

УДК 553.574(571.54)

СВЕРХЧИСТЫЕ КВАРЦИТЫ ВОСТОЧНОГО САЯНА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ, РОССИЯ)

© 2003 г. Е. И. Воробьев, А. М. Спиридонов,
А. И. Непомнящих, член-корреспондент РАН М. И. Кузьмин

Поступило 16.01.2003 г.

Выявлена новая разновидность пород семейства кварцитов, получившая название “суперкварцит” и отличающаяся практически полной мономинеральностью, высокой химической чистотой и специфическим генезисом. Эти образования представляют значительный научный, а особенно практический интерес как источник сверхчистого кварцевого сырья для ряда промышленных отраслей. Настоящее сообщение содержит первые сведения об этих редчайших породах, их геологии, геохимии и генезисе.

Суперкварциты выявлены в 1998 г. в ходе исследований, проводимых Институтом геохимии СО РАН в Восточном Саяне в районе горы Бурал-Сарьдаг на Окино-Урикском междуречье. В региональном плане первое их месторождение приурочено к периферической части Гарганской глыбы, включенной в состав Окино-Джидинской каледонской складчатой системы, расположенной между выступом Сибирской платформы и Тувино-Монгольским массивом [1–3]. Фундамент Гарганской глыбы сложен гнейсами и амфиболитами, степень метаморфизма которых достигает гранулитовой фации [2], а возраст метаморфизма оценивается в 2300–2400 млн. лет. Метаморфическая толща прорвана массивами гранитоидов китойского комплекса, возраст которых составляет 1900–1000 млн. лет [5], хотя отмечаются и более молодые (850–490 млн. лет [3]). Кристаллические породы Гарганской глыбы перекрыты платформенным чехлом осадочных пород, выделяемых в настоящее время в качестве иркутной (или монгошинской) свиты. Данные отложения представлены кремнистыми известняками и доломитами с прослоями углисто-кремнистых сланцев. По данным Л.П. Зонненшайна, М.И. Кузьмина, Л.М. Натапова [3], эта толща сопоставима с венд-кембрийскими образованиями Тувино-Монгольского (Сангиленского) массива, однако В.Г. Беличенко

[1] здесь отмечает фаунистические находки нижнепалеозойского возраста. А.Б. Кузьмичев [4] по данным собственных исследований относит эти образования к среднерифейскому возрасту.

В каледонское время в процессе столкновения Тувино-Монгольского массива с Гарганской глыбой на последнюю были надвинуты пластины аккреционных комплексов (фрагменты офиолитов, островных дуг и др.), что вызвало интенсивную складчатую деформацию осадочного чехла, сдвигание и перемещение его фрагментов. Все эти образования, включая метаморфические породы фундамента, прорваны гранитоидами сумсунурского комплекса, представленного преимущественно гранодиоритами биотит-амфиболового состава. В районе горы Бурал-Сарьдаг, как и на ряде других участков площади исследований, данные гранитоиды прорывают интенсивно дислоцированные породы иркутной (монгошинской) свиты, оказывая на них в приконтактных зонах термально-метаморфическое воздействие, приводящее в отдельных случаях к образованию суперкварцитов.

Геологическая схема строения месторождения суперкварцитов горы Бурал-Сарьдаг приведена на рис. 1. В качестве продуктивной пачки пород здесь выступает дислоцированная слоистая кремнисто-карбонатная толща, представленная переослаиванием мощных пластов кремневидных микрокварцитов (фтанитов) темно-серого до почти черного цвета за счет тонкодисперсной примеси углистого вещества (0.2–0.4%) с темно-серыми пластовыми телами мраморизованных доломитов с примесью углистого вещества и линзовидными включениями черного кремнистого материала. В подчиненных количествах в этой толще развиты углисто-серицит-кремнистые сланцы в виде разлинзованных пластовых тел. В целом вся продуктивная кремнисто-карбонатная толща является продуктом литофикации хемогенно-осадочного субстрата с незначительной примесью органического (углистое вещество) и терригенного материалов, метаморфизованного в условиях зеленосланцевой фации.

*Институт геохимии им. А.П. Виноградова
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Иркутск*

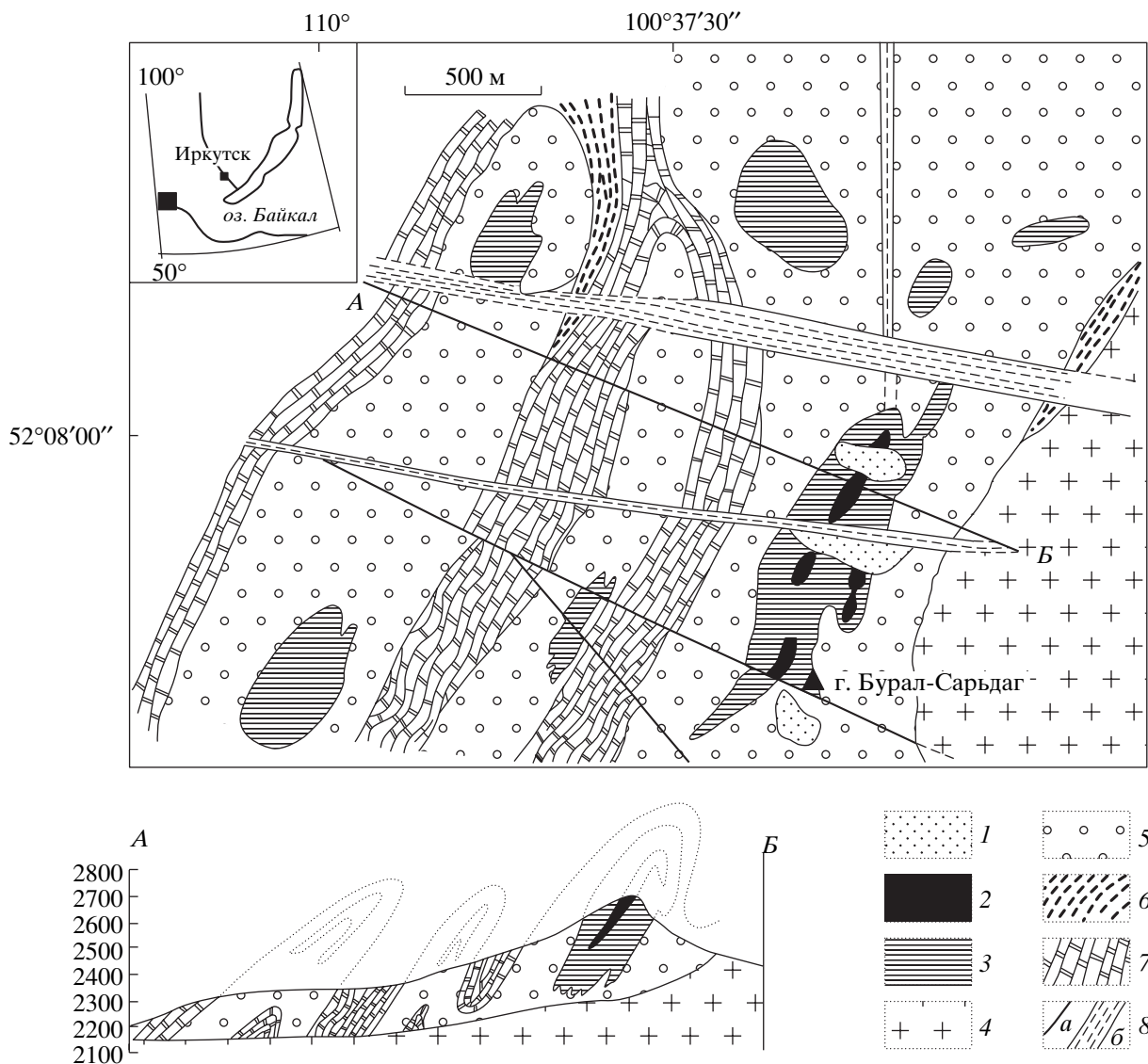


Рис. 1. Геологическая схема месторождения суперкварцитов горы Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян). В левом верхнем углу показано географическое положение района месторождения (черный квадрат) в Окинском районе Республики Бурятия. 1–3 – образования метасоматического комплекса: 1 – “песчанистые” кварциты, 2 – суперкварциты, 3 – осветленные кварциты, 4 – магматический комплекс: гранодиориты сумсунурского батолита (верхний рифей); 5–7 – осадочно-метаморфический комплекс (иркутская или монгошанская свита, средний рифей): 5 – кварциты кремневидные микрозернистые, 6 – углисто-серицит-кремнистые сланцы, 7 – доломиты светло-серые мраморизованные, в районе месторождения частично или нацело тремолитизированные; 8 – дезъюнктивные нарушения: а – разломы, б – тектонические зоны.

Как видно из рис. 1 (разрез), кремнисто-карбонатная толща в районе месторождения представляет собой эродированный останец осадочно-метаморфической толщи вмещающей рамы на кровле краевой части сумсунурского батолита и имеет мощность от 10–20 до 230–250 м. Структура данного останца в пределах рассматриваемой территории расшифровывается как единый мощный пласт кремневидных микрокварцитов, смятый в серию изоклинальных складок, перекрытый и подстилаемый пластовыми телами кремнистых доломитов. Гранитоиды сумсунурского

комплекса оказывали интенсивное приконтактовое воздействие на вмещающие кремнисто-карбонатные породы, что привело к формированию двух генетических типов новообразований: контактово-метасоматических, развивающихся на непосредственном контакте гранодиоритов с доломитами и микрокварцитами пластовых тел и гидротермально-метасоматических, образующихся по исходным микрокварцитам сугубо локально и вне интрузивного контакта. Доинтрузивная складчатая деформация вмещающей толщи обусловила формирование важнейших элементов структур-

ного контроля как первых, так и особенно вторых типов новообразований. Первые представляют собой скарнированные кремнистые доломиты, частично или полностью превращенные в тремолитовые (или тремолитсодержащие) породы магнезиально-скарнового типа. Такое скарнирование распространяется по доломитовым пластам по меньшей мере до 150–200 м от интрузивного контакта.

Аналогичное воздействие претерпели и микрокварциты пластовых тел, но оно отмечается не далее как на 10–15 м от контакта и выражается в признаках ассимиляции материала микрокварцитов гранодиоритовым субстратом в эндоконтактной зоне, перекристаллизацией и калишпатизацией кварцитов в экзоконтактной. Интенсивная декarbonатизация исходных доломитов вызвала высвобождение больших масс углекислоты, а параллельная термальная отгонка поровых вод – генерацию углекислотно-водного флюида, ответственного за гидротермально-метасоматические новообразования. При этом пластовые тела кремневидных микрокварцитов играли роль флюидоупоров, экранируя и регулируя перемещение флюидных потоков и их концентрацию в апикальных частях антиклинальных складок. Здесь в качестве зон разгрузки (фильтрации) выступают участки развития трещин кливажа осевой поверхности. Фильтрация данного флюида через субстрат первичных микрокварцитов по этим системам трещин вызывает деструкцию и вынос наименее устойчивых минеральных примесей. В первую очередь это касается углистого вещества, что вызывает формирование осветленных микрокварцитов. Последние представлены метасоматически измененными исходными микрокварцитами пластовых тел, в значительной степени сохраняющими первичную структуру и алюмосиликатные примеси (преимущественно серицит), но частично или полностью лишенные углистого вещества. Это светло-серые до чисто-белых мелкозернистые кварциты с самыми разнообразными текстурными рисунками, обусловленными локальными особенностями механизма их осветления. В плане среди вмещающих кремневидных микрокварцитов они образуют отдельные участки площадью от первых сотен до десятков тысяч квадратных метров с постепенными границами. В центральных частях таких участков появляются суперкварциты как результат более интенсивной метасоматической проработки, вызвавшей разложение и вынос всех минеральных примесей и резко выраженное структурное преобразование кварцевого субстрата – существенную собирательную перекристаллизацию. Следует отметить, что это не сопровождается сколько-нибудь заметной мобилизацией кварцевого субстрата – практически полностью отсутствует жильная кварцевая минерализация.

Таким образом, суперкварциты являются особой разновидностью осветленных, т.е. метасоматически переработанных, кварцитов и встречаются только в участках развития последних. В то же время для суперкварцитов характерны резко выраженные отличительные особенности: практически полная мономинеральность, специфическая разнородная структура. Заметно различен в них и состав флюидной составляющей – сравнительно с осветленными кварцитами: в суперкварцитах значительно ниже относительная концентрация CO_2 и в 4 раза выше величина отношения водород/углерод. Визуально это сахарно-белые чисто кварцевые породы без каких-либо надежно зафиксированных примесных минеральных фаз. Типичная разность суперкварцита сложена разнородным кварцевым агрегатом из прозрачных зерен. Наиболее крупные из них имеют линзовидную форму ($2\text{--}4 \times 1.0\text{--}1.5$ мм). Они относительно равномерно распределены в массе более мелкозернистого кварца ($0.05\text{--}0.15$ мм) в соотношении приблизительно 50 : 50. Эта своеобразная порфиридная текстура может рассматриваться как их главный отличительный признак.

Наиболее крупное тело суперкварцитов (рис. 1) имеет субпластовую линзовидную форму с видимой мощностью до первых десятков метров. Оно прослеживается по простиранию до 300 м, нарушено двумя пострудными тектоническими зонами без существенных смещений. Поведение этого тела на глубине свыше 30–40 м (высота естественного разреза) пока проблематично, очевидно, они сменяются осветленными, а затем исходными темно-серыми кремневидными микрокварцитами. В качестве наиболее поздних гидротермально-метасоматических образований здесь выступают “песчанистые” кварциты, формирующиеся по всем упомянутым выше разностям кварцитов, включая суперкварциты. Это мелкозернистые, равномернозернистые породы массивной структуры со своеобразным пятнисто-петельчатым текстурным рисунком. В отличие от других здешних разностей данного семейства пород они напоминают слабо сцементированные песчаники и содержат многочисленные реликты исходного субстрата. Как правило, это небольшие по размерам тела сложной конфигурации.

Содержания ряда элементов во всех рассмотренных типах кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг приведены в табл. 1. Наибольшие количества элементов-примесей отмечаются в исходных кремневидных микрокварцитах. Для них характерна и высокая дисперсия их концентраций. Так, величины содержаний Ti, Fe, Al варьируют в 10–100 раз, фиксируя весьма неравномерное (возможно, послойное) распределение терригенной составляющей. В осветленных кварцитах общее количество примесей заметно снижается, а вариации содержаний исследуемых элементов состав-

Таблица 1. Геохимическая характеристика кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг (среднее содержание, ppm)

| Тип кварцита | Число проб | Al | Fe | Ca | Ti | Mg | Mn | Li | K | Na |
|--------------|------------|------|---------|---------|------|---------|---------|---------|---------|------|
| I | 12 | 115 | 165 | 15 | 30 | 65 | 0.5 | 1.0 | 15 | 9 |
| | 1* | 170 | 99.7 | 1.9 | 3.1 | 23.3 | 0.46 | 0.03 | – | 2.05 |
| II | 9 | 121 | 90 | 21 | 3.3 | 15 | 0.5 | 1.2 | 20 | 11 |
| | 1* | 68.2 | 9.7 | – | 1.2 | 1.8 | 0.1 | 0.07 | – | 2.6 |
| III | 9 | 5.4 | 2.6 | 5.3 | 1.2 | 3.1 | 1.0 | 1.0 | 18 | 10 |
| | 1* | 4.2 | 5.5 | 2.5 | 0.8 | 0.4 | 0.06 | 0.13 | 0.9 | 3.5 |
| IV | 5 | 84 | 117 | 18 | 2.2 | 7.0 | 0.3 | 1.1 | 20 | 11 |
| Тип кварцита | Число проб | B | Co | Cr | Cu | Pb | Ni | V | Zn | P |
| I | 12 | 3.0 | 0.9 | 10 | 1.3 | 0.6 | 0.3 | 1.5 | <5.0 | 5.0 |
| | 1* | 0.45 | – | – | 0.46 | – | – | 1.23 | – | 3.8 |
| II | 9 | 3.6 | 0.9 | 6 | 1.3 | 0.5 | 0.4 | 1.0 | <2.0 | 3.0 |
| | 1* | 0.28 | – | 0.4 | 0.54 | – | 0.3 | 0.24 | 0.33 | 0.78 |
| III | 9 | 1.3 | He обн. | He обн. | 0.1 | He обн. | He обн. | He обн. | He обн. | 1.2 |
| | 1* | 0.25 | – | 0.05 | 0.2 | – | 0.07 | – | – | 0.3 |
| IV | 5 | 3.1 | 0.9 | 8.7 | 139 | 0.7 | 0.3 | 1.0 | He обн. | 3.5 |

Примечание. I – кварциты кремневидные темно-серые до черных (исходные); II – кварциты осветленные; III – суперкварциты главного рудного тела; IV – кварциты “песчанистые”, поздние. Анализы выполнены в лабораториях Института геохимии СО РАН: Ca, Mg – методом атомно-абсорбционного анализа; Na, K, Li – методом пламенной фотометрии; все остальные элементы – методом атомно-эмиссионного анализа на спектрографе ДФС-458 с использованием фотоэлектрической регистрации спектров прибором МФЭС-10. Аналитик И.Е. Васильева. Звездочкой отмечены контрольные анализы, выполненные во ВНИИСИМС (г. Александров) и ИЦ им. И.В. Курчатова (Москва).

Таблица 2. Состав (ppm) кварцевого субстрата суперкварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг после отмычки неструктурных примесей методом кислотной обработки

| № п.п. | Al | Ca | Mg | Fe | Ti | Mn | Na | K | Rb | Li | P | Cu | V | Zn | Pb | Ba |
|--------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|------|------|------|-----|------|-----|
| 1 | 4 | <5 | <1 | 0.4 | 0.7 | <0.5 | – | – | – | 0.5 | <0.5 | – | – | – | – | – |
| 2 | 1.0 | 2.0 | 0.4 | 1.0 | 0.03 | 0.04 | 1.0 | 2.0 | – | – | – | 0.04 | 0.02 | 0.1 | 0.05 | 0.5 |

Примечание. 1 – анализ кварцевой крупки (фр. 0.2–0.4 мм) после кислотной обработки (10% HCl + 10% HF) выполнен в Институте геохимии СО РАН. Аналитик И.Е. Васильева. 2 – анализ кварцевой крупки (фр. 0.2–0.4 мм) после кислотной обработки в пульсационных колонках (Московская геологоразведочная академия) выполнен в Институте сверхчистых материалов (Москва).

ляют 2–3 раза. Суперкварциты характеризуются высокой химической чистотой не только относительно сопутствующих разностей, но и кварцитов (кварцито-песчанников) других генетических типов, в том числе и используемых для промышленного получения металлического кремния (в них сумма примесей Al, Fe, Ti, Ca, Mg составляет порядка 3000–6000 ppm). От последних они отличаются в 100 раз и более. Это обусловлено двумя основными факторами: их мономинеральностью и высокой стерильностью кварцевого субстрата. Геохимические исследования показали, что до 70–80% массы примесных компонентов в данных породах концентрируется в межзерновом пространстве и на поверхности кварцевых зерен. При

кислотной обработке кварцевой крупки они легко удаляются (табл. 2). Соответственно степень очистки кварца находится в прямой зависимости от дисперсности обрабатываемого материала. В частности, кварцевая пудра из суперкварцита (200 меш) после кислотной обработки содержит всего Al 0.5–0.6 ppm, Fe, Ca 1 ppm, что свидетельствует об очень низких концентрациях структурных примесей в данном кварце и о принципиальной возможности получения из рассматриваемых суперкварцитов сверхчистых кварцевых материалов.

В итоге можно констатировать, что в Восточно-Саянском регионе выявлена новая разновидность кварцитов – суперкварциты, характеризующиеся высокой химической чистотой. Они сфор-

мировались метасоматическим путем по пластовым телам кремневидных микрокварцитов. Последние представляются литофицированными осадками типа хемогенных кремнеземистых гелей с незначительной примесью органического и терригенного материалов. Кварцевый субстрат в этих образованиях изначально характеризовался высокой химической чистотой, сохранившейся вплоть до этапа метаморфизма зеленосланцевой фации. Основная масса примесей присутствует в суперкварцитах в неструктурной форме, что определило их высокую мобилизационную способность. Метасоматические изменения микрокварцитов под влиянием гранитной интрузии привели к выносу примесных компонентов, что вызвало почти 20-кратное снижение их концентраций, и к перекристаллизации кварцевого субстрата с резким увеличением зернистости.

Все это в конечном итоге предопределило образование суперкварцитов. Скорее всего, данные породы представляют собой предельно чистую разновидность кварцитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беличенко В.Г.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1983. № 1. С. 68–75.
2. *Добрецов Н.Л.* // Геотектоника. 1985. № 1. С. 39–50.
3. *Зонненишайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, 1990. 326 с.
4. *Кузмичев А.Б.* Общие вопросы тектоники: Тектоника России (материалы совещания). М., 2000. С. 267–270.
5. *Лепезин Г.Г.* Метаморфические комплексы Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Наука, 1978.