 5 микрон, что не позволило провести анализ их составов. Вероятно, некоторые включения содержали труднорастворимые газы (CO_2 , N_2 , NH_4), т.к. при нагревании включений часто происходила разгерметизация их. Известно, что ранний катагенез происходит при T 100°С, P не превышает 100 МПа, поздний катагенез – при T 100–200 °С, P 100–200 МПа, ранний метагенез при T 200–300°С, P 300 МПа, поздний метагенез при $T > 300^\circ\text{C}$, P 300 МПа [по Логвиненко, Орлова, 1987]. Метаморфизм фации зеленых сланцев при температуре 300– 600°С, P 200–900 МПа [по Афанасьевой и др., 2001]. Э. Реддер [1987] пишет, что включениям минералообразующей среды, под влиянием которой происходил низкотемпературный метасоматоз фации зеленых сланцев, свойственны сравнительно низкие температуры гомогенизации (180...130 °С), редко до 300°С, пониженная концентрация растворов и простой водно-углекислотный состав. Таким образом, полученные температуры указывают на то, что окварцевание началось на стадии позднего катагенеза и продолжалось до стадии фации зеленых сланцев.

4.4. Механизм постседиментационных преобразований высококремнеземных пород

На различных стадиях преобразования песков в песчаники и кварциты как пишет О.В. Япаскурт [1999] возникновение новых минералов происходит несколькими путями: растворение (коррозия) минеральных компонентов, аутигенное минералообразование (аутигенез), процессы диффузии в жидкой и твердой фазах, трансформации минералов, метасоматоз и др.

«*Метасоматоз* свойственен всем стадиям литогенеза. За ним всегда признавалась большая роль при гипергенезе и при локально-эпигенетических изменениях осадочных комплексов под воздействием на них эндогенных газофлюидных эманаций в зонах различных тектонических дислокаций. Проявления метасоматоза на стадиях диагенеза и катагенеза многими литологами только молчаливо подразумевались или упоминались как бы мимоходом. При обнаружении его следов их зачастую трактовали как признаки непременно эндогенной термально-флюидной проработки осадочной породы. В то же время метасоматический процесс всегда протекает в ходе уравнивания изначально неравновесной минерально-флюидной системы, а именно такую систему представляют собою вступившие в стадию литогенеза осадки» [Япаскурт, 1999].

Исследуя Черемшанские высококислые кварциты с позиции теории, разработанной Д.И. Царевым [2002] на основе термодинамики капиллярно-пористых связных дисперсных систем механизмов фильтрации, переноса и отложения вещества в водных растворах, мы пришли к выводу, что кварциты в основном формировались в результате метасоматического окварцевания песчаников при метаморфизме карбонатно-силикатной толщи. Окварцевание происходило инфильтрационно по типу кислотного выщелачивания, а длительное очищение кварцитов - диффузионно в тонкодисперсных, капиллярно-пористых системах, так как осадочные горные породы, являясь пористыми телами, подчиняются законам термодинамики капиллярно-пористых систем. Капиллярно-пористые тела являются дисперсными системами, где твердый каркас – это дисперсионная среда, а поры, заполненные газом или жидкостью, - дисперсная фаза, которая не может свободно передвигаться. Чем мельче дисперсная фаза, тем она более активна по отношению к дисперсионной среде, в нашем случае, к стенкам пор. Эта активность, кроме температуры и давления, зависит от дисперсности, т.е. кривизны (ширины) пор, заполненных раствором или газом.

Поровое давление в растворе $P_{ж}$, от которого зависит растворимость компонентов, описывается выражением:

$$P_{ж}=2 \sigma \cos\theta/r, \tag{1}$$

где σ – поверхностное натяжение (поверхностная энергия); θ – краевой угол смачивания, r – радиус сечения поры.

Из рисунка видим, что $r_2 > r_1$, следовательно, подставляя значения r_2 и r_1 в формулу (1), получаем, что $P_{ж1} > P_{ж2}$.

Дифференциал энергии Гиббса в поровом растворе можно представить в виде объединенного первого и второго начал термодинамики:

$$dG_D = -SdT + VdP_{ж}, \quad (2)$$

где G_D – энергия Гиббса в пористой системе; S – энтропия; T – температура раствора; V – объем раствора; $P_{ж}$ – давление раствора.

Дополнительное давление в капиллярной поре, связанное с кривизной, можно описать следующим выражением:

$$\Delta P_{ж} = \sigma ds / dv, \quad (3)$$

где $\Delta P_{ж}$ – разность давлений внутри тела (раствора) с изогнутой и плоской поверхностями; ds/dv или $1/r$; s – площадь поверхности поры; V – объем, заполненной раствором поры.

Подставляя уравнение 3 в уравнение 2, получим дополнительную энергию Гиббса, связанную с кривизной пор:

$$dG_D = \sigma V_M ds / dv, \quad (4)$$

$$\text{или } dG_D = \pm \sigma V_M / r, \quad (5)$$

где V_M – мольный объем растворенного вещества.

И здесь, подставляя значения r_2 и r_1 в формулу (5), видим, что $dG_D >$ при r_1 (рис. 9).

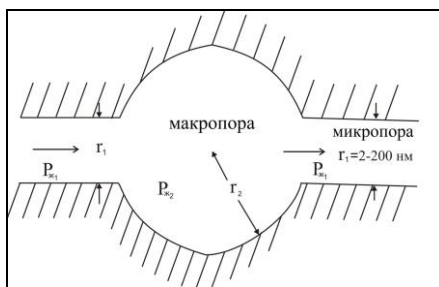


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая зависимость радиуса поры от реакционной способности порового раствора

Следовательно, чем больше кривизна (меньше объем или радиус фазы), тем выше растворимость, константа диссоциации и реакционная способность порового раствора [Царев, 2002].

Все это свидетельствует о повышении растворимости и реакционной способности компонентов в растворе, заполняющем более тонкие поры, по сравнению с раствором в более крупных порах. В связи с этим щелочные растворы в микропористых породах хорошо растворяли кремнезем, раскис-

ляясь при этом, так как HSiO_3^- и SiO_2^{2-} являются кислотными анионами. Выносимый под действием тектонического сжатия кремнезем поступал в макропористые песчаники, из которых карбонаты цемента переходили в раствор и выносились, а кремнезем осаждался, замещая песчаники кварцем в связи с уменьшением его растворимости при понижении давления в более широких порах. Инициальным фактором в этом было длительное тектоническое растяжение осадочной толщи, формирование гранитоидных тел с последующими кратковременными сжатиями вмещающих их пород. Таким образом сформировались «грязные» кварциты. Но перетоки поровых растворов продолжались с изменением температуры и давления в горных породах. Фронт фильтрации распадался на участки (блоки), оконтуренные минералами перемещенных при выносе компонентов (рис. 10), а также тектоническими трещинами. В оконтуренных блоках с застойными поровыми растворами происходил диффузионный процесс. При неравномерной скорости фильтрации растворов образуются заливы опережающих фронтов и обособляются острова, в которых присутствует застойный поровый раствор в виде адсорбционных пленок на поверхности пор в зернах кварца. В эти острова по пленочным растворам диффундирует из инфильтрационной зоны кремнезем, вытесняя оттуда примесные компоненты, на место которых диффузионно отлагался кварц, в связи с выравниванием химических потенциалов в растворах. В растворах островов химический потенциал железа больше, в инфильтрационных зонах меньше в связи с более ранним осаждением вынесенного железа. В некоторых островах встречаются мелкие бурые стяжения. В них наблюдаются более крупные кристаллики кварца в виде микродруз среди пленок гидроксидов железа, это неполное очищение. Примесные компоненты удалялись на периферию блоков и там отлагались в виде оксидов и сульфидов и др., образуя оторочки вокруг диффузионно-очищенных кварцитов, которые в гипергенных условиях окислялись и окрашивались гидроксидами железа в бурые цвета. Размеры диффузионно-очищенных островов колеблются в широких пределах, от сантиметровых до метровых и даже достигают десятков метров. Конфигурация их различная: от округлых, овальных, даже шаровых, в мелких разностях, до сложно очерченных гидроксидами железа участков. Д.И. Царев [2002] объясняет образование шаровых поверхностей тем, что метасоматическое замещение протекает более активно в телах, имеющих меньший радиус кривизны поверхности. В остроугольных фрагментах горных пород скорость процесса больше на углах. С уменьшением радиуса кривизны поверхности будет повышаться давление внутри фазы. Увеличение давления вызывает рост химических потенциалов компонентов этой фазы, происходит скругление углов и в итоге они становятся похожи на гальки.

Минералого-геохимические исследования оторочек показали, что в них присутствуют рудные минералы, типичные для золоторудных месторождений: пирит + халькопирит + галенит + блеклые руды. Спектральным анализом в концентрате тяжелых минералов, полученных из пробы весом 5 кг, установлены аномальные содержания меди, свинца, сурьмы, мышьяка, висмута, вольфрама и высокие содержания золота (10 г/т), серебра больше 100 г/т [Царев, Хрусталева, 2002].

Таким образом, полученные данные показали, что формирование высокочистых кварцитов Черемшанского месторождения происходило в результате привноса и выноса вещества инфильтрационным и диффузионным путем. Этот процесс явился главным в очищении кварцитов от примесей.

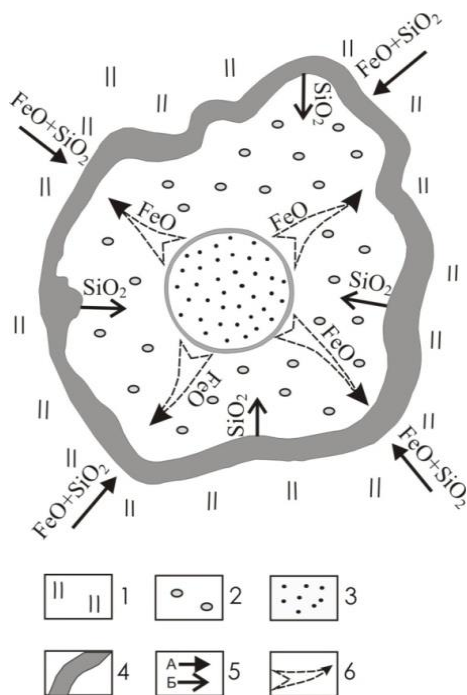


Рис. 10. Схема самоочищения кварцита

1 – инфильтрационные кварциты; 2 – диффузионные кварциты; 3 – реликт песчаника; 4 – оторочка из гидроксидов железа и других примесных компонентов; 5 – направление миграции вещества: инфильтрационный привнос оксида железа и других компонентов с кварцем (А) диффузионный привнос кварца (Б); 6 – направление диффузионного выноса оксида железа и других примесных компонентов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, заключается в следующем.

На основе изучения геологического строения месторождения, выявлено, что Черемшанское месторождение кремнеземного сырья представляет собой пластообразное тело разнотипных кварцевых песчаников и кварцитов, шириной от 35 до 50 м, рассеченное разломами и дайками на зональные блоки.

Зональность блоков выражается в изменении текстурно-структурных особенностей высококремнеземных пород от периферии блока к его центру: во внешних зонах преобладают. Структура пород псаммитовая, регенерационная, цемент выполнения, поровый, пойкилитовый; в промежуточной зоне – кварцитовидные песчаники, характеризующиеся наличием, бластопсаммитовой, преимущественно коррозионного, конформно-регенерационного типа структурой, с участками начально-бластической; центр сложен кварцитами с микростилолитовой и гранобластовой структурой. Вещественная зональность выражается в увеличении содержания оксида кремния от кварцевых песчаников (от 70–75 мас%) к кварцитам (97–99 мас%), и снижения примесных компонентов. Изменение структурно-текстурных особенностей обусловлено стадийными преобразованиями высококремнеземных пород, так слабые кварцевые песчаники формировались на стадии диагенеза, кварцитовидные песчаники на стадии катагенеза, кварциты на стадии метагенеза и метаморфизма.

Минеральный парагенезис горных пород месторождения, а также выявленные температуры образования кварца в кварцитах позволяют сделать вывод о том, что образование кварцитового тела происходило в процессе низкотемпературного метаморфизма фации зеленых сланцев, который по термодинамическим показателям соответствует температуре 300–600°C, P 200– 900 МПа (по Афанасьевой и др., 2001). На основе изотопных данных показано, что источниками гидротерм послужили воды метаморфогенного происхождения.

Кварцевые песчаники образовались в прибрежно-морских условиях, о чем свидетельствует их изотопный состав. Их преобразование в кварциты происходило по механизму инфильтрационно-диффузионной дифференциации вещества при кислотном выщелачивании в капиллярно-пористой среде карбонатно-силикатных пород. Округлые фрагменты (овоиды) окисленных песчаников в кварцитах являются реликтами песчаников.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Царев Д.И., Хрусталев В.К., Батуева А.А., **Дугарова Д.Ц.** Некоторые данные о генезисе Черемшанского кварцитового месторождения (Западное Забайкалье) // Строение литосферы и геодинамика: мат-лы XXI Всерос. молодеж. конф. Иркутск. 2003. С. 193–195.

2. **Дугарова Д.Ц.** Монациты Черемшанского месторождения кварцитов // Мат-лы 3-й Сибирской междунар. конф. Новосибирск, 2006. С. 48–51.
3. Царев Д.И., Хрусталеv В.К., Гальченко В.И., **Аюржанаева Д.Ц.** Новые генетические данные о генезисе Черемшанского месторождения кремнеземного сырья (Западное Забайкалье) // Геол. рудн. м-ний. 2007. Т. 49. № 4. С. 334–345.
4. **Аюржанаева Д.Ц.** Хлоритоиды Черемшанского месторождения кремнеземного сырья (Западное Забайкалье) // Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья». Улан-Удэ, 2010. С. 23–24.
5. **Аюржанаева Д.Ц.** Золото-полиметаллическая минерализация на Черемшанском месторождении высокочистого кремнеземного сырья (Западное Забайкалье). // Мат-лы Всерос. молодежной конф. «Геология Западного Забайкалья». Улан-Удэ, 2011. С. 7–8.
6. **Аюржанаева Д.Ц.** Петрология высокочистых кварцитов Черемшанского месторождения кремнеземного сырья и предпосылки золото-полиметаллического оруденения в пределах месторождения (Западное Забайкалье) // Мат-лы Всерос. совещания «Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья – 2011». Миасс-Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 3–7.
7. **Аюржанаева Д.Ц.** Сравнительный анализ месторождений кремнеземного сырья Бурал-Сарьдаг и Черемшанское // Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. «Минерагения Северо-восточной Азии». Улан-Удэ, 2011. С. 14–16.
8. **Аюржанаева Д.Ц.** Окварцевание песчаников на Черемшанском месторождении кремнеземного сырья (Западное Забайкалье) // Мат-лы III Всерос. науч.-практ. конфер. «Минерагения Северо-Восточной Азии». Улан-Удэ, 2012. С. 10–13.

Подписано в печать 23.09 2013. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.
Тираж 100. Заказ № 36.

Отпечатано в типографии Изд-ва БНЦ СО РАН
670047 г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.