

На правах рукописи

Федоров Александр Михайлович

Геохимия и условия образования особо чистых кварцитов
на примере проявлений Восточного Саяна

25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Иркутск - 2012

Работа выполнена в ФГБУН Институте геохимии им. А.П. Виноградова
СО РАН

Научный руководитель: д.г.-м.н. Спиридонов Александр Михайлович

Официальные оппоненты:

д.г.-м.н. Летникова Елена Феликсовна (Институт геологии и минералогии
СО РАН, г. Новосибирск)

к.г.-м.н. Хрусталева Валерий Константинович (Геологический институт СО
РАН, г. Улан-Удэ)

Ведущая организация: Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

Защита состоится 15 марта 2012 г. в 14-00 на заседании диссертационного
совета Д 003.059.01 при Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО
РАН по адресу: 664033, г.Иркутск, ул. Фаворского, 1а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геохимии
им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул.
Фаворского, 1а

Автореферат разослан 07 февраля 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

к.г.-м.н. Королева Г.П.

Введение

Актуальность исследования. Несмотря на широкую распространённость кварца в природе, потребность в особо чистом кварцевом сырье для современных отраслей промышленности удовлетворена далеко не полностью. Существующая минерально-сырьевая база России основана на месторождениях кварцевых жил различного генезиса. На данном этапе развития производства она не способна в необходимом объёме удовлетворить современные потребности отечественной промышленности в особо чистом кварцевом сырье.

Большинство месторождений и проявлений кварца представляют собой крутопадающие жилы гидротермального генезиса, разработка которых требует проведения огромного объёма вскрышных работ, а зачастую и шахтных методов добычи. Высокое соотношение порода/руда и необходимость ручной разборки существенно увеличивает себестоимость сырья на стадии добычи, вследствие чего последующее глубокое обогащение становится малорентабельным.

Существует другой путь – выявление принципиально новых источников особо чистого кварцевого сырья. Особый интерес в этом отношении могут представлять месторождения кварцитов, обладающие, в первую очередь, весьма крупными, по сравнению с жильными типами, запасами и выдержанностью качественных характеристик во всем объеме продуктивной толщи.

В результате геологических работ, проведенных сотрудниками Института геохимии СО РАН в последнее десятилетие на территории Окинского района Республики Бурятия (Восточный Саян), было открыто месторождение Бурал-Сарьдаг, а также ряд проявлений кварцитов высокой химической чистоты (участки Урдагарганский, Урунгэнурский и др.). Ценность этих кварцитов состоит в их уникальных химических, технологических и добычных свойствах. Они имеют низкие исходные содержания элементов-примесей, количество которых при обогащении снижается в несколько раз, что ставит данный тип сырья в один ряд с такими известными марками, как Iota-кварц, кварц Кыштымского ГОКа и др.

Выяснение условий формирования открытого на территории Восточного Саяна месторождения кварцитов, выявление типоморфных минералого-петрографических и геохимических особенностей высокочистых разновидностей кварцитов важно для установления критериев, необходимых при проведении поисково-разведочных работ на подобные кварцевые образования как на территории Окинского нагорья, так и Восточного Саяна в целом. Это и определяет актуальность диссертационной работы.

Цели и задачи исследований.

Основной целью работы является установление генезиса высоко чистых кварцитов Восточного Саяна и определение перспективности кварцевого сырья подобного типа.

Для решения этих проблем были поставлены следующие задачи:

1. Изучение геологических особенностей месторождений и проявлений кварцитов западного склона Гарганской глыбы в Восточном Саяне и факторов, влияющих на их формирование.
2. Геохимические, минералого-петрографические и физико-химические исследования кварцитов продуктивной толщи, а также вмещающих пород в пределах изучаемого района.
3. Определение геохимических характеристик различных типов кварцитов, неизмененных и слабоизмененных пород продуктивной толщи иркутской свиты, а также магматогенных и метаморфических пород, участвующих в формировании месторождений подобного типа.
4. Разработка геолого-генетической модели формирования высокочистых кварцитов Восточного Саяна.

Фактический материал и методика исследований. Основу диссертационной работы составили материалы полевых исследований проведенных автором в 2001 и 2006-2011 гг. в Восточном Саяне. Кроме того, в работе также использованы фондовые материалы Объединенного Института геохимии и геологии СО РАН (научный руководитель программы А.И. Непомнящих), ООО «Ока-К» по Буралсарьдагскому участку (ответственный исполнитель В.П. Табинаев) и ОАО «Витимская золотопромышленная компания» (под руководством В.Н. Яшина) по Урдагарганскому и Урунгэнурскому участкам.

Научная новизна. Диссертационная работа представляет собой комплексное научное исследование, направленное на определение условий формирования высокочистых кварцитов Восточного Саяна. Впервые представлены обобщенные материалы предшественников, существенно дополненные петролого-геохимическими и минералогическими исследованиями автора:

1. Дана полная минералого-петрографическая характеристика исходных микрокварцитов и метасоматических кварцитов продуктивной иркутской свиты в пределах исследуемого района.
2. Впервые определены и описаны основные видовые и межвидовые типоморфные особенности кварцевых метасоматитов западного обрамления Гарганской глыбы и кремнистой пачки иркутской свиты, развитой в пределах изученных участков.
3. Впервые получена детальная геохимическая характеристика кварцитов продуктивной пачки иркутской свиты Восточного Саяна с использованием высокоточного метода ИСП МС.

4. Разработана геолого-генетическая модель образования высокочистых кварцитов.

Защищаемые положения:

1. В пределах Окинско-Урикской зоны Восточноаянской кварцитоносной провинции на основании минералого-петрографических и геохимических исследований выделено два генетических типа кварцитов: 1) первичные осадочно-метаморфические кварциты («силициты») иркутской свиты и 2) метасоматические кварциты, к числу которых относятся углеродсодержащие микрокварциты, осветленные микрокварциты и «суперкварциты».

2. Впервые с помощью прецизионного ИСП МС метода установлена достаточно высокая химическая чистота исходных осадочно-метаморфических кварцитов («силицитов») иркутской свиты, позволяющая включить их в продуктивную пачку. Однако, следует учитывать, что в местах воздействия гранитоидов сумсунурского комплекса кварциты («силициты») иркутской свиты испытывают загрязнение гранитофильными и редкоземельными элементами.

3. Продуктивные тела метасоматических осветленных кварцитов и высокочистых «суперкварцитов» месторождения Бурал-Сарьдаг сформировались в процессе динамометасоматических преобразований первичных осадочно-метаморфических пород («силицитов») иркутской свиты под действием продвигавшегося по ним на стадии гравитационного оползания Дунжугурского офиолитового покрова.

Практическая значимость работы. Полученные геолого-геохимические характеристики изученных проявлений кварцитов Окинско-Урикской зоны расширили их перспективы в качестве сырья для производства мультикремния и сырья для плавки кварцевого стекла. Построенная генетическая модель формирования высокочистых кварцитов дает возможность спроецировать полученные результаты на другие участки распространения пород продуктивной пачки исследуемого региона с целью их оценки как химически чистого кварцевого сырья. Разработанная модель позволяет более обоснованно определить поисковые критерии и признаки для дальнейших разведочных работ на кварцевое сырье особо чистого качества.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на научных конференциях и совещаниях: Всероссийской научной конференции «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии», г. Благовещенск, 16-18 июня 2010 г.; Всероссийской научно-практической конференции «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья», г. Улан-Удэ, 10-12 ноября 2010 г.; Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика», г. Иркутск, 19-24 апреля 2011 г.; Всероссийском совещании «Современные

проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья», г. Миасс, 24-27 мая 2011 г.; Совещании «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)», г. Иркутск, ИЗК СО РАН, 18-21 октября 2011 г.

Публикации. За время работы над диссертацией автором опубликованы 24 работы, из них по теме диссертации 15 работ в виде тезисов и двух статей. Всего опубликовано в рецензируемых журналах 4 статьи.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, общим объемом 161 страница, включая 57 рисунков, 18 таблиц и список литературы из 153 наименований.

Благодарности. Автор выражает свою благодарность научному руководителю д.г.-м.н. А.М. Спиридонову за научно-методическую и организационную помощь и редактирование работы, д.ф.-м.н., профессору А.И. Непомнящих за поддержку при организации и проведении полевых экспедиционных работ, пробоподготовку чистых кварцевых материалов и проведение тонких аналитических исследований. Особую признательность автор выражает д.г.-м.н. В.А. Макрыгиной (ИГХ СО РАН), к. г.-м. н. Л.Д. Зориной (ИГХ СО РАН), к.г.-м.н. А.Е. Будяку (ИГХ СО РАН) за всестороннюю помощь при подготовке диссертационной работы, а также н.с. З.И. Куликовой (ИГХ СО РАН) за помощь при проведении петрографических исследований и специалистам аналитических лабораторий и групп за качественное выполнение аналитических исследований, а также инженерно-техническому персоналу института за сотрудничество в проведении всего комплекса работ, начиная от экспедиционных.

Основное содержание работы

Глава 1. Геологическая изученность и состояние проблемы высокочистых кварцитов Восточного Саяна.

Серые и белые кварциты, широко распространенные в стратиграфических толщах Восточного Саяна, как полезное ископаемое исследователями почти не рассматривались. Впервые в качестве сырья, пригодного для выплавки кристаллического кремния и флюса при производстве меди, они были предложены П.А. Рошкетаяевым в 1975 году. Через год после этого при поисковых работах на рудное золото на указанной площади Ю.А. Русских были установлены линзы и прослои светло-серых и белых разновидностей кварцитов на Урдагарганском, Харанурском, Снежном и Буралсарьдагском участках (Непомнящих и др, 2001) (рис. 1).

Детальное изучение кварцитов Восточного Саяна силами сотрудников Института геохимии СО РАН было начато в 1998 году.

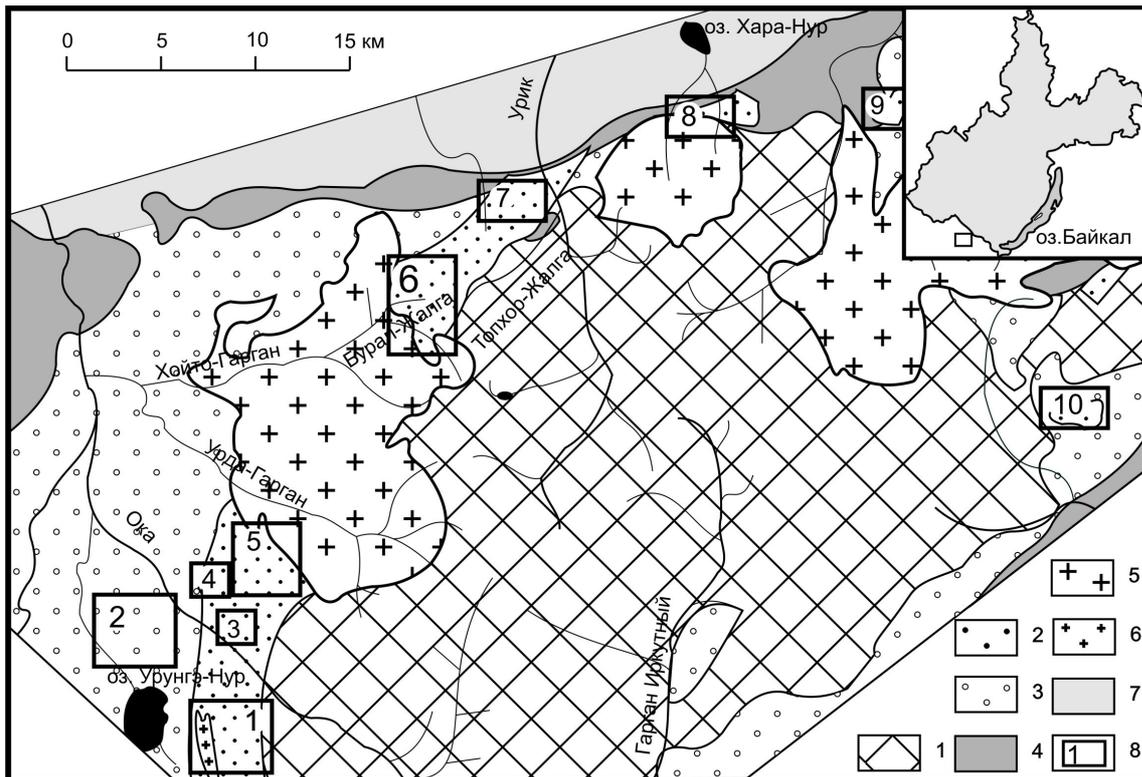


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Тувино-Монгольского массива, участки отмечены по (В.Н. Яшин и др., 2006): 1 – фундамент Гарганской глыбы (архей-нижний протерозой); 2 – поля распространения осветленных кварцитов иркутской свиты; 3 – чехол Гарганской глыбы: иркутская (монгошинская), уртагольская (ильчирская или оспинская) свита, средний–верхний рифей; 4 – офиолитовый комплекс нерасчлененный, верхний рифей; 5 – гранитоиды сумсунурского комплекса, верхний рифей; 6 – гранитоиды мункусардыкского комплекса, палеозой; 7 – чехол Тувино-Монгольского массива, венд-палеозой; 8 – границы участков и их номера: 1 – Урунгэнурский, 2 – Монгошинский, 3 и 4 – Окинский 1 и 2, 5 – Урдагарганский, 6 – Буралсарьдагский, 7 – Снежный, 8 – Харанурский, 9 – Холбинский, 10 – Амбартогельский.

К этому моменту была известна кварцитоносная зона, развитая по периферии Гарганской глыбы Тувино-Монгольского массива, в которой отмечался ряд проявлений кварцитов высокой химической чистоты.

Первые представления о генезисе кварцитов сводились к трем точкам зрения и выражены в определениях, которые дают кварцитам их исследователи: гранулированные кварциты (В.Г. Скопинцев и др.), вторичные кварциты (А.М. Рогачев и др.) (Табинаев и др, 2003); метаморфогенно-метасоматические кварциты, сформировавшиеся в апикальных частях антиклинальных складок в результате термально-флюидного (углекислотно-водного) воздействия гранитоидов сумсунурского комплекса (Воробьев и др., 2003). Позднее на основе полученных данных при проведении разведки месторождения Бурал-Сарьдаг и обобщения опыта предыдущих исследователей В.П. Табинаев и С.Д. Цуцар предложили версию метасоматических изменений прибрежно-

морских кварцевых песчаников под действием теплового поля интрузии гранитоидов сумсунурского комплекса по примеру «утюга на мокрой ткани» (Табинаев и др, 2003). Примерно в это же время Н.Г. Быдтаева при проведении исследований на Урдагарганском участке совместно с В.Н. Яшиным пришли к выводу, что метасоматические кварциты Окинского района (Восточного Саяна) образовались в сдвиго-надвиговых зонах по дислоцированным кремнистым породам в процессе углекислотного метасоматоза (Быдтаева и др., 2004).

Перечисленные гипотезы не находят полного подтверждения в полученных новых геологических и геохимических данных, поэтому для разрешения этого вопроса проведены детальные геологические, минералого-петрографические и геохимические исследования нескольких участков кварцитоносного пояса иркутской свиты в местах их пересечения гранитоидами сумсунурского, барунхолбинского и мункусардыкского комплексов.

Глава 2 Геологическое строение продуктивных тел кварцитов Окинско-Урикской зоны Восточносаянской кварцитосной провинции

Геология Тувино-Монгольского массива (ТММ), формировавшегося в раннебайкальское время в северной части Сибирского кратона, довольно подробно описана в работах ряда исследователей (Арсентьев, 1960; Волколаков, 1960; Авдонцев, 1967; Ильин, 1979, 1986; Добрецов, 1985; Добрецов и др., 1985; Беличенко и др., 1988, 1994, 2001, 2003; Летникова и др., 1997, 2002, 2011; Гелетий и др., 2001, 2004; Кузьмичев, 2004; Гордиенко, 2006; Зорин и др., 2009). В восточном секторе ТММ (рис. 1) расположен выход фундамента Гарганской глыбы (2.3-2.4 млрд лет), представленный гнейсами, гнейсо-гранитами, амфиболитами и мигматитами, степень метаморфизма которых достигает гранулитовой фации. Фундамент перекрыт чехлом, нижняя продуктивная на высокочистые кварциты пачка которого сложена рифейскими сланцево-карбонат-кварцитовыми образованиями иркутской (монгошинской) свиты, широко развитой в северном и северо-западном обрамлении ядра глыбы. Они перекрываются терригенно-осадочными, существенно сланцевыми породами уртагольской (ильчирской, оспинской или дибинской по ранним авторам) свиты. Породы верхнерифейских офиолитов, обрамляющие Гарганскую глыбу с запада, северо-запада, северо-востока и юго-востока, представляют собой фрагменты деформированного и эродированного аллохтона, надвинутого на глыбу с севера–северо-запада (Добрецов, 1985; Добрецов и др., 1985; Скляр и др., 1987; Кузьмичев, 2004). На участке, расположенном к западу от Гарганской глыбы, офиолиты представляют собой три главных покрова, разбитых на ряд чешуй. Полный разрез офиолитовой ассоциации на Дунжугурском участке выделяется в стандартной последовательности. Ультрабазитовый комплекс представлен

серпентинизированными гарцбургитами и дунитами с линзами хромитов. Комплекс расслоенных интрузий выполнен ортопироксенсодержащими породами, в основном вебстеритами, ортопироксенитами, габбро-норитами, норитами. Дайковый комплекс сложен массивными зеленоватыми диабазами. Вулканический комплекс представлен различными гиалокластитовыми брекчиями, массивными и шаровыми лавами (Кузьмичев, 2004).

Интрузии сумсунарского комплекса плагиогранитов (790 млн лет) (Кузьмичев, 2004) тоналит-трондьемит-дацитово́й серии распространены к юго-западу от месторождения Бурал-Сарьдаг и к северо-востоку от Урдагарганского участка (Гарганский плутон). С юга Гарганскую глыбу обрамляют интрузивные породы гранитоидов хребта Мунку-Сардык (Ефремов, 2009, 2010). На всех участках отмечаются дайки, силлы и штоки порфири́тов, андезитов, дацитов и гранитоидных пород барунхолбинского комплекса.

В пределах изученного района наблюдаются тектонические нарушения, связанные со всеми вышеперечисленными структурами. При анализе морфоструктурной схемы, построенной Н.Г. Быдтаевой (Быдтаева и др., 2004), выяснилось, что падение некоторых пластовых тел кварцевых метасоматитов ориентировано ортогонально к простира́нию сдвиго-надвиговых структур различного ранга.

Более мелкими, но важными для данной работы структурами являются зеркала скольжения в карбонатных и кварцитовых породах, обнаруженные на юго-востоке Гарганской глыбы на склонах хребтов и с падением под углами 30-40° в секторе от ЮВ 140° до ЮЗ 200° с направлением движения вниз вдоль склона.

Месторождение кварцитов Бурал-Сарьдаг находится в юго-восточной части Восточного Саяна в пределах водораздельного хребта р. Хойто-Гарган – правого притока р. Оки и р. Топхор-Жалга – левого притока р. Урик (рис 1). Площадь месторождения представляет собой подковообразный горный массив Бурал-Сарьдаг с высотной отметкой вершины 2788 м. В привершинных частях этого массива известно несколько изолированных выходов на поверхность белых кварцитов, в совокупности составляющих Бурал-Сарьдагское месторождение. Наиболее детально изученный участок расположен на северном склоне горы Бурал-Сарьдаг на высотных отметках 2600-2670 м.

Бурением скважин, выполненных ОАО «Ока-К» при разведке месторождения, выявлено, что продуктивные тела «суперкварцитов» и кварцитов имеют пластовую форму и полого (7-10°) падают на запад-северо-запад (Табинаев и др., 2003). При этом осветленные кварциты подстилают «суперкварциты». Мощность пласта осветленных кварцитов от 8 до 14 метров, «суперкварцитов» от 6 до 12 метров (рис. 2).

Урдагарганский участок расположен на юго-западном обрамлении

Гарганской глыбы. Породы основания глыбы развиты в юго-восточной части района. Чехол глыбы сложен отложениями иркутской свиты, в составе которой здесь доминируют серые, темно-серые тонкозернистые кварциты. Меньшим распространением пользуются карбонатные породы – доломиты и известняки, подчиненное значение имеют кварц-хлоритовые и углеродисто-слюдистые сланцы. Простираются породы северо-восточное с падением на северо-запад под углами 40-50°. В северной части участка породы иркутской свиты интродуцированы гранитоидами сумсунурского комплекса и по всему участку дайками, штоками и силлообразными телами риодацитов барун-холбинского комплекса (Яшин и др., 2006).

По данным В.Н. Яшина и др. (2006) в пределах Урдагарганского участка выявлено несколько продуктивных тел кварцитов, два из них расположены в пределах участка Семерка, одно на участке Белая сопка, представляющим собой минианалог месторождения Бурал-Сарьдаг (рис. 3), и два на участке Кварцитовый Отрог.

Все продуктивные тела сложены белыми средне-микрозернистыми кварцитами, выделенные среди осветленных и исходных кварцитов. Исходные кварциты представляют собой серые, темно-серые, местами черные тонко- и микрозернистые слоистые и массивные породы, которые в зонах осветления и перекристаллизации обычно выглядят как светло-серые, белые неяснополосчатые, линзовидно-полосчатые микрозернистые кварциты. Среди последних отмечаются участки белых сахаровидных мелко- и среднезернистых кварцевых метасоматитов. На локальных участках среди кварцевых метасоматитов выделяются грубозернистые, гигантозернистые разновидности – «суперкварциты».

Урунгэнурский участок расположен в южном секторе Гарганской глыбы, на левобережье р. Оки, восточнее оз. Урунгэ-Нур, где обнажаются карбонатно-кремнистые ритмично-полосчатые отложения иркутской свиты, представляющие моноклинально залегающую в направлении СЗ 320-340° с углами падения 7-10° толщину. Она разбита системой субвертикальных разрывных нарушений разного масштаба. Видимая мощность кремнисто-карбонатной пачки составляет около одного км. В направлении на запад они сменяются существенно карбонатными породами (серыми и темно-серыми известняками), которые прорываются интрузивными телами барунхолбинского и мункусардыкского комплексов.

Несмотря на то, что породы иркутской свиты на Урунгэнурском участке испытали осветление и перекристаллизацию, тесная тонкая перемежаемость «силицитов» с известняками и довольно однообразный их вид на всем изученном участке позволяют предполагать, что они, скорее всего, не испытали наложенного метасоматоза, и поэтому на этом участке продуктивные тела кварцевых метасоматитов не выделяются.

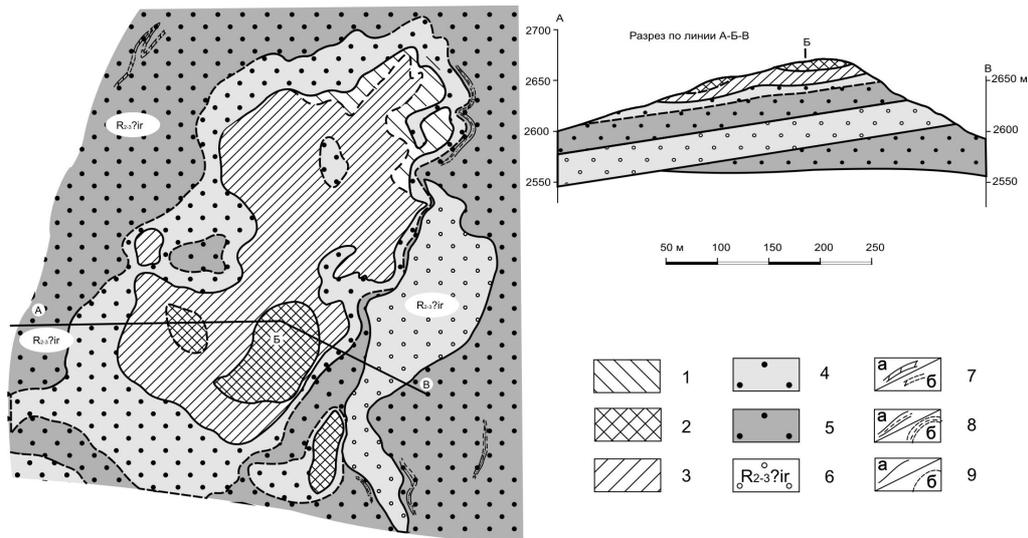


Рис. 2. Геологическая схема месторождения Бурал-Сарьдаг (по материалам В.П.Табинаева, С.Д.Цуцара и др., 2003 с дополнениями и изменениями автора). 1-3 – метасоматиты по кремнистым породам: 1 – «песчанистые» кварциты – продукты выветривания метасоматических кварцитов образований, 2 – «суперкварциты», 3 – светло-серые мелкозернистые кварциты; 4-5 – иркутская свита (R_{2-3}), кварциты и микрокварциты разного состава, горизонты, линзы, желваки окремненных, часто мергелистых доломитов: 4 – серые и светло-серые микрокварциты, 5 – черные кремневидные микрокварциты с прослоями доломитов и мраморов; 6 – песчаники, алевролиты, гравелиты субаркозового, полимиктового составов, горизонты, линзы красноцветных псаммитовых доломитов, песчаников и углеродисто-глинистых сланцев; 7-8 – маркирующие горизонты и линзы, а – достоверные, б – предполагаемые: 7 – доломиты окремненные, глинистые до мергелей, 8 – углеродисто-глинистые сланцы; 9 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые.

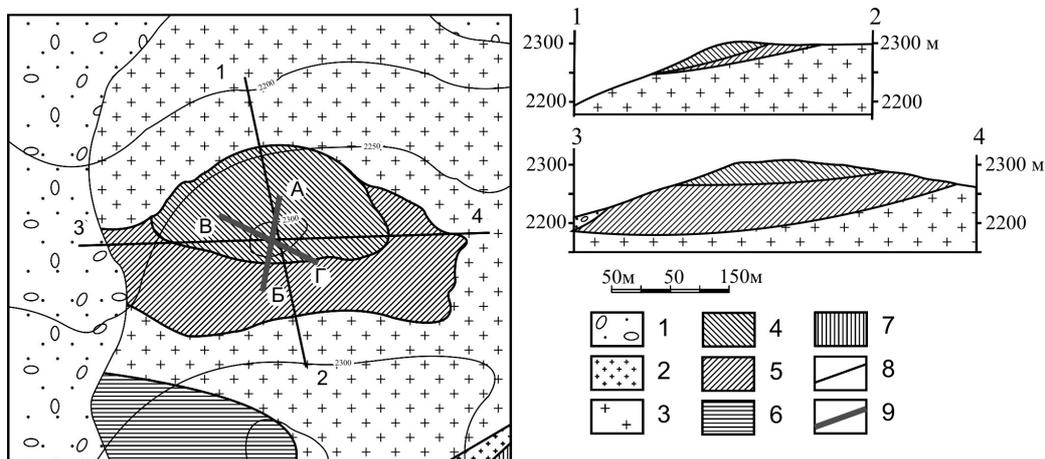


Рис. 3. Геологическая схема проявления Белая Сопка Урдагарганского участка. (по материалам В.Н.Яшина и А.А.Савченко с дополнениями и изменениями автора). 1 – четвертичные отложения, 2 – дайки и силлы порфириров холбинского комплекса, 3 – гранитоиды сумсунурского комплекса, 4 – осветленные мелко-среднезернистые кварциты, 5 – темно-серые до черных мелкозернистые полосчатые кварциты, 6 – кремнисто-карбонатные породы, 7 – раннепротерозойские кристаллические породы фундамента Гарганской глыбы, 8 – линии разведочных разрезов 1-2 и 3-4, 9 – линии геохимических разрезов А-Б и В-Г.

Глава 3. Минералого-петрографическая характеристика главных типов пород и продуктивных образований иркутной свиты

Для решения вопросов генезиса месторождения г. Бурал-Сарьдаг и проявлений Урдагарганского и Урунгэнурского участков был проведен комплекс минералого-петрографических исследований всех основных разновидностей пород иркутной свиты, развитых в пределах изучаемых участков, причем основное внимание было уделено существенно кремнистой пачке – кварцитам и исходным слабометаморфизованным «силицитам».

На месторождении **Бурал-Сарьдаг** кварциты представляют собой самую распространенную группу пород. По геологическому положению (разрез снизу вверх) и минералого-петрографическим признакам они подразделяются на ряд разновидностей (рис. 4-6): 1) углеродсодержащие микрокварциты тёмно-серого до чёрного цвета с пятнисто-полосчатой текстурой (размер зерен от 0,008х0,008 до 0,15х0,04 мм); 2) осветлённые (светло-серые и серые, изредка до темно-серых) кварциты зон метасоматической проработки первичных кварцитов (размер зёрен основной массы возрастает до 0,5х0,2 мм); 3) «суперкварциты» – мономинеральная порода белого цвета со специфической грубо-неравномернозернистой, часто крупнозернистой структурой (размер зерен от 0,5х0,3 до 1,4х0,6 мм, а порфириовидных включений – от 1,6х0,5 до 4х2 мм, редко до 9,4 мм и составляют в них от 5 до 50% общей массы), являющаяся конечным продуктом метасоматоза на изученных участках. Среди углеродсодержащих микрокварцитов темно-серого и черного цвета отмечаются участки ультрамикрозернистых (с величиной зерна менее 0,004 мм) почти сливных кварцевых пород в виде реликтов исходных слабометаморфизованных пород («силицитов») (Непомнящих и др., 2001). Четких границ между выделенными разновидностями метасоматических кварцитов, в связи с их постепенными переходами от одних к другим, не наблюдается.

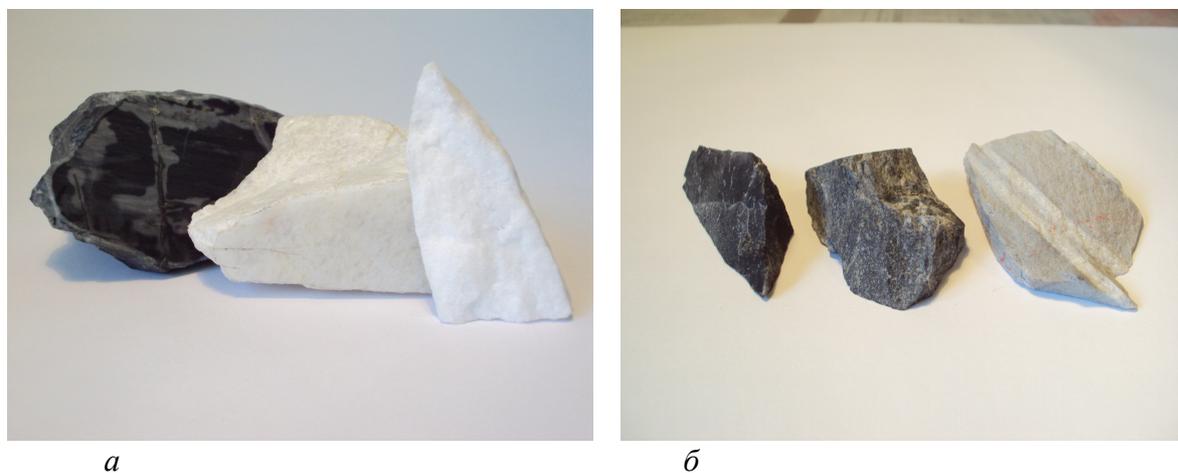


Рис. 4. Основные разновидности кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг.

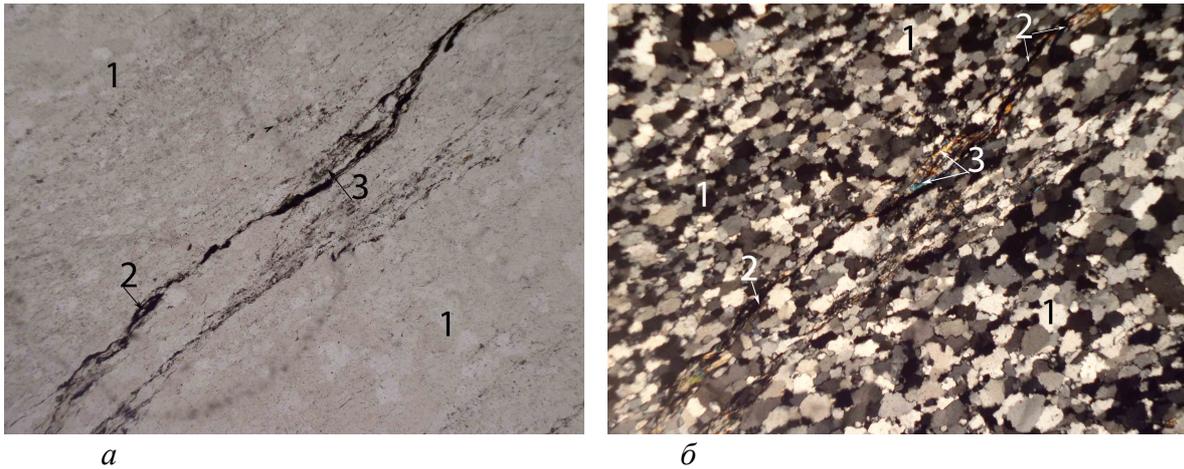


Рис. 5. Шлиф БС-30. Тёмно-серые до чёрных микрокварциты с неотчётливо полосчатой текстурой, обусловленной неравномерным распределением углеродистого вещества. 1 – кварц в зёрнах удлинённой неправильной формы с зубчатыми ограничениями, 2 – чёрное углистое вещество, 3 – чешуйки серицита. Поле зрения по горизонтали 3,75 мм. Николи: *a* - //, *б* - +.

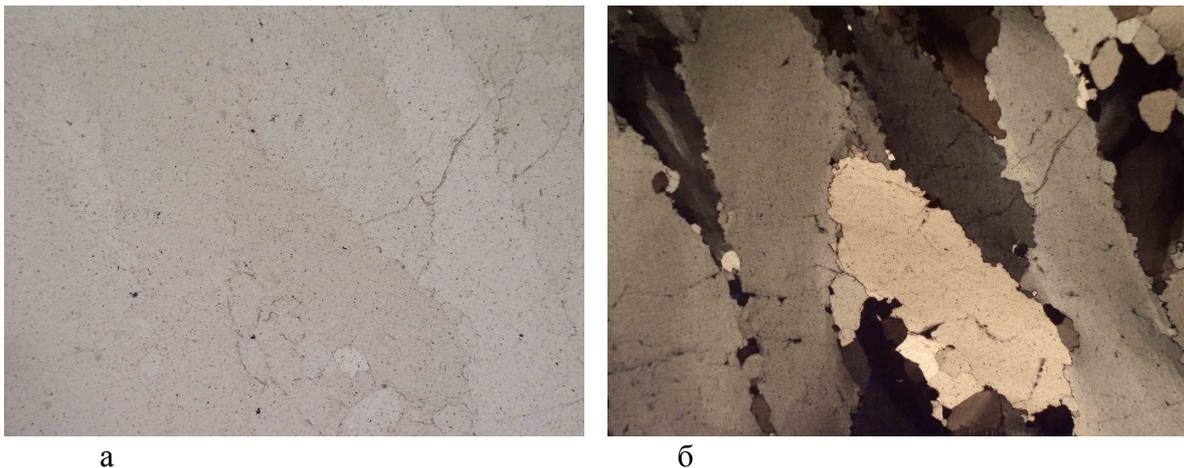


Рис. 6. Шлиф КП 4-2-1. «Суперкварцит» с 50% крупных зёрен. Поле зрения по горизонтали 3,75 мм. Николи: *a* - //, *б* - +.



Рис. 7. Кварциты проявления Белая Сопка



Рис. 8. «Силициты» Урунгэнурского участка.

В пределах Урдагарганского участка были изучены два проявления кварцевых метасоматитов. Наиболее крупное проявление «Семерка» и меньшее по размерам тело кварцевых метасоматитов «Белая Сопка».

Кварциты проявления **Семерка** по минералого-петрографическим признакам (гранулометрический состав и цветовой индекс) также можно подразделить на несколько групп: микрозернистые углеродсодержащие кварциты тёмно-серого до почти чёрного цвета с пятнисто-полосчатой текстурой (с размерами зёрен от 0,008 до 0,02 мм, реже 0,2x0,1 мм.); мелко-микрозернистые кварциты с пятнисто-полосчатой от белой до серой окраской и слабо полосчатой текстурой (средние зёрна с размерами от 0,8x0,3 до 1,6x0,3 мм составляют 5-20%, мелкозернистый кварц с размерами зёрен от 0,2 до 0,6x0,2 мм составляет 35-70%, микрозернистый кварц с размерами зерен от 0,02 до 0,07 мм занимает от 20 до 45% поверхности шлифа); микро-мелкозернистые сахаровидные кварциты белого цвета с отдельными крупными зёрнами, составляющими от 5 до 55, редко 75 % общей массы (зёрна среднего размера от 0,2 до 0,8x0,3 мм, крупные зёрна с размерами от 0,6x0,3 до 2,9x1,4 мм, редко до 5,5x1,6 мм); крупнозернистые кварциты белого цвета, сложенные крупными кристаллами кварца (90-97%) до 7x4 мм и больше.

На проявлении **Белая Сопка** кварциты представлены в основном белыми полосчатыми и пятнисто-полосчатыми и в меньшей степени темно-серыми углеродсодержащими микрозернистыми кварцитами (с размерами зерен в основной массе менее 0,1 мм и редкими крупными до 1,6-2 мм зёрнами кварца) и белыми сахаровидными средне-мелкозернистыми кварцитами с размерами зерен кварца от 0,2 – 0,4 до 1 мм и изредка более 1 мм (рис. 7). У подножия сопки также широко развиты кристаллические известняки. На проявлении Белая Сопка фактически нет «суперкварцитов».

«Силициты» **Урунгэнурского участка** представляют собой сливные кварцевые породы (рис. 8), разбитые на характерные сланцеватые блоки системой тонких кварцевых прожилков и карбонатных пропластков белого или кремового цвета. Цвет «силицитов» изменяется от чисто белого до темно-серого, с различными переходными оттенками и обусловлен неравномерно распределенным пигментирующим углистым веществом. Петрографически «силициты» представляют собой микрозернистые (величина зерна основной массы не превышает 0,01 мм) практически мономинеральные кварцевые породы с незначительным количеством карбоната и тонких чешуек серицита.

В результате проведенных минералого-петрографических исследований выявлены черты сходства и различия исходных слабоизмененных пород и собственно метасоматитов: На изученных участках выходов на поверхность кварцевых метасоматитов имеется сопоставимый набор разновидностей кварцитов, связанных постепенными

переходами: от черных и темно-серых микрокварцитов в низах до осветленных и «суперкварцитов» и их аналогов в верхней части разреза.

Черные и темно-серые разновидности кварцитов как на Буралсарьдагском, так и на Урдагарганском участках сложены кварцем размерностью от 0,008x0,008 до 0,5x0,5 мм и содержат реликтовые участки микрозернистых кварцитов с зернами до 0,004 мм на первом и до 0,008 мм на втором.

На месторождении Бурал-Сарьдаг отмечаются участки с интенсивной углеродизацией, тяготеющей к микрокварцитам в низах разреза и, вероятно, представляющим тела замещения пород углеродом.

Серые и светло-серые разновидности кварцитов на Буралсарьдагском и Урдагарганском участках имеют размер кварцевых зерен в основной массе в пределах от 0,2 до 0,6 мм с разным количеством включений более крупных кристаллов кварца.

Крупнозернистые «суперкварциты», впервые описанные на месторождении Бурал-Сарьдаг, встречаются и на проявлении Семерка Урдагарганского участка, но более мелкозернистые и с меньшим количеством порфиридных включений кристаллов кварца. Характерной чертой «суперкварцитов» является параллельная ориентировка крупных порфиридных выделений кварца.

Микрокварцитовая («силицитовая») толща на Урунгэнурском участке с размерностью зерен менее 0,01 мм наименее изменена процессами перекристаллизации с образованием весьма редких крупных зерен. Микрокварциты наиболее близки к исходным породам.

Таким образом, проведенные минералого-петрографические исследования свидетельствуют о том (первое и третье защищаемые положения), что в пределах кремнистой пачки иркутской свиты Окинско-Урикской зоны Восточносаянской кварцитоносной провинции получили развитие два генетических типа кварцитов: 1) первичные осадочно-метаморфические («силициты») и 2) метасоматические (углеродсодержащие микрокварциты, осветленные и «суперкварциты»), сформировавшиеся по исходным осадочно-метаморфическим кварцитам («силицитам»).

Глава 4 Геохимические особенности кварцитов Окинско-Урикской зоны Восточносаянской кварцитоносной провинции.

Детальное изучение распределения главных и редких элементов в кварцитах Восточносаянской кварцитоносной провинции стало возможным только с использованием высокоточных методов анализа – ИСП МС из-за ультранизких содержаний в кварцитах всех компонентов. Были проанализированы все основные разновидности кварцитов, развитых в пределах площади месторождения Бурал-Сарьдаг, участков Урдагарганский и Урунгэнурский. Самым важным открытием оказались

весьма низкие концентрации примесей в исходных «силицитах», что местами позволяет включить эти породы в продуктивную пачку. По сумме примесей эти породы ложатся на графиках ниже многих метасоматических кварцитов (рис. 9-10).

Впервые с помощью прецизионного ИСП МС метода установлена достаточно высокая химическая чистота исходных осадочно-метаморфических кварцитов («силицитов») иркутской свиты, позволяющая включить их в продуктивную пачку (второе защищаемое положение).

Продуктивная пачка метасоматических кварцитов месторождения **Бурал-Сарьдаг** содержит в сумме примесей около 400 ppm в черных и темно-серых кремневидных, 250 ppm в светло-серых и серых и около 100 ppm в «суперкварцитах». Несмотря на относительное сходство кривых распределения элементов-примесей в этих породах, они имеют и ряд существенных отличий.

«Суперкварциты» отличаются особенно низким содержанием элементов-примесей и почти полным отсутствием углеродистого материала. По-видимому, это не только самая химически чистая разновидность кварцитов на месторождении Бурал-Сарьдаг, но и выдающаяся по чистоте разность во всем семействе кварцитов (Непомнящих и др., 2001).

Поскольку главной гипотезой образования суперкварцитов было воздействие на них сумсунурских гранитоидов, одной из задач исследования была ее проверка.

Контактовое воздействие интрузии сумсунурского комплекса на вмещающие породы на площади месторождения Бурал-Сарьдаг выражается в мраморизации, тремолитизации и скарнировании карбонатных пород, окварцевании кремнисто-карбонатных пород и биотитизации гнейсов (Непомнящих и др., 2001). На месторождении выявлен обнаженный участок (юго-западная часть), где гранодиориты находятся в непосредственном контакте с породами иркутской свиты. Изменения пород здесь выразились в их частичной перекристаллизации, осветлении и калишпатизации (таблица 1). В таблице приведены результаты химического анализа контактово-измененных кварцитов и гранодиоритов, а также продуктов их взаимодействия, подчеркивающих калишпатизацию вмещающих пород на контакте – в данном случае кварцитов и окварцевание гранитоидов в эндоконтакте.

По содержанию петрогенных, редких и редкоземельных элементов кварциты месторождения Бурал-Сарьдаг очень четко можно разделить на две группы.

К первой группе относятся черные и темно-серые кремневидные кварциты, отличающиеся низкими содержаниями *породообразующих* (рис. 9) и *редких элементов* и в целом сопоставимые по этим элементам с

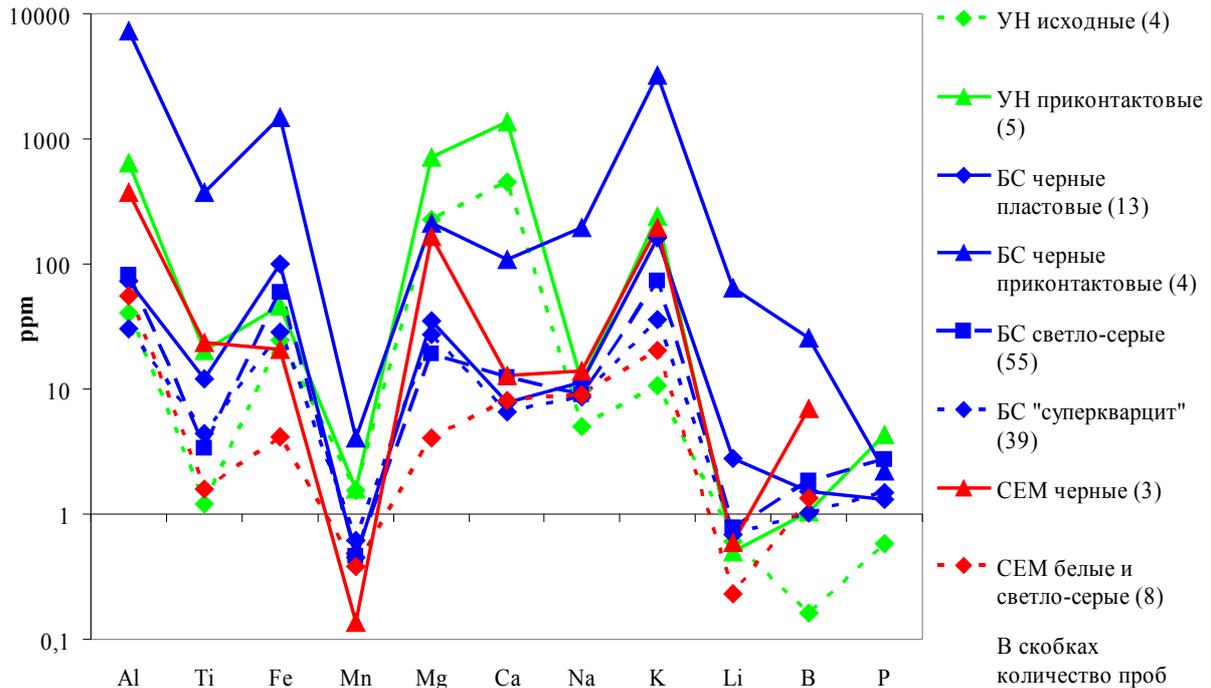


Рис. 9. Средние содержания петрогенных элементов во всех проанализированных разновидностях кварцитов Окинско-Урикской кварцитоносной зоны. УН – участок Урунгэнурский, БС – участок Буралсарьдагский, СЕМ – проявление Семерка Урдагарганского участка.

Примечания: Анализы выполнены в Институте геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН методом ИСП МС и АЭСА.

Таблица 1 Химический состав микрокварцитов, гранодиоритов и продуктов их контактового взаимодействия

Компоненты	Содержание в вес. %				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	98.77	90.18	87.44	89.17	70.34
TiO ₂	0.015	0.024	0.025	0.019	0.269
Al ₂ O ₃	0.15	5.02	4.85	4.78	15.59
Fe ₂ O ₃	0.64	0.54	2.70	2.07	3.25
MnO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.034
MgO	<0.05	0.08	0.63	0.27	0.89
CaO	0.09	0.10	0.49	0.11	2.05
Na ₂ O	<0.02	0.42	<0.20	0.73	3.89
K ₂ O	<0.01	3.29	2.81	2.62	1.95
P ₂ O ₅	<0.01	0.012	<0.01	0.01	0.102
Sr, ppm	51	34	40	<30	482
Zr, ppm	37	43	42	33	124
П.п.п.	0.21	0.27	0.79	0.16	1.48
Сумма	100.01	99.95	99.96	99.96	99.90

Примечания: 1 – кремневидные микрокварциты пластового тела; 2 – калишпатизированный кварцит (зона экзоконтакта); 3-4 – окварцованный гранитоид (зона эндоконтакта); 5 – гранодиорит. Анализы выполнены в лаборатории рентгеноспектрального анализа Института геохимии СО РАН.

осветленными кварцитами и даже «суперкварцитами». Черные и темно-серые кремневидные кварциты, осветленные (светло-серые и серые кварциты) и «суперкварциты» по сходным геохимическим признакам резонно объединить под названием продуктивной толщи или продуктивных пластовых тел.

Ко второй группе относятся кварциты, пространственно тяготеющие к контакту с интрузией сумсунурского комплекса (приконтактовые), в которых содержание *петрогенных и редких элементов* выше, чем в черных кремневидных кварцитах пластовых тел по Mn, Fe, Ca, Na, K, V и Zr в 10-20 раз, по Ti, Li, Sc, Sr и Ba в 20-30 раз, по Al, V, Rb, Cs около двух порядков. В среднем содержание суммы *петрогенных* элементов в черных приконтактовых кварцитах более чем в 30 раз выше, чем в черных и темно-серых кварцитах пластовых продуктивных тел месторождения Бурал-Сарьдаг.

Также четко отличаются кварциты месторождения Бурал-Сарьдаг по содержанию *редкоземельных элементов (РЗЭ)* (рис 10). Наименьшее содержание РЗЭ наблюдается в «суперкварцитах» и затем увеличивается в светло-серых (более, чем в 5 раз) и черных приконтактовых кварцитах (в 10–15 раз). При этом кривые распределения нормированных содержаний РЗЭ практически параллельны. Такое поведение РЗЭ говорит о генетической родственности всех типов кварцитов на месторождении (Шатров, 2009; Балашов, 1976; Ронов, 1993).

Характерной особенностью кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг является отчетливый Eu минимум, появление которого нетипично для метаморфизованных хемогенно-осадочных пород и объясняется поздним наложенным влиянием гранитоидных интрузий поздних фаз дифференциации (Федоров и др., 2012).

«Силициты» Урунгэнурского участка в геохимическом отношении представляют собой довольно чистые породы. Основными элементами-примесями в них являются Mg, Ca и Fe в карбонатной составляющей породы, Al и K в слюдах. Кроме того, «силициты» по геохимическим признакам четко подразделяются на две обособленные группы. Первую группу составляют исходные «силициты», развитые на удалении от выхода гранитоидов барунхолбинского и мункусардыкского комплексов и характеризуются очень низкими содержаниями примесей, а вторые – вблизи от интрузивов (приконтактовые) с повышенными содержаниями практически всех породообразующих, редких и редкоземельных элементов. Наиболее контрастно это прослеживается для элементов-гранитофилов: Al, Ti, K, Y и РЗЭ (рис. 9, 10), а также Ba, Rb, V, Cs с превышением до 20 раз по сравнению с исходными «силицитами». Отчетливый Ce минимум, характерный для осадков морских бассейнов, сохраняется практически неизменным, но при приближении к контакту в спектрах РЗЭ явно усиливается Eu минимум, свидетельствующий о

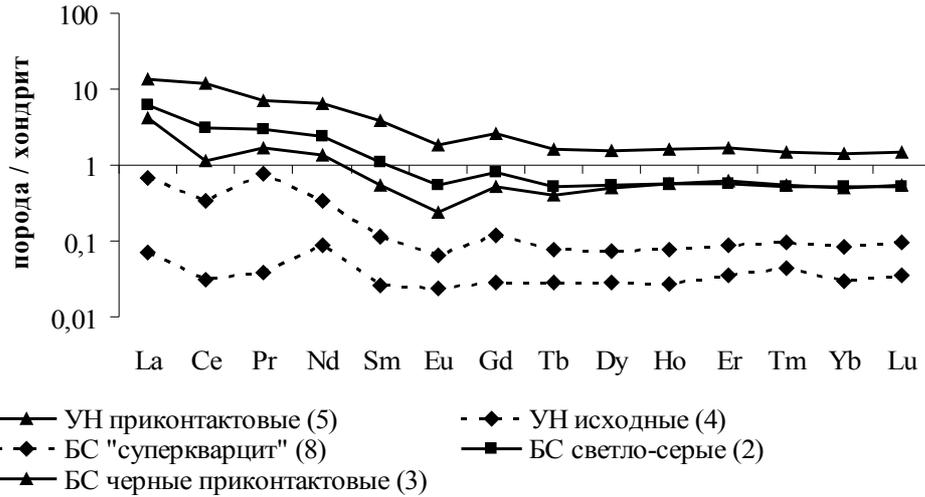


Рис. 10. Средние содержания редкоземельных элементов для кварцитов Окинско-Урикской кварцитоносной зоны.

Примечания: УН – участок Урунгэнурский, БС – участок Буралсарьдагский. Цифры в скобках – количество проб. Нормировано по (Evensen et al., 1978).

воздействию эндогенного флюида, связанного с заключительной стадией становления мункусардыкского гранитоидного комплекса.

На основании данных, изложенных в 4 главе можно сделать вывод, что осадочно-метаморфические кварциты («силициты») иркутской свиты неопротерозойского возраста в результате воздействия гранитоидов сумсунурского комплекса испытали загрязнение гранитофильными и редкоземельными элементами (второе защищаемое положение).

Глава 5. Модель формирования кварцевых метасоматитов Окинско-Урикской кварцитоносной зоны

Детальные геохимические исследования исходных «силицитов» Урунгэнурского участка и метасоматических кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг, а также проявлений Семерка и Белая Сопка на Урдагарганском участке позволяют сформулировать выводы относительно их генезиса.

Основными аргументами для предлагаемой модели являются следующие:

1. Положение «суперкварцитов» в верхней части разрезов с уменьшением степени метасоматической перекристаллизации и их очистки от примесей вниз по разрезу.

2. Обрамление фундамента и чехла Гарганской глыбы остатками сползших пластин офиолитов.

3. Геохимические доказательства загрязнения кварцитов вблизи контактов с гранитоидами.

Опираясь на эти данные, предлагается модель формирования кварцевых метасоматитов и «суперкварцитов» Окинско-Урикской зоны

Опираясь на эти данные, предлагается модель формирования кварцевых метасоматитов и «суперкварцитов» Окинско-Урикской зоны

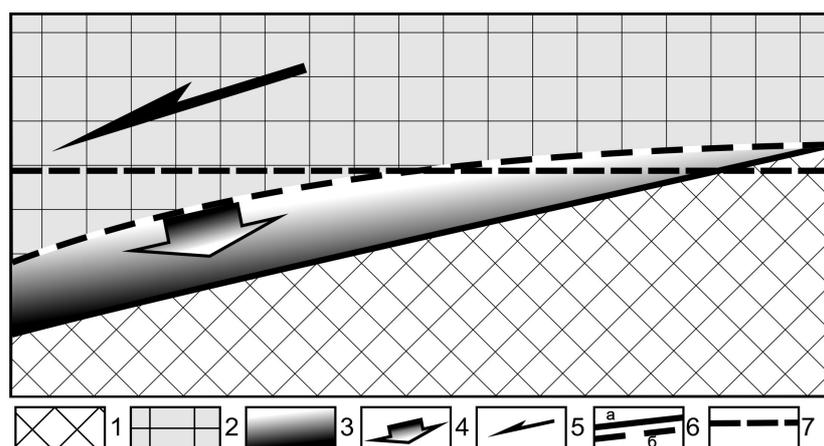


Рис. 11. Схема гравитационного оползания офиолитового покрова с Гарганской глыбы. 1 – фундамент Гарганской глыбы (AR-PR); 2 – офиолитовый комплекс нерасчлененный (R_3); 3 – чехол Гарганской глыбы (иркутская свита, R_{2-3}); 4 – направление и степень воздействия теплового поля от тектонического контакта офиолитов с породами чехла Гарганской глыбы; 5 – направление гравитационного оползания офиолитового комплекса с поверхности Гарганской глыбы; 6 – тектонические нарушения: а – достоверные, б - предполагаемые; 7 – эрозионный срез.

Восточного Саяна в ходе динамометасоматических преобразований первичных кремнисто-карбонатных пород иркутской свиты под воздействием продвигающихся по ним пород офиолитового покрова. В результате оползания аллохтона в верхней части разреза кварцитов при максимальном однонаправленном дискретно-динамическом воздействии движущейся пластины, вероятно, и происходила автолизия исходного кварцевого субстрата и его перекристаллизация (рис. 11) с увеличением размеров и приобретением специфической субпараллельной ориентировки зёрен кварца, отражающей направление движения покрова по принципам описанным в работах Р.Х. Вернона (1976) и В.А. Попова (2011). В процессе перекристаллизации шла отгонка минеральных и других примесей в межзерновое пространство с последующим их выносом в участки с пониженными Р-Т условиями (Григорьев, 1956).

Разработанная модель, основанная на анализе полученных геологических, минералого-петрографических и геохимических данных показывает, что продуктивные тела метасоматических осветленных кварцитов и высокочистых «суперкварцитов» месторождения Бурал-Сарьдаг сформировались в процессе динамометасоматических преобразований первичных кремнисто-карбонатных пород («силицитов») иркутской свиты под действием продвигавшегося по ним на стадии гравитационного оползания Дунжугурского офиолитового покрова (третье защищаемое положение).

Заключение

С учетом результатов, полученных при исследовании трех участков с использованием минералого-петрографических и геохимических методов, проведена типизация основных разновидностей пород, определены взаимоотношения между разными типами пород продуктивной толщи и вмещающей рамы, а также между инъекционными телами и породами тектонического покрова. Впервые установлены общие черты для трех участков развития кремнистых толщ, а также их основные морфологические и генетические отличия, заключающиеся в том, что кварцевые метасоматиты сформировались по исходным слабометаморфизованным «силицитам» в процессе динамометасоматических преобразований.

В результате проведенных исследований впервые была построена общая для разных изученных участков модель формирования «суперкварцитов» и осветленных метасоматитов под воздействием оползания пород офиолитового аллохтона по чехлу Гарганской глыбы. Предложенная модель охватывает широкий период развития пород от начала осадкообразования кремнистой толщи до формирования тел кварцевых метасоматитов и их вывода на дневную поверхность.

На основе построенной генетической модели определены литолого-стратиграфические, геодинамические и геолого-геохимические критерии выявления кварцевых метасоматитов для дальнейших исследований на территории Восточного Саяна и в других регионах, а также сформулированы поисковые признаки для прогнозирования участков образования кварцитов такого или близкого типа:

- Слабоизмененные «силициты» представляют собой изначально химически чистую хемогенно-осадочную толщу, в которой содержания элементов-примесей в кремнистом компоненте не превышают 100 ppm. Установлено, что даже слабоизмененные «силициты», при условии отработки технологии предварительного обогащения, удаляющей карбонатную составляющую из них, можно отнести к продуктивной высокочистой толще.
- Благоприятная геодинамическая обстановка, способствующая перекристаллизации кварца и образованию осветленных метасоматитов и «суперкварцитов» в условиях, исключающих поступление внешнего источника флюида.
- Необходимым условием является отсутствие в непосредственной близости от выходов пород кварцевых метасоматитов магматических образований разного генезиса.

СПИСОК ПОСЛЕДНИХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. **Федоров А.М.**, Куликова З.И. Петрографические особенности кварцитов Восточного Саяна // Тезисы докладов XI Всерос. петрографического совещания «Магматизм и метаморфизм в истории Земли». – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН. – 2010. – Т.1. – С. 352-353.

2. **Федоров А.М.**, Будяк А.Е. Геологическое строение и геохимическая характеристика месторождения сверхчистых кварцитов Бурал-Сарьдаг // Сб. докладов Всерос. науч. конф «Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии». – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН. – 2010. – С. 130-132.

3. Куликова З.И., **Федоров А.М.** Минералого-петрографические и геохимические особенности кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья». – Улан-Удэ: ЭКОС. – 2010. – С. 113-116.

4. **Федоров А.М.** Генезис и условия формирования месторождения сверхчистых кварцитов Бурал-Сарьдаг // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья». – Улан-Удэ: ЭКОС. – 2010. – С. 181-184.

5. Будяк А.Е., **Федоров А.М.** Литологические и геодинамические предпосылки формирования кварцевых метасоматитов месторождения Бурал-Сарьдаг // Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск: Институт Земной коры СО РАН. – 2011. – С. 68-69.

6. **Федоров А.М.**, Спиридонов А.М., Будяк А.Е., Сокольникова Ю.В., Куликова З.И. Условия формирования месторождения сверхчистых кварцитов Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2011. – № 1 (38). – С. 94-104.

7. **Федоров А.М.**, Непомнящих А.И., Спиридонов А.М., Середкин Е.А. Месторождение кварцитов Бурал-Сарьдаг как источник расширения минерально-сырьевой базы для металлургии кремния // Материалы Всероссийского совещания «Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья». – Миасс:.. – 2011. – С. 163-166.

8. Макрыгина В.А., **Федоров А.М.** Геохимические особенности средних и кислых вулканитов чехла Гарганской глыбы (Восточный Саян) // Материалы совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Вып. 9. – Иркутск: Институт Земной коры СО РАН. – 2011. – С. 137-138.

9. **Федоров А.М.**, Макрыгина В.А. Влияние покровной тектоники на формирование тел высокочистых кварцитов Восточного Саяна // Материалы совещания «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту)». Вып. 9. – Иркутск: Институт Земной коры СО РАН. – 2011. – С. 225-226.

10. **Федоров А.М.**, Макрыгина В.А., Будяк А.Е., Непомнящих А.И. Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) // Доклады АН, 2012. – Т. 442, № 2. – С. 244-249.