

УДК 549.514.51

## ПЕТРОГРАФИЯ СВЕРХЧИСТЫХ КВАРЦИТОВ УЧАСТКА БУРАЛ-САРЬДАК, ВОСТОЧНЫЙ САЯН

© 2013 г. Л. Я. Кабанова\*, В. Н. Анфилогов\*, А. И. Непомнящих\*\*, М. А. Игуменцева\*

\*Институт минералогии УрО РАН

456317, Челябинская обл., г. Миасс

E-mail: anfilogov@mineralogy.ru

\*\*Институт геохимии СО РАН

664054, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а

E-mail: ainer@igc.irk.ru

Поступила в редакцию 12.12.2012 г.

В статье приведены результаты петрографического изучения кварцитов, в которых залегает месторождение особо чистого кварца Бурал Сарьдак (Восточный Саян).

Ключевые слова: *монокварциты, вторичные кварциты, петрография.*

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возник острый дефицит высококачественного кварцевого сырья, пригодного для получения особо чистого кварцевого стекла, для производства волоконно-оптических изделий, изготовления тиглей для плавки полупроводникового кремния и кварцевых порошков для электронной промышленности. В связи с этим перед геологической службой России была поставлена задача переоценки существующих месторождений кварца и поиска новых, нетрадиционных видов кварцевого сырья [1]. Одним из возможных источников такого сырья являются хемогенные кварциты, образующиеся в процессах кислотного выщелачивания пород в областях активного вулканизма, и другие типы метасоматически измененных кварцитов. Перспективным районом на поиски месторождений особо чистых кварцитов является район верхнего течения р. Орот (Восточный Саян) [2]. На этой площади установлено и в настоящее время детально изучается месторождение Бурал-Сарьдак [3, 5, 8, 9], кварциты которого оказались пригодными для получения особо чистого кварцевого концентрата.

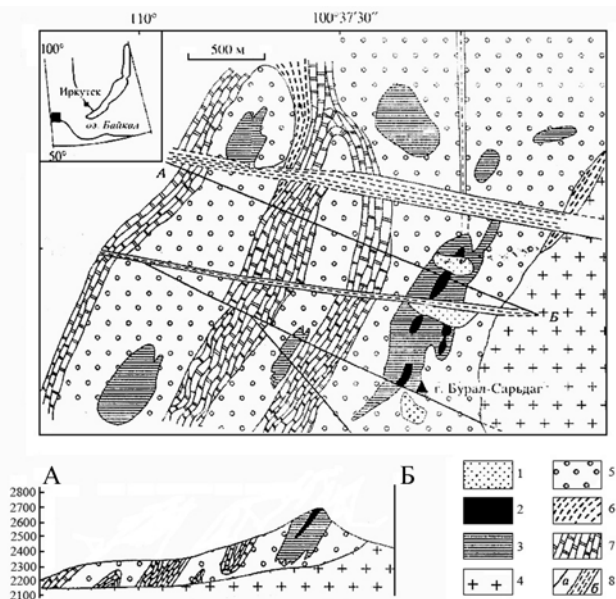
Первые представления о генезисе кварцитов были высказаны в работе Е.И. Воробьева и др. [3]. Авторы работы считают, что они образовались по пластовым телам хемогенных кварцитов с незначительной примесью органогенного и детритового материала. А.М. Рогачев рассматривал кварциты Бурал-Сарьдака как вторичные кварциты [4]. В.П. Табинаев и С.Д. Цуцар [6], авторы отчета по поисково-оценочным работам, считают, что объектом метасоматических преобразований были прибрежно-морские кварцевые песчаники. Н.Г. Быдтаева с соавторами пришли к выводу, что кварциты образовались в ре-

зультате углекислотного метасоматоза кремнистых пород [1, 2]. В настоящей работе приведены результаты детального петрографического изучения всех разновидностей кварцитов месторождения.

### ПЕТРОГРАФИЯ КВАРЦИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУРАЛ-САРЬДАК

Месторождение кварцитов Бурал-Сарьдак расположено в юго-восточной части Восточного Саяна. Две принципиально различных схемы геологического строения месторождения приведены на рисунках 1 и 2. По результатам бурения, которое было выполнено до глубины 20 м, выделяются следующие типы кварцитов (снизу вверх) [7]: 1) серые тонкослоистые микрокварциты; 2) полосчатые микрокварциты с чередованием полос серых и светло-серых разностей; 3) светло-серые тонкозернистые неясно полосчатые кварциты; 4) белые неравномернозернистые однородные порфиоровидные “суперкварциты”; 5) белые однородные крупнозернистые порфиоровидные “суперкварциты”; 6) светло-серые и белые “суперкварциты” с кристаллами прозрачного кварца. Термином “суперкварциты” А.М. Федоров объединяет кварциты с наиболее высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  и низким содержанием примесей.

По результатам петрографического изучения на месторождении выделены три основных минеральных типа кварцитов: монокварцит, диккитовый кварцит и графитовый и графитсодержащий кварцит. По количественно-минеральному составу и структурно-текстурным особенностям выделяются полосчатые кварциты, состоящие из полос монокварцита и диккитового кварцита, графитового кварцита и диккитового кварцита, графитового кварцита и монокварцита. В зависимости от типа



**Рис. 1.** Геологическая схема и разрез месторождения суперкварцитов горы Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) [3].

1–3 – образования метасоматического комплекса: 1 – “песчанистые” кварциты, 2 – суперкварциты, 3 – осветленные кварциты; 4 – магматический комплекс: гранитоиды Сумсунурского батолита (верхний рифей); 5–7 – осадочно-метаморфический комплекс (иркутская или монгошинская свита, средний рифей); 8 – кварциты кремневидные микрозернистые; 6 – углисто-серицит-кремнистые сланцы; 7 – доломиты светло-серые мраморизованные, в районе месторождения частично или нацело тремолитизированные; 8 – дизъюнктивные нарушения: а – разломы, б – тектонические зоны.

Черный квадрат на врезке вверху – географическое положение района месторождения

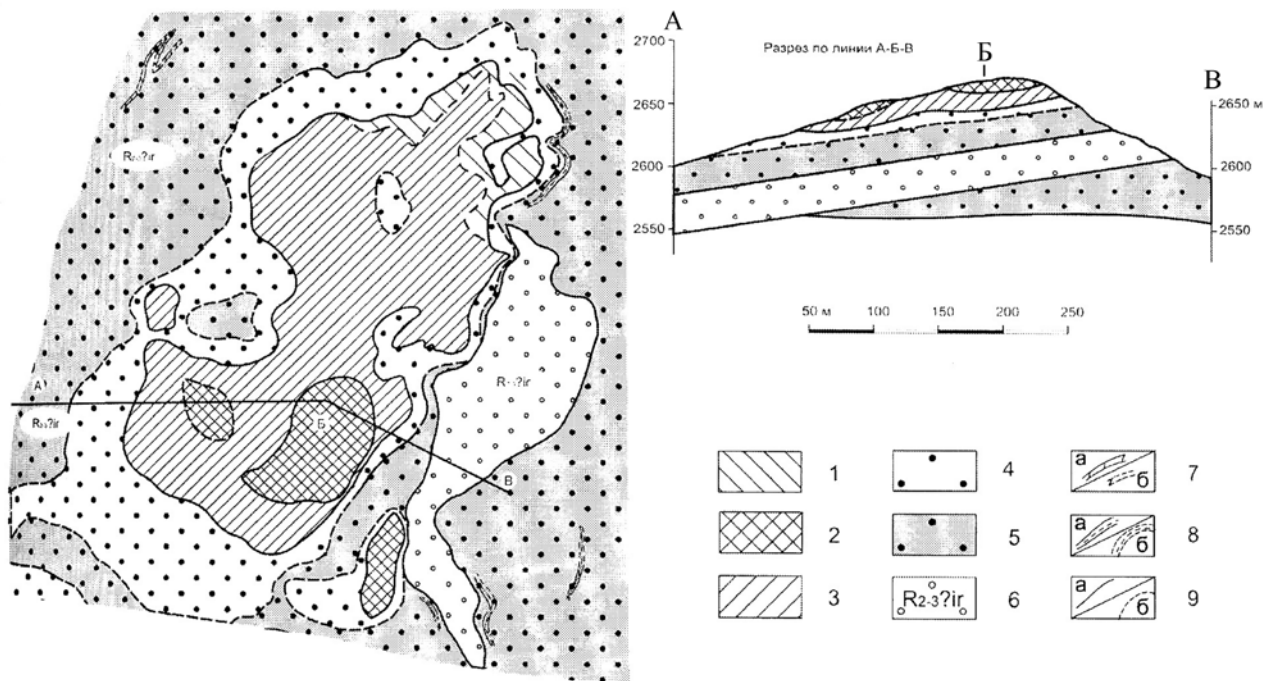
кварцита в нем наблюдаются следующие ассоциации минералов. *Монокварцит*: кварц, циркон, рутил, гематит, реже мусковит и опал. *Диккитовый кварцит*: кварц, диккит, каолинит-диккит, гематит, циркон, рутил, алунит, хлорит, эпидот. *Графитовый кварцит*: кварц, графит, диккит, гематит, биотит, мусковит, серицит, хлоритоид, рутил, диаспор, редко силлиманит. Ниже приведено подробное петрографическое описание этих типов кварцитов.

**Монокварциты.** Макроскопически монокварциты представляют собой светлые, преимущественно белые, молочно-белые, иногда светло-серые породы, мелко-среднезернистые, иногда крупнозернистые. Микроскопически кварциты представлены агрегатом неравномерно-зернистого кварца, следующего состава (об. %): кварц – 94–100, мусковит – 1, рутил – 0.1–1, гематит – 0.5–1, алунит – 0.5, диккит – 0.5–2, циркон – 0.1–1. Наблюдаются реликты первичного кварца размером от 0.1–0.5 до 2.0–3.0 мм и новообразованного рекристаллизованного кварца размером от 0.01 до 0.1 мм. Рекристаллизо-

ванный кварц развивается по пересекающимся системам полос деформации (рис. 3а). Новообразованные зерна формируют цепочки и прослои, разделяют деформированный индивид на фрагменты (рис. 3б) и создают фрагментарную структуру. Во фрагментах исходного индивида наблюдаются следы пластической деформации. Новообразованные зерна оптически однородны, не содержат следов деформации и газовой-жидких включений. В участках, где полосы деформации располагаются близко друг к другу при рекристаллизации образуется агрегат мелких зерен без реликтов исходного индивида. В этих участках формируется гранобластовая структура (рис. 3в, г). Все реликтовые зерна кварца содержат газовой-жидкие включения, которые формируют цепочки, приуроченные либо к зонам роста первичных индивидов, либо к залеченным трещинам хрупкой деформации. В целом, содержание ГЖВ составляет около 2% на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа. Размер включений варьирует в пределах 1–2 мкм.

Молочно белый кварц в шлифе имеет неравномерно-зернистую порфиробластовую структуру и микрогранобластовую структуру основной ткани (рис. 4а).

Крупные реликтовые зерна кварца ромбовидной и удлиненно-шестоватой призматической формы размером до 1.2–1.8 см окружены мелкозернистым кварцем изометричной или близкой к ней формы размером от 0.01 до 0.1 мм. Новообразованный кварц, который формируется по трещинам, разбивающим индивид кварца на фрагменты, подчеркивает бластопорфировую структуру. Фрагменты сохраняют отчетливо проявленные следы хрупкой и пластической деформаций. Хрупкая деформация отражена внутризерновыми залеченными трещинами, в которых наблюдается стекловидный кварц и газовой-жидкие включения. ГЖВ отмечаются также в отдельных зернах по зонам роста в виде прерывистых цепочек. Плотность ГЖВ на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа не превышает 1%. Размер включений колеблется в пределах 1–5 мкм. Следы пластической деформации представлены волнистым погасанием и редкими бурыми пластинками – полосками Бема. В зернах реликтового кварца встречаются скопления мелких кристалликов рутила (рис. 4б) размером менее 0.01 мм. Кристаллики короткостолбчатые, окрашены в красно-бурый цвет, встречаются характерные сердцевидные двойники. Единичные кристаллики циркона характеризуются бочонковидной формой (рис. 4в). Гематит наблюдается в виде пластинок и зерен неправильной формы. Новообразованный кварц характеризуется изометричной или близкой к ней формой и однородным погасанием. Среди агрегата зерен новообразованного кварца встречаются волокнистые агрегаты алунита, в шлифе почти бесцветного, прямогаснущего (рис. 4г). Местами наблюдаются пластинки диккита размером 0.01–0.03 мм.



**Рис. 2.** Геологическая схема месторождения Бурал-Сарьдак (по материалам В.П. Табинаева, С.Д. Цуцара и др.) [6].

1–3 – метасоматиты по кремнистым породам иркутской свиты: 1 – “песчаные” кварциты – продукты выветривания метасоматических кварцитов образований, 2 – “суперкварциты”, 3 – светло-серые мелкозернистые кварциты; 4–5 – иркутская свита: кварциты и микрокварциты различного состава, горизонты, линзы, желваки окремненных, часто мергелистых доломитов; 4 – серые и светло-серые микрокварциты, 5 – черные кремневидные микрокварциты с прослоями доломитов и мраморов, тонкие (до первых мм) прожилки и линзы перекристаллизованного кварца; 6 – иркутская свита (R<sub>2</sub>): 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.

В светло-сером кварците в шлифе преобладают зерна новообразованного кварца с зубчато-ступенчатыми границами. Размер зерен колеблется в пределах от 0.01–0.1 до 1.0–2.0 мм.

В реликтовых зернах отчетливо проявлены следы пластической деформации в виде волнистого погасания, отмечаются в некоторых зернах единичные таблички, реже скопления пластинок мусковита (рис. 5а) и редкие газово-жидкие включения, составляющие около 0.5% на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа. Местами встречаются редкие пластинки гематита (рис. 5б) и мелкие точечные зерна рутила.

Среди зерен новообразованного кварца встречаются пластинки каолинит-диккита размером до 0.2 мм. Они отличаются от каолинита углом погасания, который в каолинит-дикките равен 24°. Пластинки окрашены в бледно-зеленый цвет, характеризуются отчетливо проявленным рельефом, в сечении местами обнаруживают шестиугольные срезы.

Встречаются кварциты, содержащие опал. В шлифе отчетливо видно, как опал корродирует

зерна новообразованного кварца, который не содержит следов деформации и газово-жидких включений. Опал в некоторых участках является цементом (рис. 6а). Межзерновые трещины залечены опалом (рис. 6б), местами с примесью гематита. В некоторых случаях отчетливо проявлены следы течения гелеобразного вещества (рис. 6в, г), особенно хорошо прослеживаемые вокруг корродированных кварцевых зерен. Они подчеркиваются включениями газа, жидкости и рудного материала, ориентированного в одном направлении.

**Диккитовые кварциты.** Этот тип кварцитов макроскопически отличается по цвету и структуре от монокварцитов, характеризуется серой иногда зеленоватой окраской и часто отчетливо проявленным полосчатым строением.

Содержание диккита варьирует в широких пределах от 10 до 60%. В светлых разностях кварцита содержание кварца колеблется в пределах от 50 до 90%, в серовато-зеленых опускается до 40%. В качестве примесных минералов отмечается циркон, гематит, рутил. Полосчатый кварцит в шлифах

представлен чередованием полос разной зернистости и состава. На 1.2 см<sup>2</sup> площади шлифа отмечено 8 полос с преобладанием крипто-микроструктуры. Мощность полос колеблется в пределах от 0.5–1.0 до 3.0–5.0 мм. Более светлые полосы состоят преимущественно из кварца – 95% и небольшого количества диккита – 4%; более темные содержат кварц – 50–60%, до 40–50% диккита и небольшое количество гематита (рис. 7а, в, г). Часть шлифа представлена однородным кварцитом гранобластовой структуры с размером зерен 0.1–0.5 мм. Кварц характеризуется близкой к изометричной формой и однородным погасанием. Встречаются отдельные зерна с волнистым погасанием, свидетельствующим о пластической деформации. Следы хрупкой деформации представлены внутризерновыми трещинами, к которым приурочены ГЖВ, составляющие в отдельных зернах до 3% на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа. Размер газово-жидких включений не превышает 5 мкм. Скопления ГЖВ формируют цепочки и поля неправильной формы.

Диккит в шлифе наблюдается в виде пластинок, иногда близкой к гексагональной формы размером до 0.05–0.1 мм, местами с отчетливо проявленной спайностью (рис. 7б). Угол погасания 15–20°. Обычно бесцветный, иногда слабо окрашен в зеленовато-желтоватые тона. Алунит (рис. 7д) наблюдается в виде небольших листоватых агрегатов или тонкочешуйчатых скоплений размером до 0.05 мм. В шлифе бесцветный, иногда слабо буроватый. Погасание прямое, спайность совершенная (похожа на мусковит). Содержит тонкие включения рутила. Встречаются единичные мелкие призмы апатита размером около 0.05 мм. В полосах с криптозернистым строением в кварците увеличивается содержание диккита до 50–60%. Диккит образует не только агрегатную смесь с кварцем, но и мономинеральные гнезда и отдельные короткие жилки (рис. 7е).

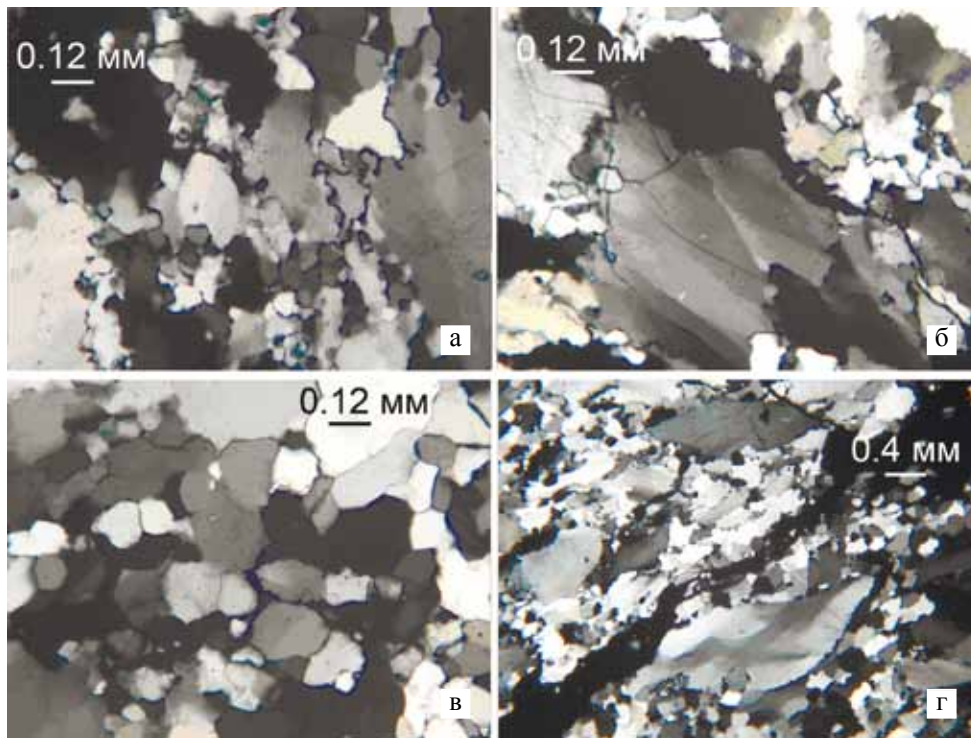
Иногда кварцит интенсивно катаклазирован и по трещинам развивается кварц-диккитовый агрегат с резким преобладанием диккита, образующего пластинки и сростания бесцветных зерен неправильной формы (рис. 8а, б) размером от 0.01 до 0.1 мм. Отчетливо проявлена спайность, угол погасания 20°. Соотношение диккита и кварца в разных участках шлифа различно: в одних случаях 1 : 1, в других – 1 : 1.5. Местами встречаются жилки (рис. 8в, г), выполненные зернами диккита разной формы и размера. Мощность жилок варьирует в пределах от 1–2 до 3–5 мм.

Наблюдаются ожелезненные разновидности кварцита, которые макроскопически имеют желтовато-бурый цвет, а в шлифе отмечаются пластинки (рис. 9в) и зерна неправильной формы, представленные гематитом, размером 0.01–0.03 мм. В виде включений в кварце отмечены одиночные зерна размером менее 0.001 мм (рис. 9г) и скопления мелких кристалликов циркона. В существенно

диккитовых кварцитах часто наблюдается порфиробластовая структура. Зерна реликтового кварца размером 2.0–3.0 мм окружены агрегатом мелких зерен диккита и кварца (рис. 9а). Размер мелких зерен новообразованного кварца колеблется в пределах 0.01–0.1 мм. Форма зерен этого кварца преимущественно неправильная. Зерна характеризуются однородным погасанием, не содержат следов деформаций, не содержат газово-жидких включений. Граница порфиробласт и основной ткани зубчатая с проникновением диккита по трещинам в кварцевые зерна. Кварц порфиробласт составляет около 20% объема шлифа, столько же составляет новообразованный кварц. Диккит составляет около 60% объема шлифа, представлен пластинками и агрегатом мелких зерен неправильной формы. Отдельные трещинки в породе выполнены чешуйчатыми зернами графита. Встречено одно зерно эпидота скелетной формы (рис. 9б, в) размером 0.18 мм в длину. Цвет желтовато-зеленый, слабо проявлен плеохроизм: по *Np* – бесцветный, по *Nm* – зеленовато-желтый, по *Ng* – светло-желтовато-зеленый. Цвета интерференции яркие, пестрые, различные в разных участках одного и того же зерна. Гематит и в этой разновидности кварцита встречается часто, хотя и в небольших количествах.

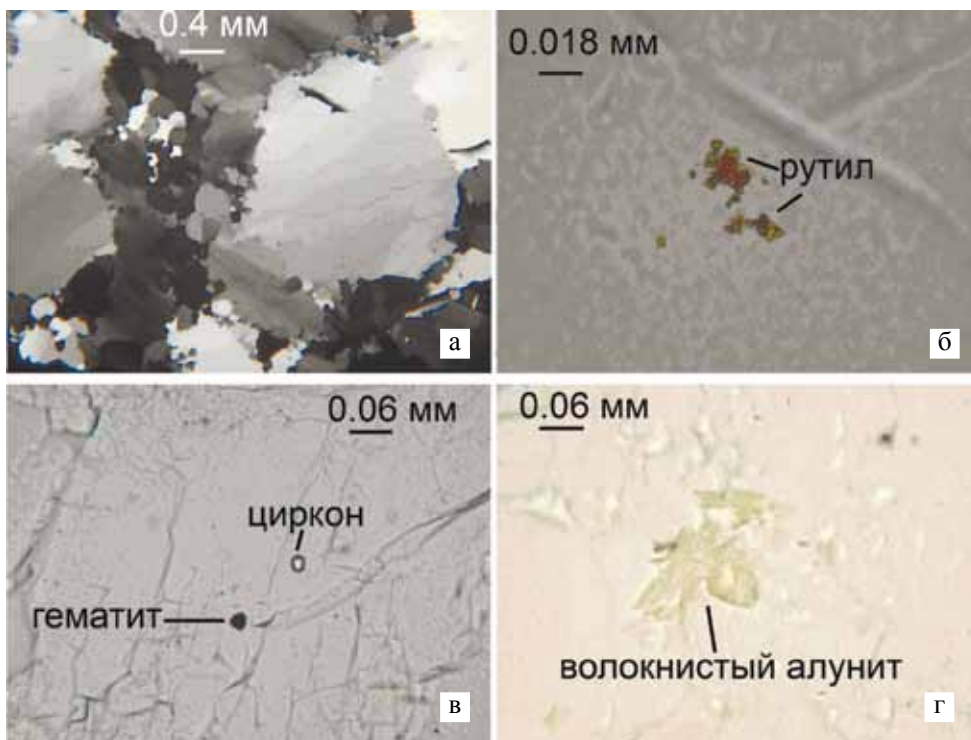
**Графитовые кварциты.** К этому типу кварцитов относятся темноокрашенные – серые, темно-серые породы с линейно-полосчатой текстурой, содержащие от 10 до 60% графита. В шлифе отчетливо проявлена линейно-полосчатая текстура, местами с мелкими кулисообразными складками, ядра которых отличаются более светлой серой окраской, что связано с меньшим количеством графита (около 10%), в то время как крылья складок темно-серые и содержание графита достигает здесь 60% (рис. 10а). Средний количественно-минералогический состав этого кварцита (об. %) следующий: кварц – 40–45, графит 20–60, гематит – 2, силлиманит – 2, хлоритоид – 2, рутил – 1.

Кварц представлен зернами разной формы от удлиненно-призматической, ромбовидной до зерен неправильной формы размером до 3.0–5.0 мм. Встречаются реликтовые зерна с волнистым погасанием, но преобладают зерна близкой к изометричной формы с однородным погасанием. Количество кварца в разных участках варьирует в широких пределах от 10 до 45% объема породы. Графит в шлифе наблюдается в виде гексагональных чешуек, листоватых или зернистых агрегатов черного цвета, непрозрачных, местами, в тонких срезах, просвечивающих зеленовато-серым цветом. Размер от 0.1–0.5 до 1.0–2.0 мм. Местами среди кварц-графитового материала отмечаются скопления хлоритоида с небольшой примесью диаспора и пластинок гематита. Хлоритоид в шлифе окрашен в светло-желтовато-зеленый, местами буровато-зеленый или оливково-зеленый цвет (рис. 10б, в). Схема плеохроизма



**Рис. 3.** Монокварцит.

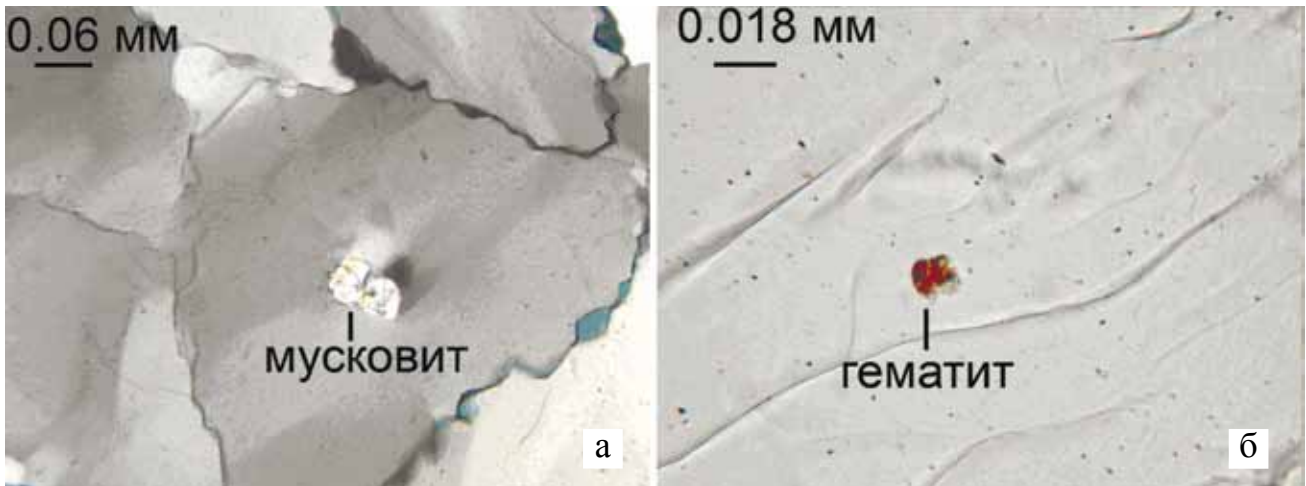
а – новообразованный кварц, б – фрагменты реликтового кварца, в – гранобластовая структура новообразованного кварца, г – псевдобластопорфировая структура. Фото шлифа БС 2012-1. Николи скрещены.



**Рис. 4.** Монокварцит.

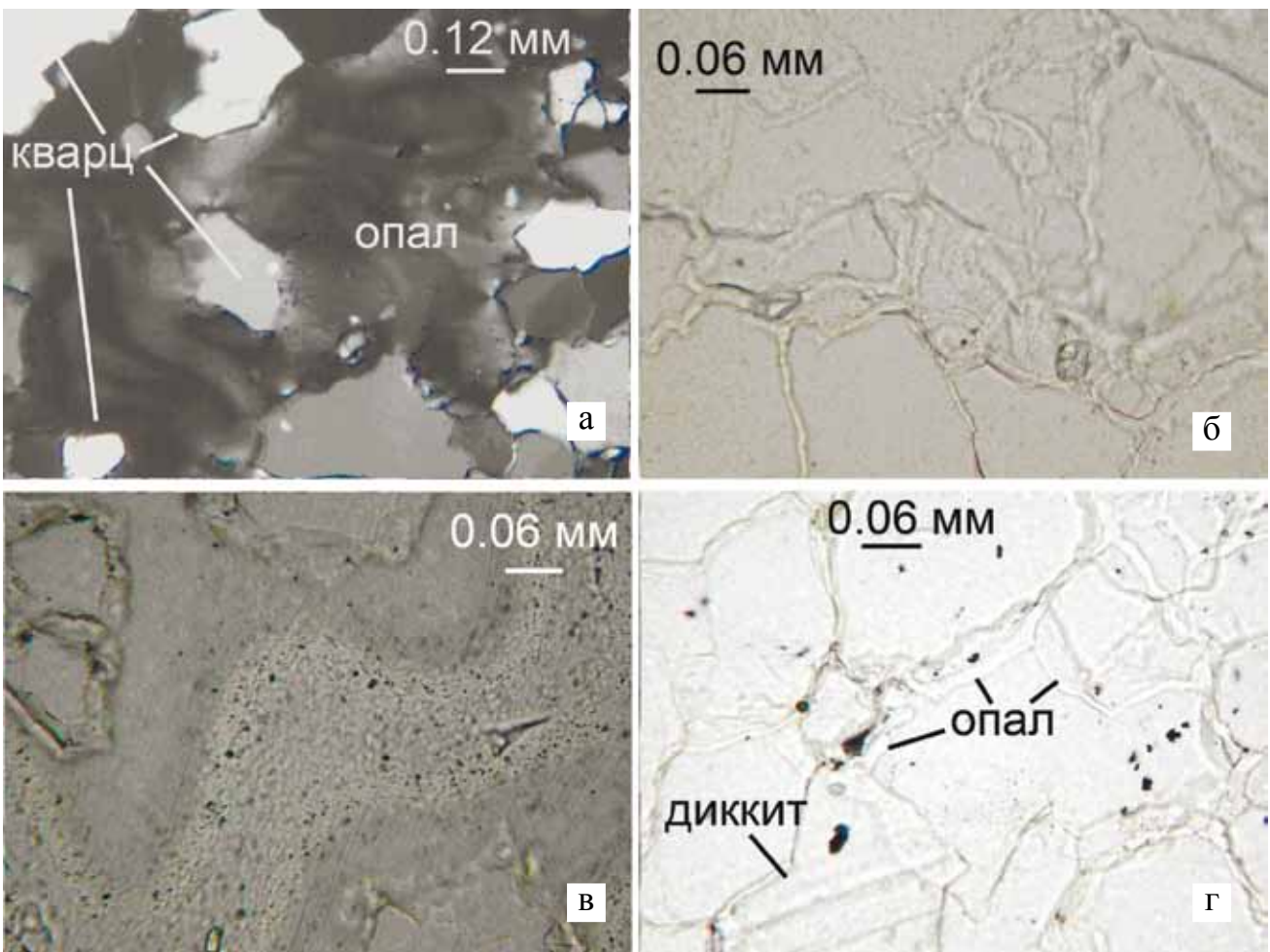
а – псевдобластопорфировая структура, б – скопления рутила в кварце, в – единичные зерна циркона и пластинки гематита, г – волокнистый alunит. Фото шлифа БС 2012-3: а-в – николи скрещены; г – свет проходящий.





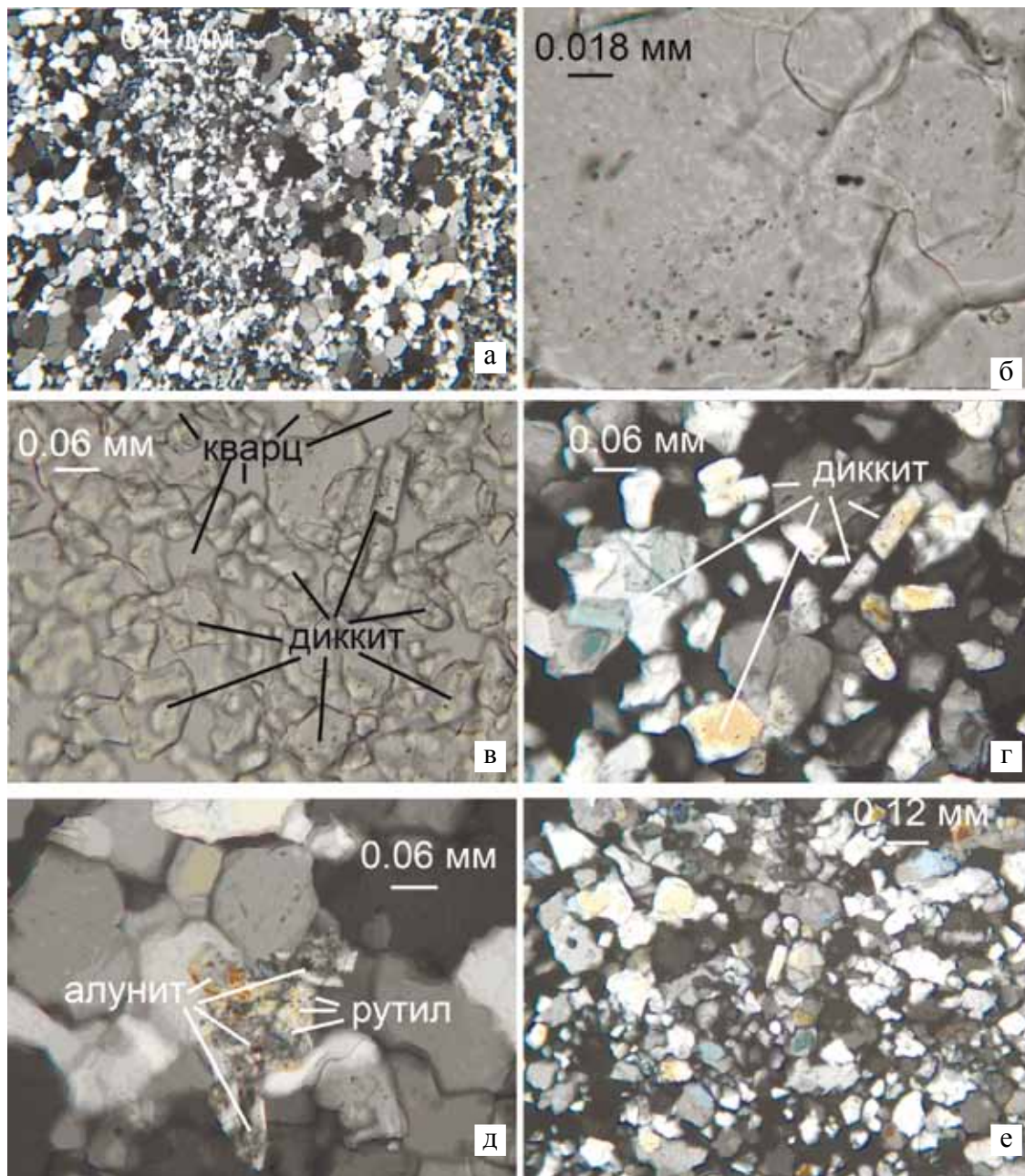
**Рис. 5.** Монокварцит.

а – мусковит в кварце, б – включения гематита. Фото шлифа БС 2012-11: а – николи скрещены, б – свет проходящий.



**Рис. 6.** Монокварцит.

а – опал и реликтовый кварц; б – опал в межзерновых трещинах; в – следы течения в опале; г – опал, диккит. Фото шлифа БС 2012-14: а – николи скрещены; б-г – свет проходящий.



**Рис. 7.** Дикитовый кварцит.

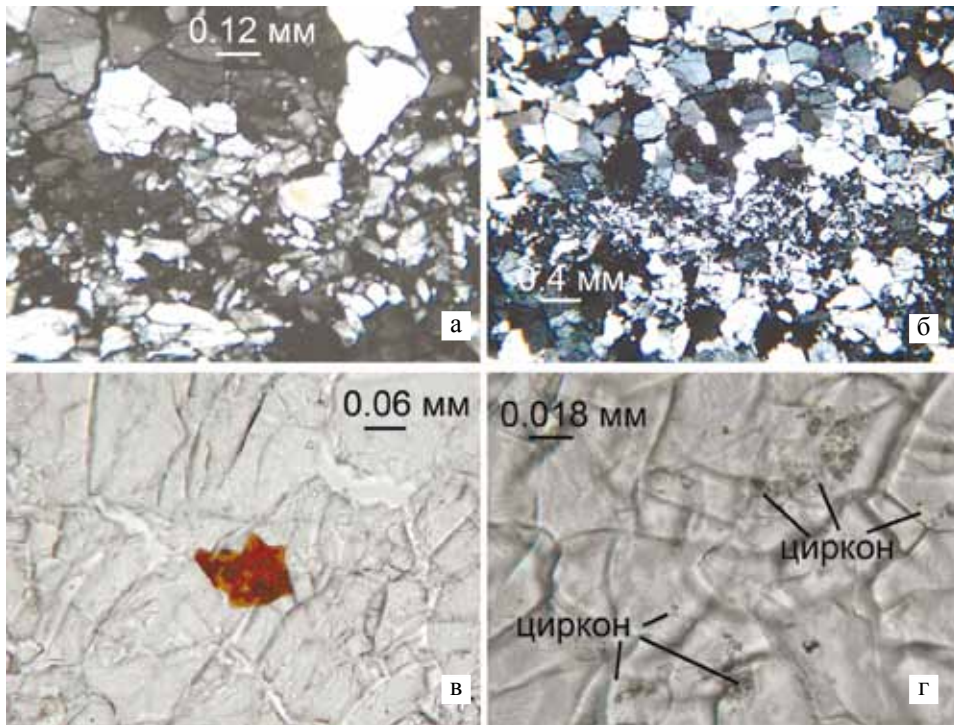
а – полосчатая текстура кварцита; б – газово-жидкие включения в зернах кварца; в, г – диккит; д – алунит, рутил; е – преобладание диккита над кварцем. Фото шлифа БС 2012-2: б, в – свет проходящий; а, г-е – николи скрещены.

$N_p < N_m > N_g$ . Местами окраска неравномерная. Наблюдается в виде скоплений удлинённых зерен. Некоторые разрезы характеризуются неполным погасанием, отмечаются в скрещенных николях аномальные серовато-сизые оттенки интерференции. Характерны полисинтетические двойники. Местами в зернах хлоритоида отмечаются мелкие включения рутила и зерна гематита.

Диаспор в шлифе бесцветный, наблюдается в виде округлых бесцветных зерен размером от 0.05 до

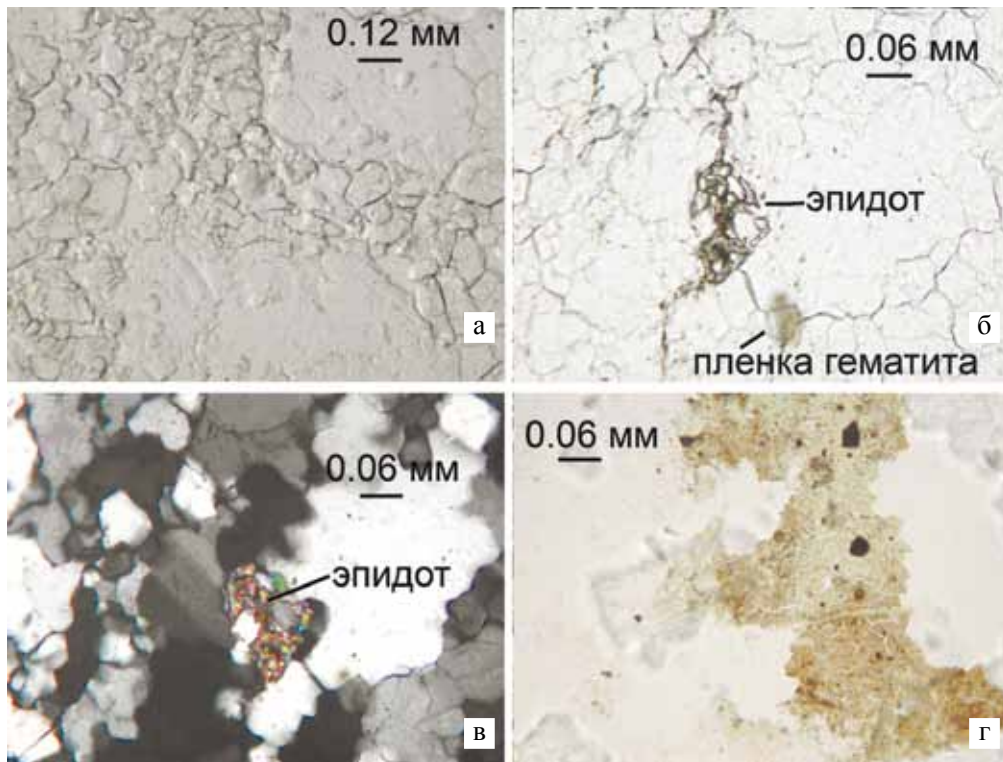
0.1 мм, иногда слабо окрашенных в буроватые тона. Выделяется среди хлоритодных зерен высокими цветами интерференции. В процессе гипергенеза, в присутствии высоких концентраций кремнезема, диаспор преобразуется в каолинит или диккит. В отдельных местах, где более интенсивно проявлено ожелезнение, хлоритоид характеризуется буровато-желтоватой окраской (рис. 10г). В этих участках увеличивается содержание графита и рутила, местами встречаются довольно крупные кристал-





**Рис. 8.** Диккитовый кварцит.

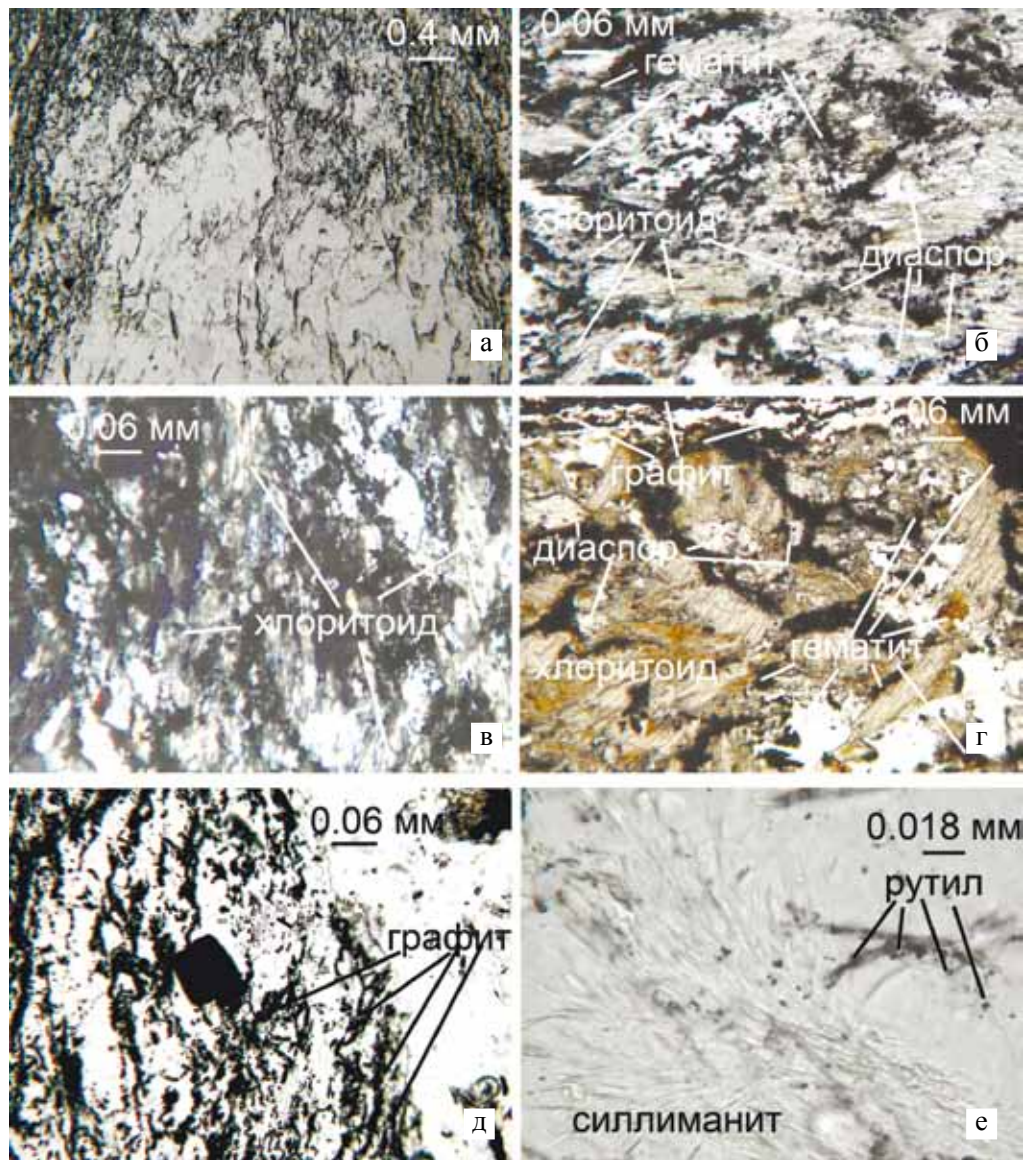
а – диккит среди редких зерен кварца, б – жилка тонкопластинчатого диккита, в – пластинка гематита, г – циркон. Фото шлифа БС 2012-4: а, б – николи скрещены; в, г – свет проходящий.



**Рис. 9.** Диккитовый кварцит.

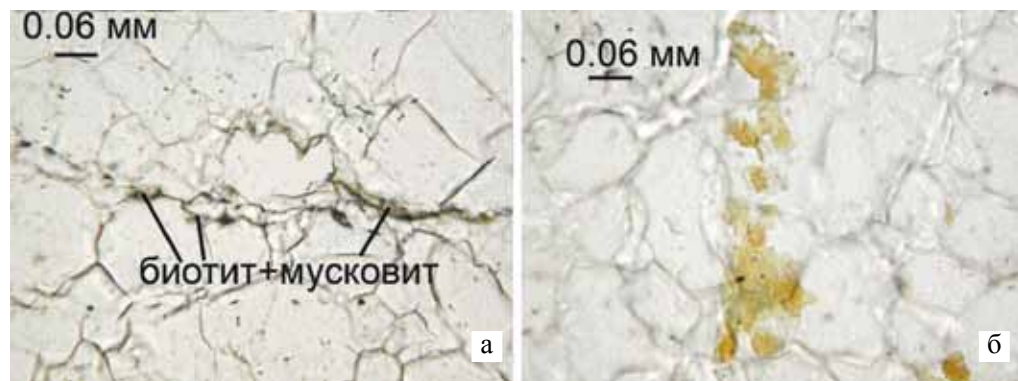
а – псевдопорфириблостовая структура; б, в – эпидот; г – пленки гематита. Фото шлифа БС 2012-13. в – николи скрещены; а, б, г – свет проходящий.





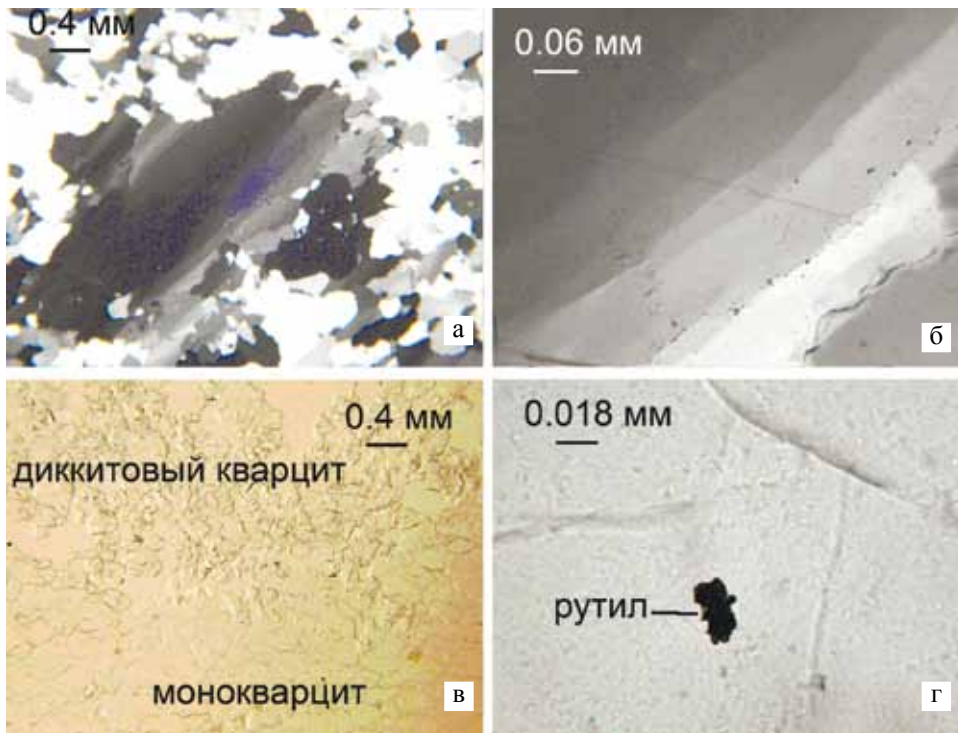
**Рис. 10.** Графитовый кварцит.

а – линейно-складчатая текстура кварцита; б-г – графит, хлоритоид, диаспор, гематит; д – пирит (в центре); е – игольчатые зерна силлиманита, округлые – рутила. Фото шлифа БС 2012-15: а, д, е – свет проходящий; б-г – николи скрещены.



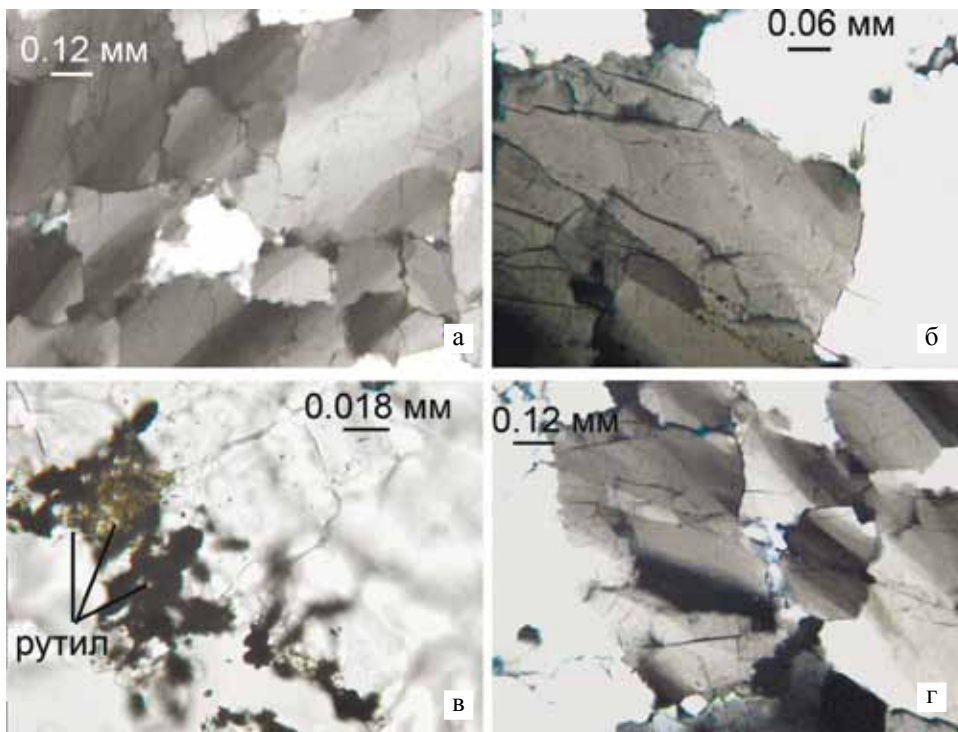
**Рис. 11.** Графитсодержащий кварцит.

а – графит, биотит и мусковит в межзерновых трещинах; б – пленки гематита в кварце. Фото шлифа БС 2012-6, свет проходящий.



**Рис. 12.** Полосчатый кварцит.

а – монокварцит с порфиробластовой структурой, б – ГЖВ по зонам роста в реликтовом кварце, в – контакт монокварцита и диккитового кварцита, г – сростки рутила и гематита. Фото шлифа БС 2012-8: а, б – николи скрещены; в, г – свет проходящий.



**Рис. 13.** Полосчатый кварцит.

а – монокварцит с кварцем двух генераций, б – ГЖВ в трещинах хрупкой деформации в реликтовом кварце, в – рутил и гематит среди зерен новообразованного кварца, г – блокованный кварц. Фото шлифа БС 2012-10: а, б, г – николи скрещены; в – свет проходящий.



лики пирита (рис. 10д). В ядерной части складки местами встречаются среди графит-кварцевого агрегата сноповидные скопления силлиманита (рис. 10е).

**Графитсодержащие кварциты.** В шлифе мелкозернистый графитсодержащий кварцит имеет гранобластовую структуру и слабо выраженную слоистую текстуру. Количественно-минералогический состав породы следующий (об. %): кварц – 94, графит – 3, гематит – 2, биотит + мусковит – 1. Кварц в шлифе характеризуется изометричной или близкой к ней формой зерен размером от 0.01 до 0.1 мм с прямолинейными, иногда ступенчатыми границами. Погасание зерен однородное, без следов пластической деформации и газовой-жидких включений. Редкие реликтовые зерна содержат следы хрупкой деформации, которые представлены залеченными внутризерновыми трещинами. Трещины залечены стекловидным кварцем и местами содержат ГЖВ, которые формируют прерывистые цепочки. Плотность включений составляет около 0.5% на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа. Размер включений не превышает 2 мкм.

Графит наблюдается в виде листоватых или землистых агрегатов (рис. 11а), обычно выполняет межзерновые трещины, часто в ассоциации с биотитом и мусковитом. Мощность трещинок не превышает 0.05 мм, размер пластинок биотита менее 0.01 мм. Цвет биотита бурый разных оттенков, местами с переходами к черному. Цвета интерференции высокие, но иногда затушевываются собственной окраской минерала. Местами биотит замещается мусковитом или хлоритом. Мусковит в шлифе бесцветный, редко бледно-зеленоватый. Содержит редкие включения мелких зерен рутила, иногда пузырьков газа и жидкости. Гематит наблюдается в виде пластинок и зерен неправильной формы, часто буроватых пленок (рис. 11б).

**Полосчатые кварциты.** К этому типу относятся кварциты с отчетливо проявленной полосчатой текстурой, когда полосы различаются макро- и микроскопически по цвету, структуре, а иногда и текстуре. Выделяются полосчатые кварциты, состоящие из полос монокварцита и диккитового кварцита, графитового кварцита и диккитового кварцита, графитового кварцита и монокварцита.

В шлифе слой монокварцита мощностью около 7 мм, сложенный практически одним кварцем (около 100%). Структура неравномерно зернистая, участками псевдопорфиробластовая (рис. 12а). Порфиробласты размером около 2.0–3.0 мм представлены реликтовым кварцем удлиненной формы с резорбированными границами и отчетливо проявленным волнистым погасанием. Встречаются реликтовые зерна с отчетливо проявленными зонами роста, к которым местами приурочены прерывистые газовой-жидкие включения (рис. 12б) размером до 2–5 мкм. Содержание ГЖВ на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа составляет около 0.2%. В кварцевых зернах встречаются редкие пластинки и чешуйки мусковита размером

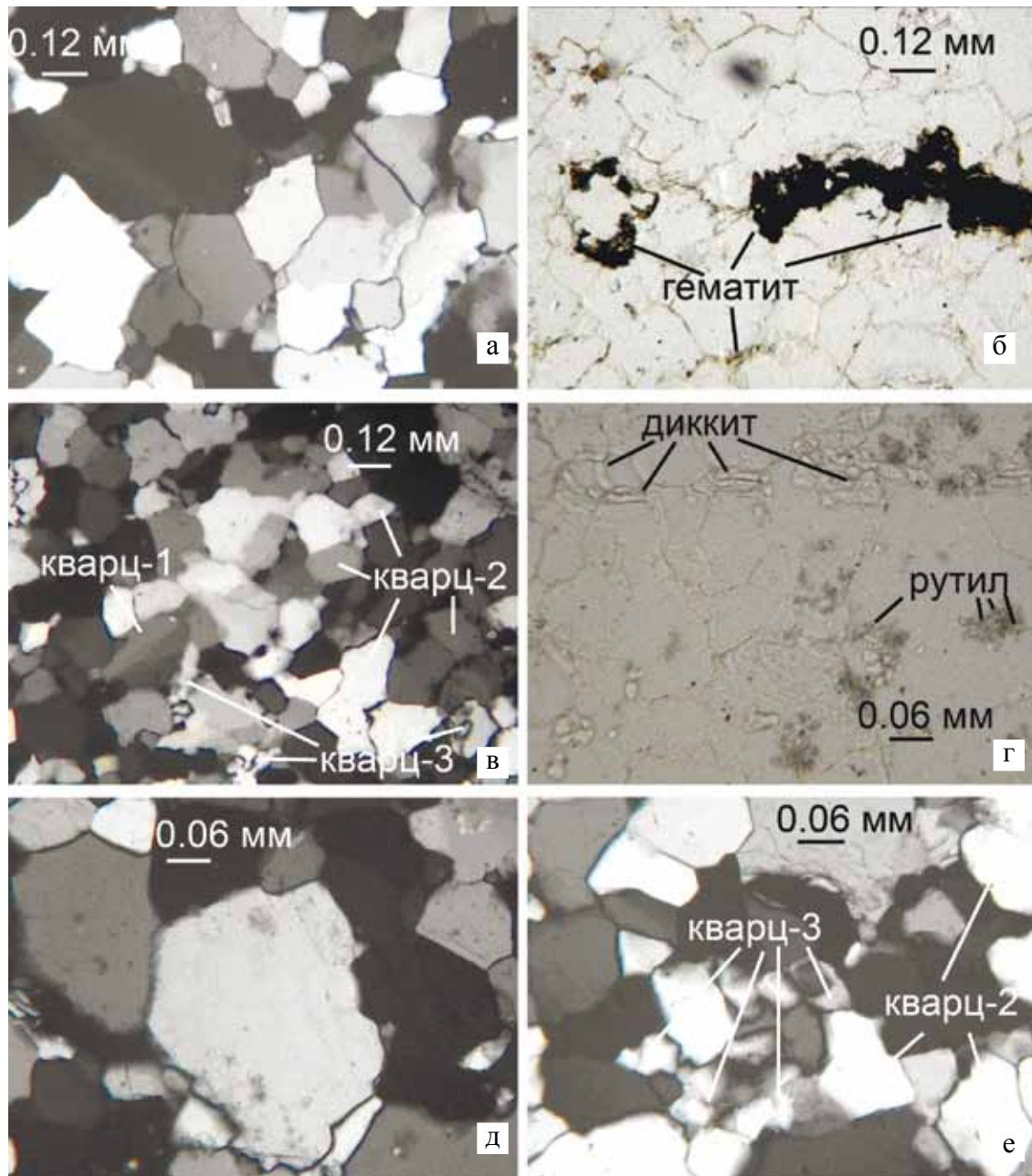
0.01 мм. Порфиробласты составляют около 20% объема слоя. Следы хрупкой деформации представлены залеченными трещинами, к которым местами также приурочены ГЖВ. Следы пластической деформации представлены волнистым погасанием и редкими пластинками Бема. Новообразованный кварц характеризуется зернами изометричной или близкой к ней формы размером 0.01–0.1 мм, однородным погасанием, не содержит следов пластической деформации. Граница между диккитовым кварцитом и монокварцитом довольно отчетлива. Макроскопически она проявлена разной окраской, микроскопически породы различаются по структуре, цвету и составу (рис. 12в). Диккитовый кварцит состоит из кварца – 57%, диккита – 40%, гематита – 2%, рутила – 1%. Диккит наблюдается в виде бесцветных, либо бледноокрашенных в буроватый, желтоватый или зеленоватый цвет пластинок и зерен неправильной формы размером 0.01–0.05 мм. Часто наблюдаются агрегаты в виде стопочек тонких пластинок. Угол погасания 14°. Гематит отмечается в виде пластинок и зерен неправильной формы, иногда образует сростания с мелкими зернами рутила (рис. 12г).

В шлифе БС 2012-10 из полосчатого кварцита наблюдается переслаивание монокварцита и диккитового кварцита. Монокварцит характеризуется неравномерно-зернистой гранобластовой структурой, сложен кварцем двух генераций (рис. 13а). Кварц первой генерации реликтовый, представлен зернами удлиненной и неправильной формы размером до 1.5–2.0 мм. Все реликтовые зерна содержат следы пластической и хрупкой деформаций.

Пластическая деформация проявлена волнистым погасанием, хрупкая – внутризерновыми залеченными трещинами, к которым приурочены ГЖВ, в виде прерывистых цепочек (рис. 13б). Содержание ГЖВ на 1 см<sup>2</sup> площади шлифа составляет около 3%. Размер включений колеблется в пределах 5–10 мкм. Межзерновые трещины бывают залеченными и открытыми. Залеченные межзерновые трещины выполнены гематитом, на стенках открытых трещин выполнены местами гематитом. В краевых частях некоторых зерен формируются небольшие поля ГЖВ неправильной формы, в которых отдельные включения достигают 20 мкм. В этих участках содержание ГЖВ увеличивается до 5%.

Диккитовый кварцит сложен кварцем – 55–60%, диккитом – 40–45%, гематитом – 1.0%, алунитом – 0.2%, рутилом – 1%. Диккит наблюдается в виде бесцветных и бледно окрашенных пластинчатых зерен и агрегатных скоплений размером от 0.01 до 0.1 мм. В небольших количествах встречаются скопления мелких зерен рутила (рис. 13в), отдельные пластинки гематита и редкие зерна алунита, который наблюдается в виде волокнистых и чешуйчатых скоплений. Местами кварцит характеризуется брекчиевой текстурой, угловатые участки сложены монокварцитом, а цемент





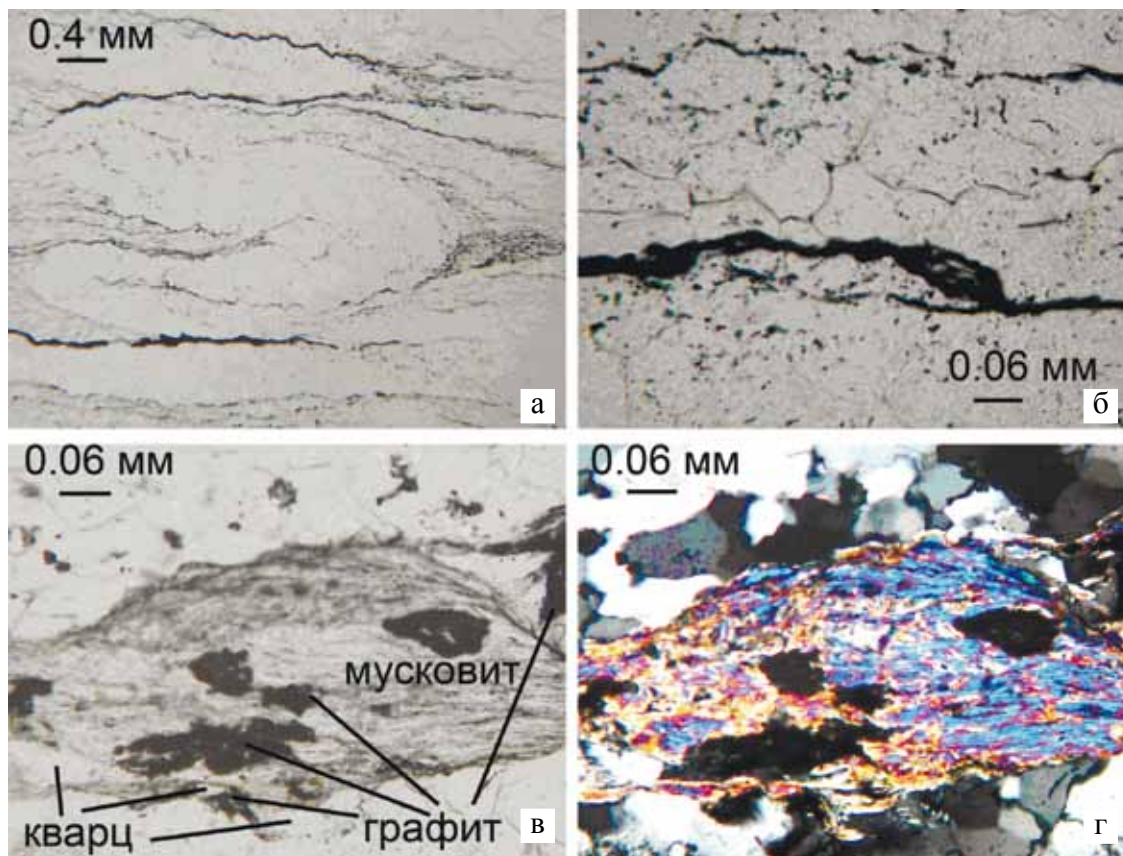
**Рис. 14.** Полосчатый кварцит.

а – форма зерен монокварцита; б – гематит в трещинах в монокварците; в – генерации кварца в диккитовом кварците; г – диккит и рутил в межзерновых трещинах; д, е – кварц второй и третьей генераций. Фото шлифа БС 2012-12: б, г – свет проходящий; а, в, д, е – николи скрещены.

представлен диккит-кварцевым агрегатом. Зерна кварца в монокварците разбиты на блоки прямоугольной формы (рис. 13г), местами формируется фрагментарная структура.

В шлифе БС 2012-2 представлен полосчатый кварцит с многочисленными полосками разного цвета и состава мощностью от 2–3 до 5–7 мм. Полосы представлены монокварцитом и диккитовым кварцитом.

Монокварцит состоит из кварца – 98%, гематита – 2% и слагает слои мощностью до 5–7 мм. Кварц наблюдается в двух генерациях. Первая генерация кварца представлена реликтовыми зернами преимущественно изометричной, реже удлиненно-призматической или ромбовидной формы (рис. 14а) размером до 1.0–2.0 мм. Они составляют около 10% объема слоя. В этих зернах отчетливо проявлены следы пластической



**Рис. 15.** Графит-слоудистый кварцит.

а – линзовидные обособления графит-кварцевого состава; б – существенно графитовые слойки; в, г – графит-мусковитовый слой. Фото шлифа БС 2012-16: а–в – свет проходящий, г – николи скрещены.

и хрупкой деформаций, представленные волнистым погасанием и межзерновыми залеченными и открытыми трещинами. Залеченные трещины желтовато-бурого цвета, выполненные гематитом и железистыми охрами (рис. 14б). В открытых трещинках на стенках наблюдаются налеты, пленки и мелкие зерна гематита. Кварц второй генерации обычно характеризуется однородным погасанием, в нем не обнаружено следов деформаций и включений. Структура монокварцита гранобластовая, местами катакластическая.

Диккитовый кварцит содержит 88% кварца, около 20% диккита, около 1% рутила и гематита. Мощность слоев диккитового кварцита 2–3 мм. Кварц наблюдается в трех генерациях. Кварц первой генерации встречается в виде зерен удлиненной формы размером до 0.5–1.0 мм со следами пластической и хрупкой деформации. Пластическая деформация отражена волнистым погасанием (рис. 14в) и редкими пластинками Бема. Хрупкая – залеченными внутризерновыми и межзерновыми трещинами, к которым приурочены ГЖВ. Основная масса диккита в виде зерен размером 0.01–0.05 мм приурочена к межзерновым трещинам (рис. 14г), где нередко находится в

ассоциации с рутилом и гематитом. Кварц второй генерации характеризуется идиоморфизмом зерен изометричной или близкой к ней формы (рис. 14д, е). Погасание этих зерен однородное, следов деформации и включений нет. Размер зерен однородный – 0.1–0.2 мм. Границы зерен прямолинейные, иногда ступенчатые. Кварц третьей генерации наблюдается в виде мелких “лапчатых” или изометричных зерен размером менее 0.01 мм. Для таких участков характерна гранобластовая структура.

В шлифе БС 2012-16 представлен тонкополосчатый графит-слоудистый кварцит с чередованием слоев мощностью от 0.1 до 2.0 мм.

Слои темно-серого, почти черного цвета мощностью 0.01–0.03 мм сложены агрегатами тонких чешуек и землистых масс графита размером менее 0.01 мм. Они ориентированы в одном направлении, формируют линейную тонкополосчатую текстуру. Местами наряду с полосками встречаются линзовидные обособления, сложенные графит-кварцевым материалом (рис. 15а) или существенно графитовым материалом (рис. 15б). Форма линзовидных утолщений подчеркнута облекающими линзы чешуйками графита. В целом, порода слож-

на зернами кварца размером от 0.01 до 0.1–0.5 мм. Отмечается две генерации кварца: первая – реликтовый кварц и вторая – новообразованный. Они различаются по форме и характеру деформаций.

Кварц первой генерации обычно резорбированный, характеризуется удлиненной формой, содержит следы пластической и хрупкой деформаций. Пластическая деформация отражена волнистым погасанием, местами встречаются редкие бурые полоски – пластинки Бема. Хрупкая деформация представлена внутризерновыми и межзерновыми трещинами, обычно залеченными. К межзерновым трещинам часто приурочены скопления графита в виде землистых масс или мелких чешуйчатых зерен. Кварц второй генерации характеризуется идиоморфным характером зерен близкой к изометричной формы. Отдельные слои мощностью 0.05–0.1 мм сложены только графитом с незначительной примесью кварца. В других случаях состав слоев – графит-мусковит-кварцевый (рис. 15в, г). Состав слоев: кварц – 15–25%, графит – 5–10%, мусковит – 75–80% объема слоя.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты петрографического изучения кварцитов участка Бурал-Сарьдак, полученные данные количественно-минералогического состава, текстурно-структурные особенности и выделенные типы пород позволяют определить их природу как вторичные кварциты. Отсутствие в иркутской свите, в состав которой входят кварциты, вулканогенных пород дают основание считать, что исходными породами, по которым образовались вторичные кварциты, могли быть аркозовые песчаники и графитовые сланцы. Этот вывод имеет существенное значение при определении технологических характеристик кварцитов как сырья для производства особо чистых кварцевых концентратов. Вторичные кварциты являются низкотемпературными образованиями. Благодаря этому,  $Al_2O_3$  из полевого шпата песчаников не входит в решетку кварца и полностью переходит в минералы вторичного кварцита. Это позволяет получать концентраты с содержанием Al 1–4 г/т [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Милеева И.М.* Прогнозно-поисковые модели месторождений особо чистого кварца // Отечественная геология. 2006. № 4. С. 57–63.
2. *Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Яшин В.Н.* Геологические особенности формирования нового типа гранулированного кварца Гарганского кварценосного района (Восточный Саян) // Кварц. Кремнезем: мат-лы Междунар. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 185–187.
3. *Воробьев Е.И., Спиридонов А.М., Непомнящих А.И., Кузьмин М.И.* Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (республика Бурятия) // Докл. АН. 2003. Т. 390, № 2. С. 219–223.
4. *Макрыгина В.А., Федоров А.М.* Преобразование кварцитов как следствие поздних тектонических событий в развитии Чуйской и Гарганской глыб // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. №12. С. 1871–1888.
5. *Спиридонов А.М., Воробьев Е.И., Непомнящих А.И. и др.* Кварциты месторождения Бурал-Сарьдак как крупнейшая сырьевая база сврхчистых кварцевых материалов // Кремний-2004: тез. докл. совещания. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2004. С. 32.
6. *Табинаев В.П., Цуцар С.Д.* Бурал-Сарьдакское месторождение кварцитов для металлургии кремния и наплава кварцевого стекла. Участок Северный (Республика Бурятия, Окинский район) Отчет об оценочных и разведочных работах за 2001–2003 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 0.1.04. Никольск. 2003.
7. *Федоров А.М.* Геохимия и условия образования особо чистых кварцитов на примере проявлений Восточного Саяна. Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2012. 160 с.
8. *Федоров А.М., Будяк А.Е.* Геологическое строение и геохимическая характеристика месторождения сверхчистых кварцитов Бурал-Сарьдак // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: мат-лы Всерос. науч. конф. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2010. С. 130–132.
9. *Федоров А.М., Макрыгина В.А., Будяк А.Е., Непомнящих А.И.* Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сарьдак (Восточный Саян) // Докл. АН. 2012. Т. 442, № 2. С. 244–249.

Рецензент В.Н. Огородников

### Petrographic features of quartzites from Bural Sar'dak (East Sayan Mountains)

L. Ya. Kabanova\*, V. N. Anfilogov\*, A. I. Nepomnyaschih\*\*, M. A. Igumentzeva\*

\*Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

\*\*Institute of Geochemistry, Siberian Branch of RAS

Results of studying of quartzites which are the host of the field of especially pure quartz Bural Sar'dak (East Sayan Mountains) are given in article.

Key words: *monoquartzites, secondary quartzites, petrography.*