

**ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ И ИХ СВЯЗЬ С ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВЕТЛОЕ (УЛЬИНСКИЙ ПРОГИБ, ОХОТСКО-ЧУКОТСКИЙ
ВУЛКАНОГЕННЫЙ ПОЯС)**

Л. Ф. Мишин

*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена, 65, г. Хабаровск,
680000, e-mail: lfimishin@mail.ru*

Поступила в редакцию 4 ноября 2010 г.

Изучены гидротемально измененные породы и их связь с золоторудной минерализацией месторождения Светлое в Ульяновском прогибе (западный сектор Охотско-Чукотского вулканогенного пояса). По составу пород и рудной минерализации этот объект является типичным представителем месторождений кислотного-сульфатного типа. Гидротемально измененные породы месторождения Светлое представлены среднетемпературными вторичными кварцитами с алунитовой фацией. В массиве вторичных кварцитов верхний структурный уровень образует пластообразная залежь площадью 30 км², мощностью до 300 м с пологим (5–10°) периклинальным залеганием относительно дугообразной оси вулканического хребта. Ниже пластовой залежи выявлена серия локальных круто залегающих зон преимущественно килевидного сечения, а также небольшие по размеру (первые сотни м²) многослойные мульдообразные структуры, подошва которых располагается на 100–150 м ниже уровня пластовой части залежи вторичных кварцитов. Все структуры нижнего уровня приурочены к периклинальной части вулканического хребта. Они маркируются повышенными мощностями монокварцитов и имеют плавные переходы к пластовой части массива.

Вторичные кварциты имеют симметричную зональность. Центральную зону в пластовой части слагают алунитовые кварциты, которые обрамляются диккитовыми кварцитами. Последние вниз по разрезу сменяются гидрослюдистыми и гидрослюдисто-монтмориллонитовыми аргиллизитами. Монокварциты слагают осевые зоны в структурах нижнего яруса. В плащеобразной части залежи монокварциты встречаются в виде редких маломощных линз и прослоев, пространственно связанных с локальными структурами нижнего яруса.

Золотая минерализация на месторождении приурочена к монокварцитам, к их пористым разновидностям. Отложение золота происходило после образования кварцитов в процессе заполнения пор и полостей поздним колломорфным кремнеземом с баритом и гипогенным ярозитом.

Ключевые слова: вторичные кварциты, аргиллизиты, месторождения Au, кислотного-сульфатного типа, Ульяновский прогиб, Охотско-Чукотский вулканический пояс, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Термин вторичные кварциты был введен в начале прошлого столетия Е.С. Федоровым. Дальнейшее его уточнение и наполнение конкретным содержанием связано с именами Н.И. Наковника, М.П. Русакова, Д.С. Коржинского, Г.М. Власова, С.И. Набоко.

Большинство исследователей понимают под вторичными кварцитами существенно кварцевые метасоматические породы, содержащие в том или ином количестве высокоглиноземистые минералы, такие как алуниит, диккит, диаспор, серицит, пирофиллит,

корунд и ряд более редких: дюмуртьерит, зунит, топаз, лазулит, турмалин [14].

В последние годы, в связи с открытием эпитептермальных золоторудных месторождений в алунитовых кварцитах, резко возросло количество работ, посвященных этой проблеме [7, 19, 21–26, 31–33]. В Чилийских Андах начиная с 70-х годов среди золоторудных объектов начали доминировать месторождения кислотного-сульфатного типа [30]. В аналогичной геологической обстановке на Востоке России до последнего времени было известно лишь Озерновское

месторождение на Камчатке. Следует отметить, что информация об этом месторождении достаточно противоречива. С одной стороны, в его пределах широко распространены высокоглиноземистые вторичные кварциты, и золото ассоциирует с медными минералами и теллуридами, типичными для месторождений кислотно-сульфатного типа [15], а с другой стороны, на Озерновском месторождении установлены кварцадуляровые жилы, характерные для эпitherмальных месторождений адуляр-серицитового типа [15].

Термин “кислотно-сульфатный” отражает связь данного типа месторождений с алунитовыми вторичными кварцитами [24]. В англоязычной литературе для подобного типа месторождений широко используется термин “high sulfidation”. Этот термин подчеркивает особенности рудной минерализации данных месторождений, проявляющейся в высокой окисленности (повышенная валентность) рудных элементов, а также преимущественно в сульфатной форме серы во флюиде [25]. Поскольку основная цель данной работы – изучение гидротермально измененных пород, то мы предпочли термин – “кислотно-сульфатный тип”.

Высокоглиноземистые вторичные кварциты образуются в результате глубокой переработки первичных пород и являются индикатором крупных палеогидротермальных систем. Вместе с тем, имеется большое число залежей вторичных кварцитов, с которыми пока не установлена рудная минерализация. Проблема связи рудных месторождений с вторичными кварцитами достаточно дискуссионна. Считается, что среди них есть и рудоносные, и безрудные залежи, отличающиеся условиями образования [26]. Нами установлено, что вторичные кварциты, как правило, не несут рудной минерализации, но они маркируют верхние надрудные уровни гидротермально-рудных систем [8, 10, 13].

В последние годы на Востоке России также начались поиски месторождений кислотно-сульфатного типа. Повышенные содержания золота во вторичных кварцитах (рудопроявление Светлое в Ульинском прогибе) были обнаружены еще в процессе геолого-съёмочных работ Фроловым В.Н. в 1977 г. В период 2000–2010 гг. целенаправленные поисково-разведочные работы проводила горнорудная компания Felp Dodg. Результатом этих работ явилось открытие месторождения Светлое. По характеру рудной минерализации и составу гидротермально измененных пород месторождение Светлое является типичным представителем эпitherмальных золоторудных месторождений кислотно-сульфатного типа, поэтому полученные новые данные по составу и структуре залежей вторичных кварцитов и соотношению их с золо-

той минерализацией имеют научное и практическое значение. Интерес к этому месторождению вызван также тем, что на Востоке России имеется большое количество залежей вторичных кварцитов, но их перспективы на обнаружение рудных месторождений остались невыясненными.

МЕТОДИКА

Проведено объемное картирование гидротермально измененных пород с их опробованием через 50–100 м, а также описание и опробование керна многочисленных скважин на детальных участках. Вторичные минералы идентифицировались с помощью микроскопических исследований (изучено около 1000 шлифов), ИК-спектроскопии (использовался портативный спектрометр ПИМА), рентгенограмм порошка и электронной микроскопии. Рудные элементы определялись на портативном рентгенофлюоресцентном спектрометре NITON-XLT-592w. Часть проб проанализирована полуколичественным спектральным методом в центральной лаборатории ФГУП “Дальгеофизика”. Часть анализов, выполненных с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, была любезно предоставлена компанией Felp Dodg.

Анализ изотопного состава серы, кислорода и водорода выполнен в лаборатории изотопных исследований Дальневосточного геологического института ДВО РАН (аналитики А.В. Игнатьев и Т.А. Веливецкая).

Подготовка образцов к масс-спектрометрическому изотопному анализу водорода и кислорода проведена по лазерной методике выделения воды из минералов и методике разложения воды на хrome [5].

Измерение изотопных соотношений $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ проведено на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 252 с использованием двойной системы напуска.

Вес анализируемых образцов составляет 1–2 мг. Воспроизводимость определения $\delta^{18}\text{O}$ (1σ) образцов составляет 0.1 ‰, $n = 5$. Калибровка метода проведена по лабораторным и международным стандартам NBS-28, NBS-30.

Подготовка образцов для масс-спектрометрического изотопного анализа серы проведена по методике [3]. Сера сульфидов окисляется до SO_2 с использованием оксида меди. Реакция окисления проводится в вакууме при температуре 850°C . Полученный SO_2 очищается от остальных продуктов реакции на криогенной ловушке. Изотопный анализ серы сульфидов выполнен на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 252 с использованием двойной системы напуска. Вес анализируемых образцов состав-

ляет 2–5 мг. Погрешность определения $\delta^{34}\text{S}$ (1σ) составляет 0.1 ‰, $n = 5$.

Изотопный состав воды, равновесной с каолинитом и диккитом, рассчитывался по уравнениям:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{воды}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{Каол}} - 10^3 \ln \alpha_{\text{Каол-H}_2\text{O (O)}}$$

$$\delta\text{D}_{\text{воды}} = \delta\text{D}_{\text{Каол}} - 10^3 \ln \alpha_{\text{Каол-H}_2\text{O (D)}}$$

где $\delta^{18}\text{O}_{\text{Каол}}$ и $\delta\text{D}_{\text{Каол}}$ – измеренные значения, а $10^3 \ln \alpha_{\text{Каол}}$ по данным [29], для кислорода при 100°C равен 11.6 ‰, при 150 °C – 7.6 ‰. Во вторичных кварцитах золото-серебряных месторождений диккит представлен тонкодисперсной разновидностью с оптически и ИК характеристиками, промежуточными между диккитом и каолинитом. Температура гомогенизации включений в кварце таких кварцитов составляет 90–120°. Диккит с хорошо индивидуализированными таблитчатыми кристаллами обычно ассоциирует с алунитом и образуется при более высокой температуре. В расчетах температура 100° принята для тонкодисперсной, а 150° – для кристаллической разновидностей диккита. Для водорода при расчетах было принято, что $10^3 \ln \alpha_{\text{Каол}}$ при возрастании температуры от 100° до 150° C изменяется от -28 до -24 ‰ [34].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Месторождение Светлое расположено в Ульяновском прогибе в пределах Секчинской кольцевой структуры, в 220 км к юго-западу от п. Охотск (рис. 1).

Среди вулканогенных пород Секчинской структуры (правобережье р. Колка) обнаружены андезиты, андезибазальты и их туфы предположительно нижнемеловой учуликанской свиты. Они перекрыты мощной толщей псаммито-псефитовых, слабо спекшихся туфов дацит-андезидацитового состава с горизонтами туфогенно-осадочных пород. Туфовая толща перекрывается игнимбритоподобными редковкрапленниковыми андезидацитами. В аналогичных андезидацитах в верховьях р. Нет абсолютный возраст циркона, определенный U-Pb SHRIMP методом, составил 107 млн лет [12].

На месторождении Светлое вулканогенные породы из-за их интенсивной гидротермальной проработки диагностируются с большим трудом. Нижнюю часть разреза слагают андезиты, менее распространены андезидациты и туфы андезитов учуликанской свиты. Верхнюю часть разреза мощностью более 300 м слагают породы дацитового состава с прослоями туфов, туфогенно-осадочных пород и игнимбритов. Преобладают роговообманково-биотитовые густовкрапленниковые разновидности дацитов и кристаллокластические игнимбриты. Среди кристаллоигнимбритов отмечаются постепенные переходы к гранодиорит-порфирам. Очевидно, часть дацитов и кри-

сталлоигнимбриты имеют субвулканическую природу. Среди покровов отмечаются отдельные дайки и мелкие штокообразные тела базальтов.

Судя по выходам пород на поверхности и многочисленным замерам слоистости, вулканические породы образуют вытянутую в субширотном направлении положительную структуру с пологим периклинальным залеганием пород относительно осевой ее части.

СТРУКТУРА И ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗАЛЕЖЕЙ ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТОВ

В современном срезе вторичные кварциты на месторождении Светлое слагают отдельные разобщенные поля, представляющие собой фрагменты обширной, неравномерно эродированной залежи. Гидротермально измененные породы на месторождении в значительной мере наследуют первичный структурный план вулканогенных пород и залегают периклинально относительно оси вулканического хребта. В строении массива вторичных кварцитов выделяется пластовая часть, занимающая основную часть рудного поля, и отдельные, ограниченные по площади, локальные структуры, располагающиеся гипсометрически ниже уровня подошвы пластовой части массива вторичных кварцитов.

Под пластовой залежью кварциты образуют субвертикальные линейные зоны килевидного сечения (участки Елена и Эмми), жилоподобные протяженные зоны монокварцитов (участок Тамара) и многослойные мультислойные структуры, расположенные на 100–150 м ниже уровня подошвы пластовой части массива (рис. 2, 3). Все тела кварцитов нижнего уровня пространственно приурочены к осевой части вулканической структуры и маркируются на поверхности выходами монокварцевых пород.

В пластовой залежи нижнюю и верхнюю части разреза образуют кварц-диккитовые метасоматиты. Осевую зону слагают породы алунитовой фации с редкими маломощными линзами монокварцитов. В подошве залежи диккитовые метасоматиты подстилаются кварц-гидрослюдистыми аргиллизитами, обычно сильно пиритизированными. В зоне перехода к гидрослюдистым породам диккитовые кварциты нередко сменяются каолинитовыми разновидностями. На участках с сохранившейся кровлей переход диккитовых кварцитов к неизменным дацитам постепенный, минуя гидрослюдисто-монтмориллонитовую зону аргиллизитов. В круто залегающих телах кварцитов осевую их часть слагают монокварциты, которые обрамляются алуниновыми, затем диккитовыми кварцита-

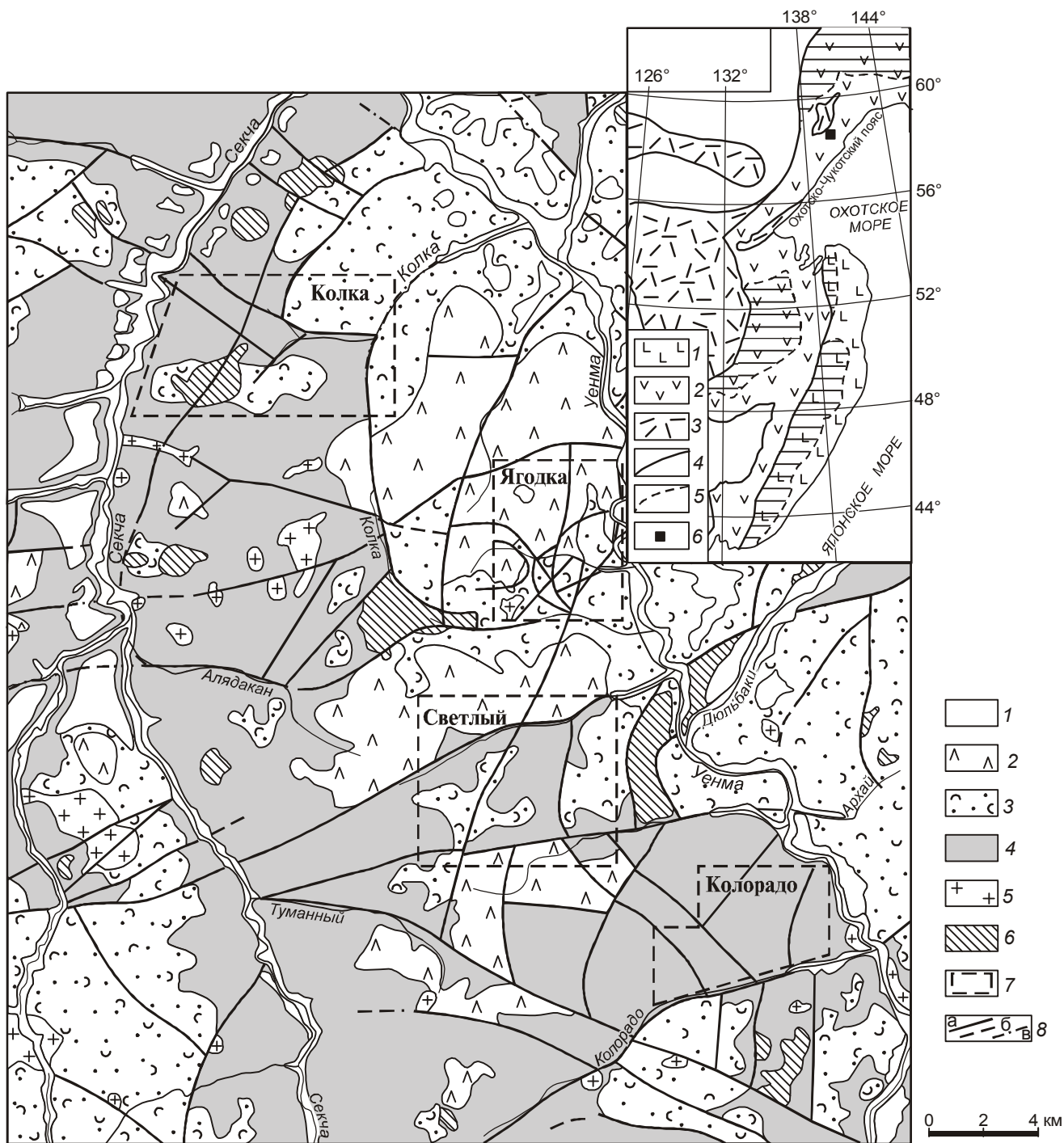


Рис. 1. Схематическая геологическая карта с поисковыми данными Секчинского золоторудного узла

1 – аллювиальные отложения; 2,3 – емандринская свита (K_1^2): 2 – верхняя толща: андезидациты редковкрапленниковые и их игнимбриты (покровные и субвулканические нерасчлененные), дациты и их туфы, 3 – нижняя толща: туфы дацитов, андезидацитов, слабо спелекшиеся, с горизонтами туфогенно-осадочных пород; 4 – учуликанская свита (K_1^1): андезиты, андезибазальты, дациты, трахиандезиты, трахидациты, пласты и линзы туффигов, туфопесчаников, туфоконгломератов; 5 – позднемереловые гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые сиенит-порфиры; 6 – позднемереловые субвулканические интрузии: риолиты, дациты, риодациты, игнимбриты риодацитов; 7 – участки детальньих работ на золото; 8 – тектонические нарушения достоверные (а), предполагаемые (б), скрытые под рыхлыми отложениями (в).

Врезка. Схема районирования мезозойско-кайнозойских вулкано-плутонических образований юга Дальнего Востока. 1–3 – площади распространения разновозрастных вулканических и плутонических образований (мегапояса): сеноман-олигоценый (1), альб-сеноманский (2), позднеюрско-раннемереловой (3); 4 – границы мегапоясов; 5 – граница внутренней (без штриховки) и внешней (заштрихованная область) зон; 6 – местоположение Секчинской структуры.

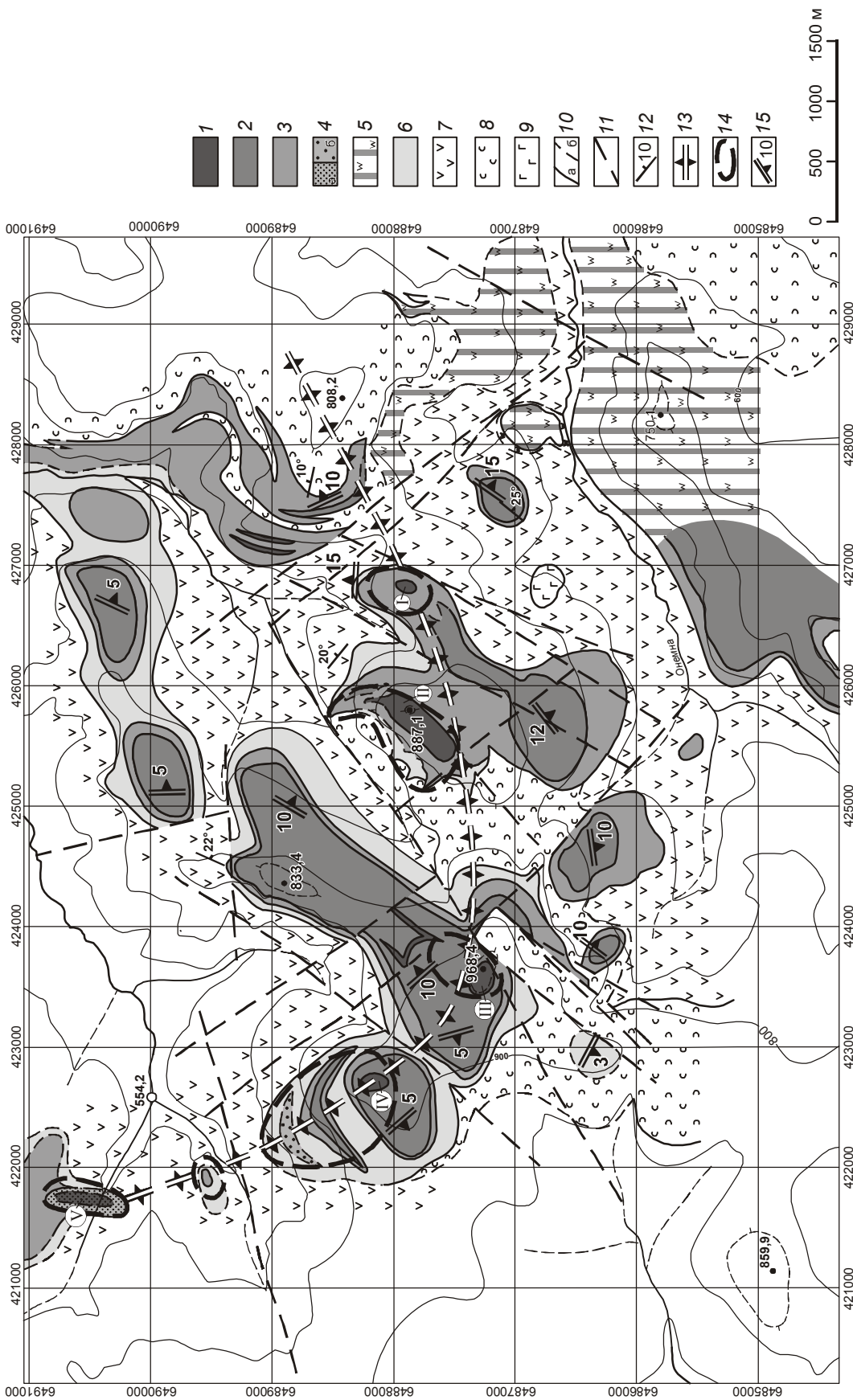


Рис. 2. Карта гидротермально измененных пород месторождения Светлое.

1-5 – фации вторичных кварцитов: 1 – монокварцевая, 2 – алунитовая, 3 – диккитовая, 4 – диаспор-серицитовая (а) и гидробиотитовая (б), 5 – вторичные кварциты нерасчлененные; 6 – кварц-гидрослюдастые и гидрослюдасто-монтмориллонитовые с пиритом породы; 7 – андезиты, реже андезиты пропилитизированные (хлорит-карбонатная фация); 8 – дациты роговообманково-биотитовые, гранодиорит-порфиры и кристаллокластические ипсифриды нерасчлененные; 9 – базальты; 10 – границы установленные (а) и предполагаемые (б); 11 – разломы; 12 – наклонное залегание флюидалности и слоистости; 13 – ось куполовидной структуры; 14 – границы мульдобразных и килевидных рудовмещающих структур; 15 – генерализованные элементы залегания подошвы и фациальных границ пластовой части залежи вторичных кварцитов. I – V – участки детальных работ: Лариса (I), Елена (II), Тамара (III), Людмила (IV) и Эмма (V).

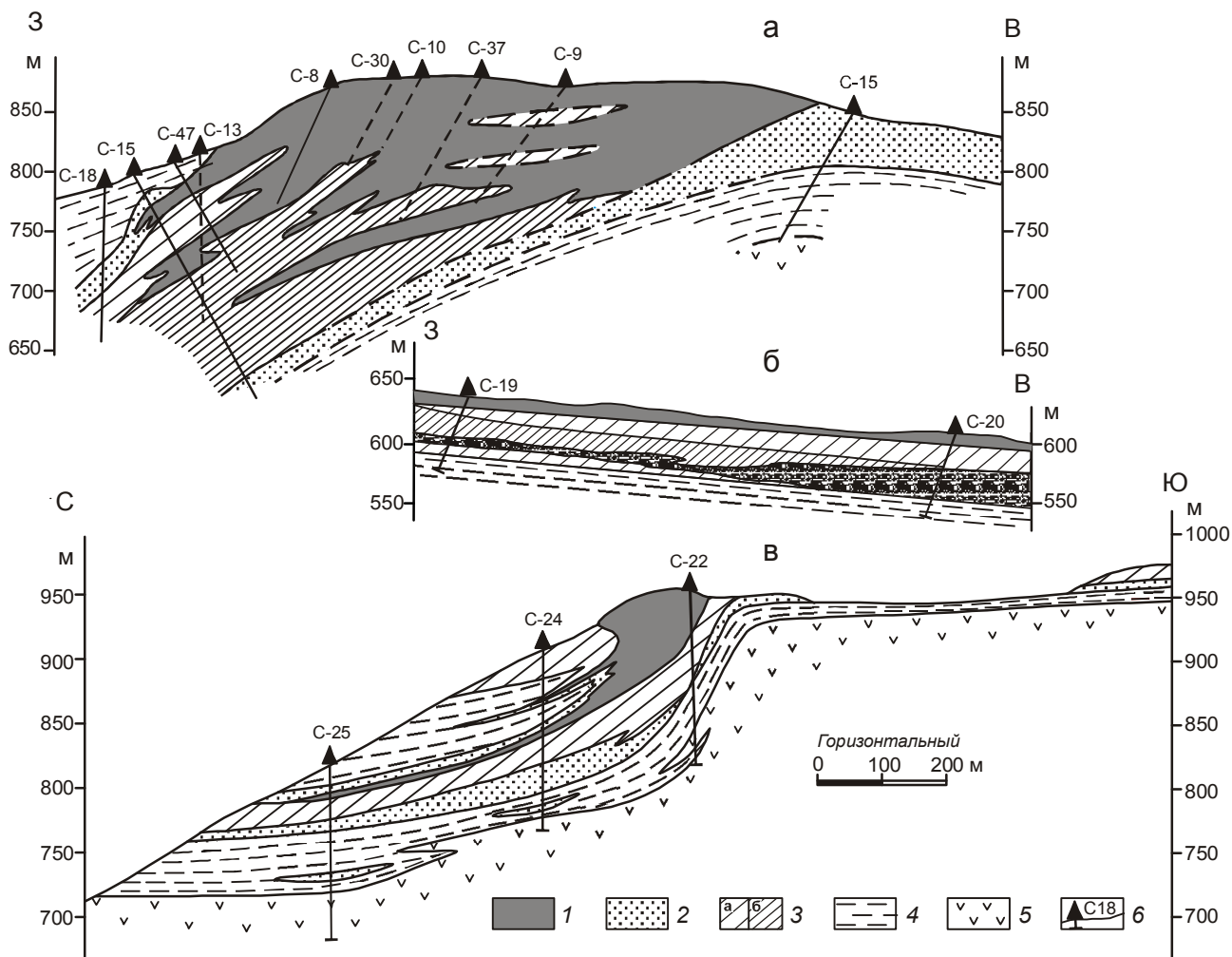


Рис. 3. Геологические разрезы: а – участок Елена, б – восточный фланг участка Тамара, в – участок Людмила.

1–4 – фации гидротермально измененных пород: 1 – монокварцевая, 2 – диккитовая, 3 – алунитовая: а – содержание алунита менее 40 %, б – содержание алунита более 40 %, 4 – гидрослюдистая; 5 – пропилитизированные андезиты; 6 – скважины и их номера.

ми и, наконец, аргиллизитами. Для мутьдообразных структур, отличающихся разнообразием петрографического состава первичных пород, характерно многослойное повторение различных по составу метасоматитов (рис. 3в).

Алунитовая фация на месторождении Светлое имеет максимальное распространение. На восточном фланге рудного поля (левобережье р. Онёмна) сохранился полный разрез пластовой части. Ее мощность здесь около 300 м, мощность алунитосодержащих пород достигает 250 м. Породы с содержанием алунита 40 % и более слагают нижнюю часть алунитового горизонта (мощность – 100–120 м).

На участке Елена вторичные кварциты слагают структуру с килевидным сечением размером 800×100–250 м, круто наклоненную на запад (рис. 3а), где алунитовые и диккитовые кварциты

вмещают залежь монокварцитов, с которыми связана золоторудная минерализация. Мощность алунитовой фации достигает 150 м. Мощность лежачего бока алунитового горизонта с содержанием алунита 40–70 % – около 100–120 м. Внутри алунитовой фации установлена асимметричная зональность: сверху вниз растет содержание алунита, а снизу вверх – содержание кварца. Вверху алунит распределяется преимущественно в виде гнезд или образует порфиробласты (до 1 мм) в тонкозернистом кварце. Вниз, по мере увеличения содержания алунита, размер его зерен уменьшается, и при содержании алунита более 40 % порода приобретает равномернозернистую рисовидную структуру. В качестве порфиробластов уже выступают зерна кварца рисовидного габитуса в тонкозернистом алунитовом агрегате (рис. 4а). Отмеченная зональность отчетливо просматривается во всех

выходах вторичных кварцитов, косвенно подтверждая вывод, полученный на основе структурных данных, о принадлежности их некогда одной залежи.

По химическому составу алуниты месторождения Светлое относятся к калиевому типу (K_2O – от 4.51 до 5.87 мас. %; Na_2O – от 0.9 до 1.88 мас. %)

Диккитовые кварциты слагают приподошвенную и прикровлевуую зоны в пластовой части массива вторичных кварцитов и формируют внешнее обрамление в килевидных структурах, а также постепенно замещают алунит по падению залежи на флангах массива вторичных кварцитов. В зоне перехода к алунитовым кварцитам и монокварцитам диккит образует гнезда размером от десятых долей миллиметра до 3 см, состоящие из таблитчатых, иногда розетчатых зерен размером до 1–2 мм (рис. 4б). Диккит замещает вкрапленники и обломки, реже – основную массу пород. В последнем случае нередко образуются мономинеральные диккитовые агальматолиты.

Монокварциты на месторождении Светлое отличаются большим структурно-текстурным разнообразием. Их можно объединить в три группы: массивные, брекчиевые и пористые разновидности.

Массивные кварциты развиваются по тонким пепловым туфам и реже по дацитам. Сложены они халцедоновидным кварцем или халцедоном, обычно в них присутствуют тонкие иголки рутила (до 1 %). За счет изменения зернистости кварца под микроскопом хорошо читается первичная структура, свидетельствующая о метасоматической природе окварцевания с сохранением объема и структурных особенностей породы.

Среди брекчий преобладают породы с унаследованной текстурой. Это монокварциты, образующиеся по первично обломочным вулканическим породам (туфы, эруптивные брекчии; рис. 5а). Очевидно, вследствие того, что проницаемость обломков и цементирующего материала различна, зернистость кварца, замещающего обломки, и цементирующий агрегат в этих метасоматитах различаются, что создает видимость позднего брекчирования.

“Настоящие” гидротермальные брекчии состоят из обломков однородных монокварцитов, сцементированных поздним, относительно крупнозернистым кварцем, поздним алунитом или гидроксидами железа.

В полостях выщелачивания обнаружены брекчии обрушения. Они состоят из обломков, иногда слабо окатанных, метасоматического кварца. Частично такие обломки спаяны поздним колломорфным кварцем или гематитом (рис. 5б).

Пористые монокварциты достаточно широко распространены на месторождении Светлое. Размер пор и их количество варьируют от мелкопористых пемзовидных разновидностей, плотность которых приближается к единице (рис. 5в), до крупных пор и полостей сложной морфологии (рис. 5б, г). Замечено, что основные объемы пористых пород приурочены к наиболее проницаемым горизонтам грубых туфов и брекчий.

Связь золотоносности с пористостью отмечают большинство исследователей месторождений кислотно-сульфатного типа, причины этого явления не установлены.

Сравнительный анализ содержаний золота и серебра в различных текстурных типах монокварцитов не выявил корреляции между видимой пористостью и содержаниями золота на месторождении Светлое. Оказалось, что значительная часть пористого пространства, а иногда и все поры заполнены кварцем. В таких порах и полостях халцедоновидный кварц превращен в относительно крупнозернистый агрегат, но в нем хорошо просматриваются в проходящем свете первичные колломорфно-полосчатые текстуры, свидетельствующие об отложении кремнезема в открытых полостях (рис. 4, 5).

На месторождении Светлое среди алунитовых и диккитовых кварцитов выявлены отдельные жилы мощностью до 1 м с содержанием Au до 5 г/т, сложенные колломорфно-полосчатым халцедоновидным кварцем, таким же, как и кварц, выполняющий поры и полости.

К порам в монокварцитах приурочена вкрапленность барита и ярозита (рис. 4д). В отличие от гипергенного ярозита, замещающего пирит, гипогенный ярозит концентрируется преимущественно в колломорфном кварце. Он более чистый, не содержит включений гидроксидов железа и вследствие этого характеризуется очень ярким желтым цветом. Форма зерен ярозита неправильная, чаще всего они повторяют контуры полостей, которые выполняют. Барит также концентрируется главным образом в колломорфном кварце, часто совместно с гипогенным ярозитом, или нарастает в виде отдельных кристаллов на стенки остаточных пор (рис. 4е). Иногда отмечаются крупные полости, выполненные щетками барита или агатовидным полосчатым кварц-баритовым тонкозернистым агрегатом (рис. 5е).

Все типы монокварцитов в той или иной степени претерпели собирательную перекристаллизацию, при этом интенсивность перекристаллизации кремнезема отчетливо контролируется кавернами и полостями. Вокруг остаточных пор кварц более зернистый и очищенный от пелитоморфных включений. В

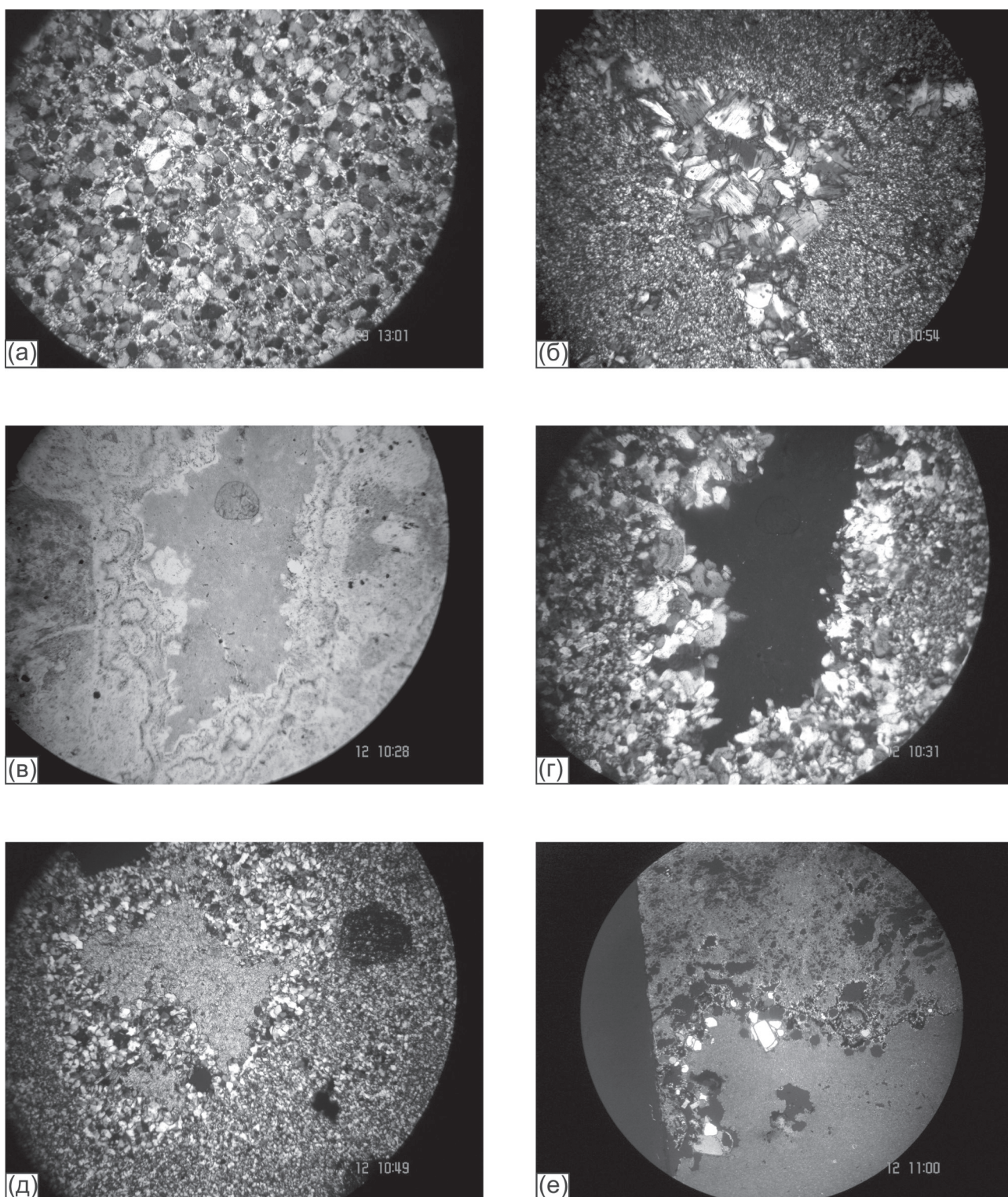


Рис. 4. Структуры вторичных кварцитов.

а – алунитовый кварцит, структура рисовидная, б – дикитовый кварцит, крупнотаблитчатый диксит слагает гнезда в мелкозернистом кварцевом базисе, в–г – фрагмент крупной полости растворения с перегородками метасоматического кварца, заполненной кварцем второй генерации колломорфной структуры, и остаточной полостью, выполненной опалом, д – полость в метасоматическом кварце, заполненная относительно крупнозернистым кварцем с зерном гипогенного ярозита в центре, е – нарастание ограниченных зерен барита на фрагмент полости в метасоматическом кварце (правая нижняя часть шлифа). а, б, г, д, е – николи +, в – николи II. Увел. 30.

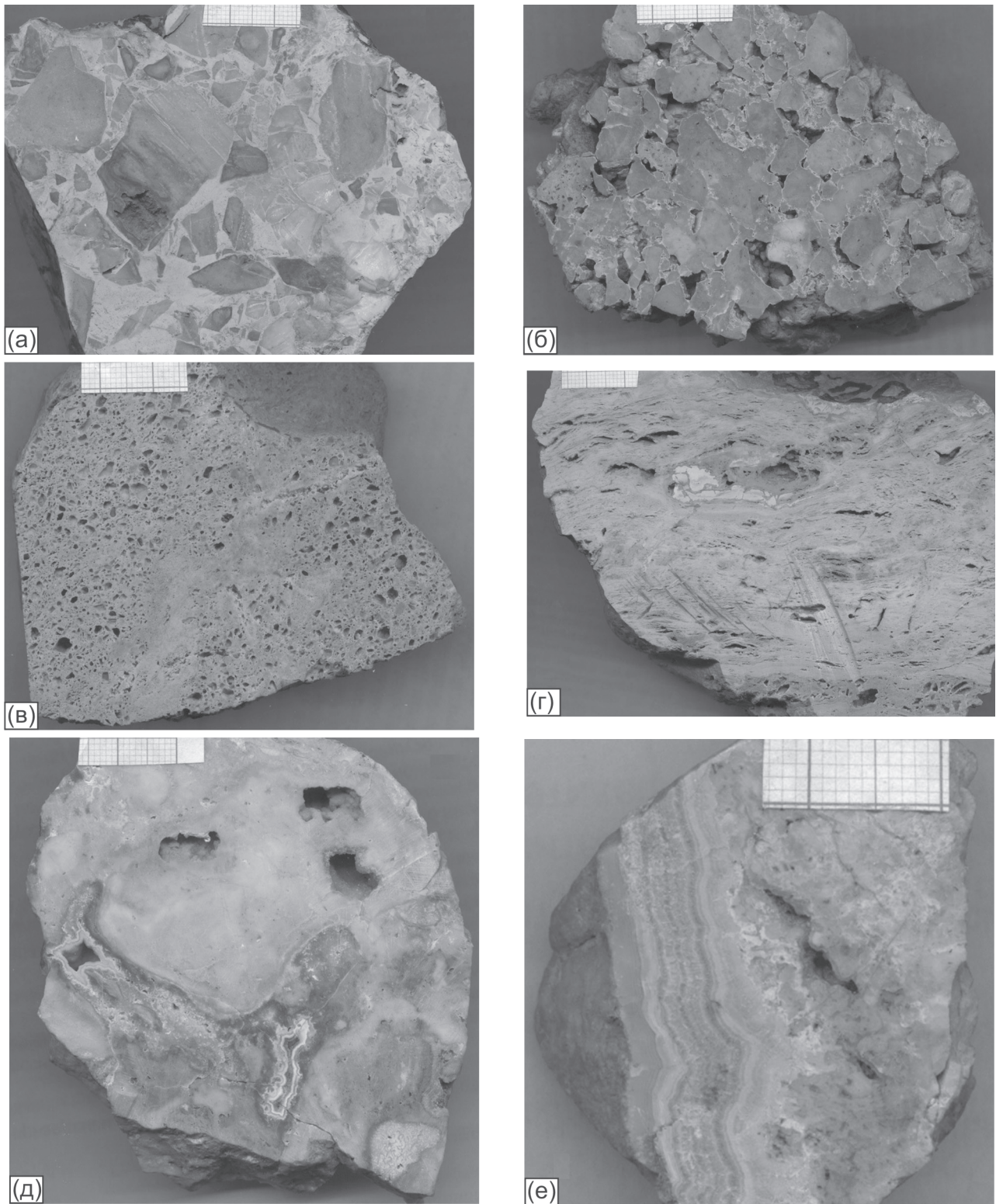


Рис. 5. Различные типы текстур монокварцитов.

а – монокварцит по туфу, обломки и цемент различаются зернистостью кварца, б – брекчия обрушения, слабо окатанные обломки метасоматического кварца неплотно упакованы, участками сцементированы колломорфным кварцем, в – мелкопористый пемзовидный монокварцит, г – крупнопористый монокварцит, д – крупная полость в монокварците, выполненная колломорфным кварцем, е – фрагмент полости в монокварците, выполненной относительно крупнозернистым кварцем (правая часть фотографии), который обрамляется агатовидным кварц-баритовым агрегатом (барит – более светлые полоски). Масштабная миллиметровка – сетка размером 1 мм.

итоге наиболее крупнозернистым оказался кварц с колломорфными структурами, который изначально был представлен, очевидно, аморфным кремнеземом. Кристалличность метасоматического кварца, служащего базисом для пор с колломорфным кварцем, также определяется положением относительно ближайшей каверны, а частично структурными особенностями субстрата. Перекристаллизация кремнезема, выполняющего поры, на определенной стадии полностью прекратилась, хотя на отдельных участках заполнение остаточных пор поздним опаловидным кремнеземом еще продолжалось (рис. 4в, г). Причиной перекристаллизации кремнезема, очевидно, являются остаточные флюиды, концентрирующиеся в кавернах и полостях.

Метасоматический кварц первой генерации, в отличие от колломорфного кварца выполнения полостей, всегда более тонкозернистый, но в нем также отмечается такситовость по зернистости. По всей видимости, структурные фрагменты субстрата (обломки в туфах, вкрапленники, ксенолиты, фьямме в игнибритах, основная масса) отличались микропористостью и содержанием остаточных флюидов.

Серицитовые вторичные кварциты распространены ограниченно в наиболее эродированном северо-западном фланге рудного поля (участок Эмми). Здесь пористые монокварциты обрамляются пиррофиллит-серицитовыми с диаспором, реже, с диккитом вторичными кварцитами, которые на флангах сменяются кварц-гидрослюдистыми пиритизированными породами. Алунитовые кварциты на данном эрозионном срезе отсутствуют. Серицит на участке Эмми имеет яркие, типично мусковитовые цвета интерференции и по рентгеноструктурным данным определяется как мусковит – структурная модификация 2M1.

Кварц-гидрослюдистые породы состоят из гидрослюда, кварца, пирита и обычно содержат в незначительном объеме реликты первичных пород. Содержание кварца в этих аргиллизитах не более 10–20 %, поэтому, в отличие от вторичных кварцитов, они подвержены выветриванию и не образуют коренных выходов и делювиальных осыпей. В аргиллизитах постоянно присутствует пирит, содержания его достигают 15–20 %. По результатам ИК спектроскопии и рентгено-структурного анализа, слюды представлены иллитом. В зоне перехода к диккитовым кварцитам иллит сочетается с каолинитом, а в переходной зоне к пропилитам – со смектитами.

На северо-западном фланге рудного поля, на участке Людмила, представляющем собой многослойную мультислойную структуру, слюда представлена тонкочешуйчатым гидробиотитом, плеохромующим от бурого до соломенно-желтого цвета.

Пропилиты в районе месторождения по минералогическому составу полностью соответствуют региональной пропилитизации андезитов (хлорит, карбонат), но в обрамлении круто залегающих зон кварцитов нижнего этажа количество вторичных минералов резко возрастает от 5–10 % (в региональных пропилитах) до 80–100 % в пределах рудного поля и сопровождается интенсивной (до 15–20 %) пиритизацией.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД

Монокварциты на месторождении Светлое практически являются рудными телами, но кондиционные руды распределены неравномерно и определяются исключительно по результатам опробования. Распределение золота в монокварцитах показано на рис. 6: 60 % проб содержат Au от 0.1 до 0.6, 18 % – более 0.6 и 22 % – более 1 г/т. В фациях метасоматитов, обрамляющих монокварцевые зоны, содержания золота несколько возрастают от внешних зон к внутренним, но в целом – значительно ниже 0.1 г/т. Золото – тонкодисперсное, и лишь на участке Эмми отмечались выделения видимого золота.

Во вторичных кварцитах и в обрамляющих их аргиллизитах имеются повышенные содержания Ba, As, Se, Cu, Mo, Pb и Zn. С золотом коррелируются содержания Ag, Ba, Se, Mo и, в меньшей степени, Te (рис. 7, 8). Висмут присутствует в большинстве проб, но корреляция с другими рудными элементами невысокая.

Золото-серебряное отношение в пробах с содержанием Au более 1 г/т составляет 1.2. С серебром, кроме Au, Ba, Se, Mo, Te, коррелируются As, Cu, Pb и Zn (рис. 8), поэтому осевая периклиналильная зона, в которой сосредоточены основные рудные участки, трассируется контрастными металлотметрическими аномалиями этих элементов.

Исходя из того, что барит в основном концентрируется в кварце второй генерации, выполняющем пористое пространство в монокварцитах, а содержания золота имеют значимую положительную корреляцию с содержаниями бария (рис. 8), сделано предположение, что отложение золота, серебра и основного количества бария во вторичных кварцитах месторождения Светлое происходило после образования вторичных кварцитов при заполнении пор и полостей кварцем второй генерации. Действительно, по результатам определения содержаний Au и Ag из различных типов вторичных кварцитов, максимальные их концентрации оказались в пробах монокварцитов, содержащих значительный объем кварца второй генерации и видимый барит. Отобрать пробы на определение Au и Ag раздельно монокварцита и кварца,

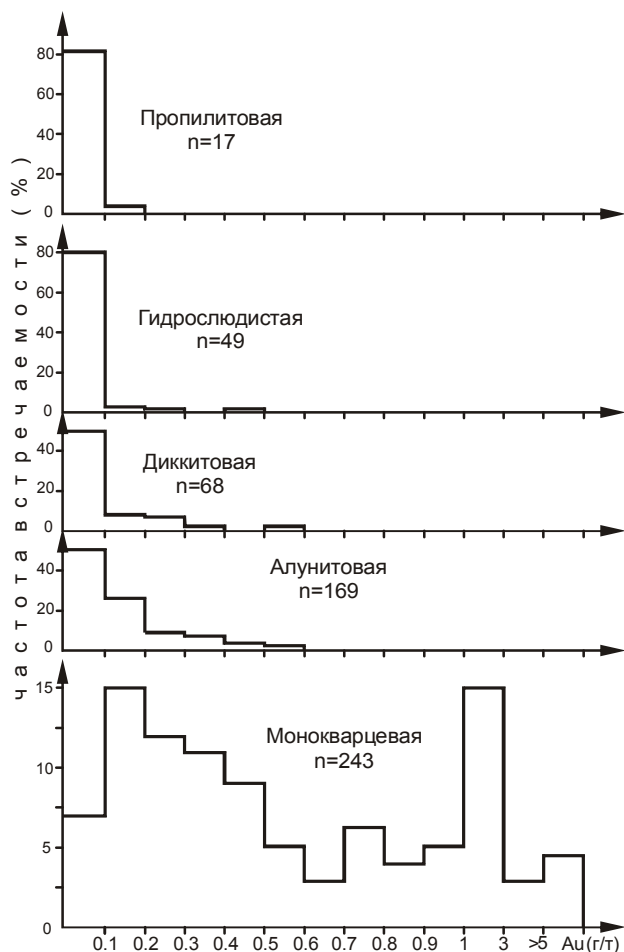


Рис. 6. Гистограммы распределения Au в фациях гидротермально измененных пород.

Использованы результаты спектрального и пробирного (при содержаниях ≥ 1 г/т) анализов.

выполняющего поры и полости, оказалось сложно, поэтому было произведено зондирование таких образцов с помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра. Данные, приведенные в табл. 1, подтверждают, что золото и серебро в образцах распределены неравномерно и максимальные их концентрации наблюдаются на участках, обогащенных баритом.

В пределах основной, слабо эродированной части поля вторичных кварцитов рудные минералы, за исключением единичных находок блеклой руды на участке Елена, не установлены. По обилию рудных минералов выделяется северо-западный фланг рудного поля (участок Эмми). Здесь на площади 800×350 м среди преимущественно серицитовых кварцитов установлена серия выклинивающихся на глубину зон пористых монокварцитов мощностью от 1 до 50 м, протяженностью от 10 до 300 м с содержаниями Au

Таблица 1. Распределение Au и Ag (г/т) в образцах монокварцитов с видимым баритом.

№ анализа	№ пробы	Ag	Au	Минеральный состав
604	6-98/12	43	н	Кварц
605	– « –	н	н	– « –
606	– « –	57.8	н	– « –
607	– « –	н	н	– « –
608	– « –	54.0	61.0	Гнездо барита
609	– « –	119.0	3248.0	– « –
610	6-98/19	213.0	н	Кварц-баритовая полоса
611	– « –	н	н	Кварц
612	– « –	274.0	н	Кварц-баритовая полоса
613	– « –	н	н	Кварц

Примечание. н – содержания ниже предела чувствительности (50 г/т).

1–10 г/т. Золоторудная минерализация сопровождается сложным набором теллуридов с халькопиритом и годфилдитом. В отдельных гнездах содержания рудных минералов в порах монокварцитов и прожилках достигают 50 %. По данным спектрального анализа, в таких обогащенных рудными минералами метасоматитах содержится Au > 100 г/т, Ag – 300 г/т, Cu – 0.3 %, Sn – 0.3 %, Mo – 0.02 %, Sb – 0.8 %, Bi – > 1 %, Te – 1.4 %. Д.Х.М. Альдертон и Ф.К. Брамельд [20] и А.Г. Колесников с соавторами [6], изучавшие минералогию этих руд, установили в них самородное золото, акантит, кюстелит, самородный теллур, теллуриды висмута (до 70 % от общего числа).

Пирит присутствует во всех метасоматических фациях. Содержание пирита в пластовой части залежи растет сверху вниз, в килевидных структурах – от центра к периферии. В пропилитах и гидрослюдистых метасоматитах содержание пирита достигает 15–20 %. Более крупные (до 0.1 мм) зерна имеют кубический габитус, а мелкозернистый пирит, густо вкрапленный в основную массу пород, представлен зернами октаэдрического габитуса. В верхней части разреза пластовой части залежи кварцитов содержание пирита резко падает и он обычно окислен с образованием лимонита и ярозита.

На верхних уровнях пластовой части залежи отмечаются гнезда и линзы мощностью до 2 м, выполненные брекчиями обрушения с гематитовым цементом. Они состоят из обломков пород, пропитанных гидроксидами железа, и гипергенного ярозита, сцементированных скрытокристаллическим гематитом. По данным рентгеноструктурного анализа, гематит частично окислен с образованием гетита и ярозита.

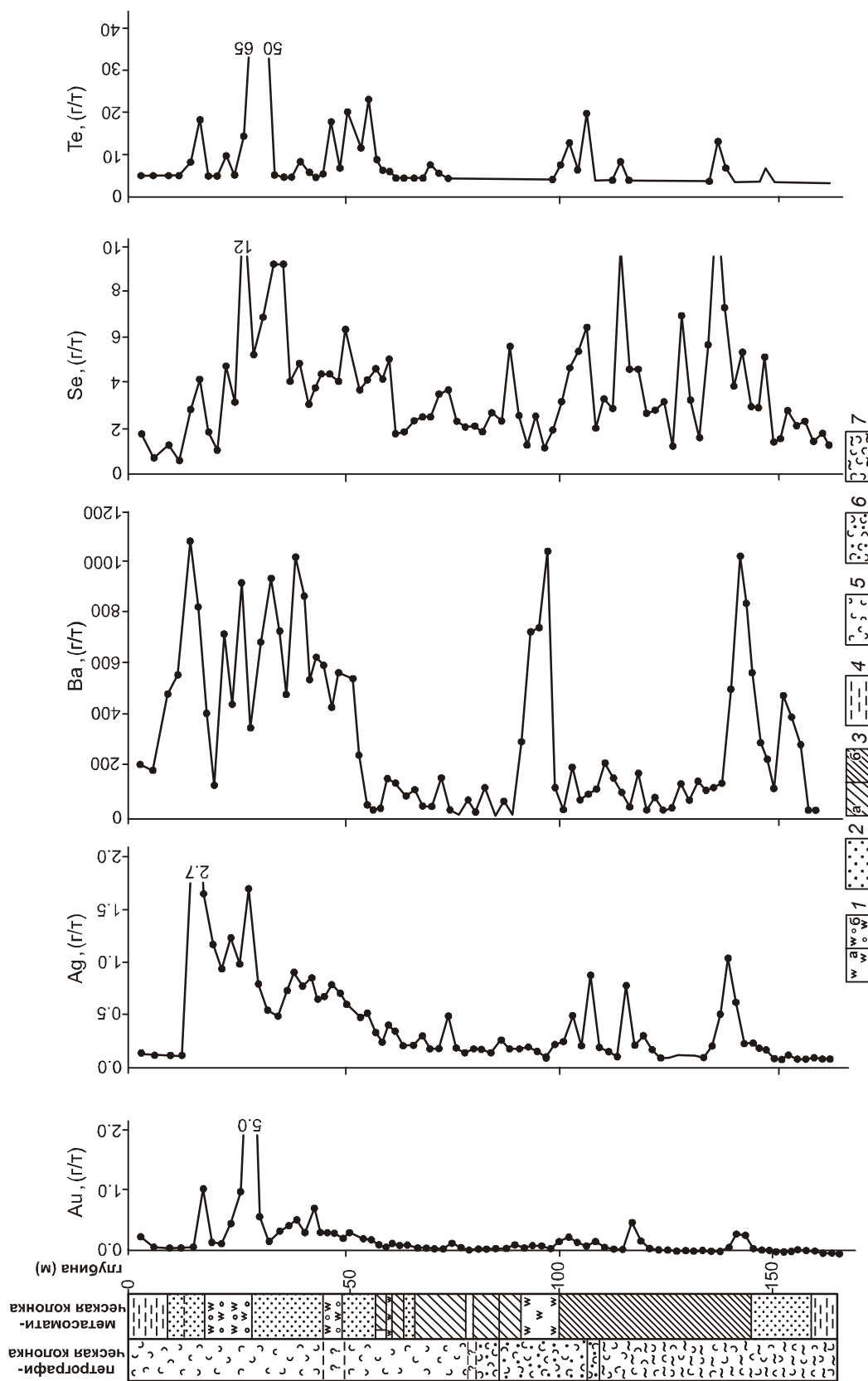


Рис. 7. Графики содержания Au, Ag, Ba, Se и Te по скважине 39, участок Елена.

1 – монокварциты массивные (а) и пористые (б), 2 – дикиитовые кварциты, 3 – алунитовые кварциты с содержанием алунига менее 40 % (а) и более 40 % (б), 4 – кварц-гидрослюдистые породы, 5 – дациты, их туфы (б) и игнимбриты (7).

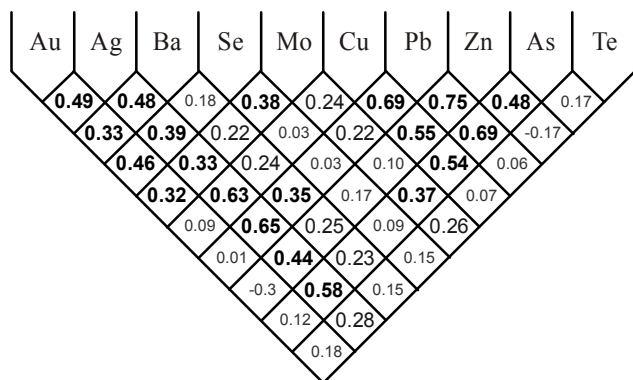


Рис. 8. Матрица коэффициентов корреляции между концентрациями рудных элементов во вторичных кварцитах (скваж. 39, N=80, ISP-MS анализ).

Крупным шрифтом выделены коэффициенты корреляции (95 % уровень значимости): жирным – со значениями ≥ 0.32 , нежирным – $0.22-0.32$.

В гематите присутствуют отдельные пойкило-включения ограненных кристаллов кварца (до 5 мм), барита и гипогенного ярозита. Судя по этим соотношениям, заполнение полостей гематитом происходило одновременно с отложением колломорфного кварца в порах и полостях.

СОСТАВ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

Изотопный состав кислорода и водорода определен в диккитах на участке Елена и одной пробы (3029–22) (табл. 2) из пластовой части массива вторичных кварцитов. Рассчитанные составы гидротерм, равновесных с диккитом, на диаграмме (рис. 9) располагаются вблизи линии метеорных вод. По отношению к вторичным кварцитам из

других массивов [10] они смещены в более низкотемпературную область составов метеорных вод, что связано, очевидно, с высокими широтами или высотами гипсометрического положения месторождения [18].

На месторождении Светлое изотопный состав кислорода кварца пористых монокварцитов был изучен на участках Елена, Тамара и Эмми [20] (табл. 2). Авторы сделали предположение, что пористый монокварцит на месторождении Светлое образовался при температуре около 150°C за счет гидротерм существенно метеорного происхождения, а прожилки кварца с рудными минералами могли образоваться из гидротерм с близким изотопным составом кислорода, но при высокой (выше 300°C) температуре.

Изотопный состав серы определен в пирите из гидрослюдистых аргиллизитов, обрамляющих алунитовые и диккитовые кварциты на участке Елена. Значения $\delta^{34}\text{S}$ пирита близки $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов магматических пород, но, в отличие от близких по составу вторичных кварцитов Гряды Каменистой [11], несколько смещены в сторону отрицательных значений (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для стратегии поисков золоторудных месторождений кислотно-сульфатного типа и других рудных объектов, связанных со вторичными кварцитами, важно определить, есть ли в минералогических особенностях самих вторичных кварцитов признаки, указывающие на их рудную специализацию.

Температуры образования минералов вторичных кварцитов определены экспериментально и составляют $100-500^\circ\text{C}$ [4]. Исходя из минералогичес-

Таблица 2. Изотопный состав кислорода, водорода и серы в минералах вторичных кварцитов и равновесных с ними гидротерм, месторождение Светлое.

№ пробы	Минерал	T° C	$\delta^{34}\text{S}$, ‰	Кислород			Водород		
				$\delta^{18}\text{O}$, ‰	$10^3 \ln \alpha$ kaol. H ₂ O(O)	$\delta^{18}\text{O}$ (вода), ‰	δD , ‰	$10^3 \ln \alpha$ kaol. H ₂ O (O)	δD (вода), ‰
3029-22	Диккит	100		-3.5	-11.7	-15	-184	-28	-156
C15/16.7	– «–	100		0.4	-11.7	-11	-179	-28	-151
C20/30.8	– «–	100		-2.2	-11.7	-13	-168	-28	-140
C20/63.6	– «–	100		-5.3	-11.7	-17.3	-170	-28	-142
C25/63.9	– «–	100		-0.8	-11.7	-12.5	-166	-28	-138
C-21/21.8	Пирит		-8.2						
C-22/119.5	– «–		-6.4						
SV 5*	Кварц (пористый монокварцит)	150		4.97		-10.5			
SV 9*	– «–	150		2.23		-13.2			
SV 2*	Жильный кварц	450		-5.17		-9.7			
SV 3*	– «–	150		2.93		-1.6			

Примечание. * – данные из работы [20].

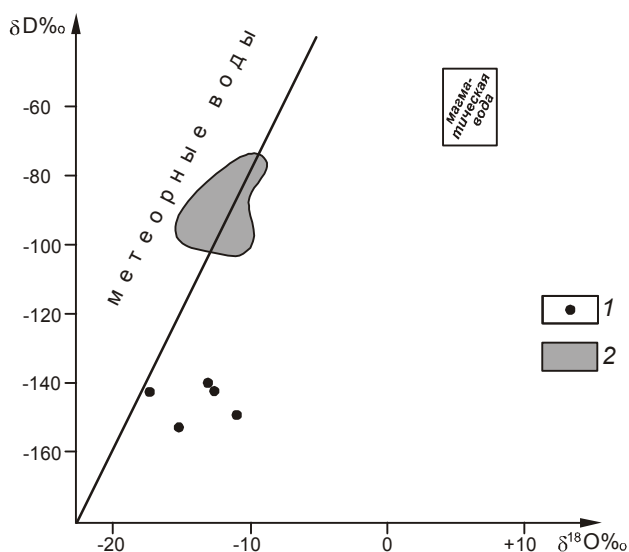


Рис. 9. Рассчитанный изотопный состав гидротермальных растворов, равновесных с диккитом и каолинитом.

1 – месторождение Светлое, 2 – вторичные кварциты месторождений Красивый, Белая Гора, Шелеховское и Гряда Каменистая [9].

кого состава доминирующей фации и температур, определенных гомогенизацией флюидных включений, залежи вторичных кварцитов могут быть классифицированы на низкотемпературный – 100–150° С (преобладают диккит-каолинитовые кварциты), среднетемпературный – 150–250° С (доминирует алунитовая и диккитовая фации) и высокотемпературный (>250° С) типы [8, 10, 11]. Высокотемпературный тип можно подразделить на подтипы алуниит-диаспоровый и более высокотемпературный – корунд-андалузитовый.

Широкое распространение алунитовых и диккитовых кварцитов позволяют уверенно отнести вторичные кварциты месторождения Светлое к среднетемпературному типу. Более высокотемпературный состав высокоглиноземистых минералов отмечается лишь на участке Эмми, где доминирует серицитовая фация, а также присутствуют диаспор, пирофиллит. Температуры гомогенизации флюидных включений в кварце монокварцитов и прожилков на этом участке имеют бимодальное распределение. Образование монокварцитов, по данным [6], произошло при температуре 240–270° С, а прожилков и гнезд с рудной минерализацией – при температурах 330–370° С.

Залежи среднетемпературных вторичных кварцитов с развитой алунитовой фацией широко распространены на Востоке России и в других ее регионах. По минералогическому составу, зональности и структуре эти залежи принципиально не отличаются от

массива вторичных кварцитов месторождения Светлое, однако чаще с ними связана полиметаллическая минерализация, иногда с Au и Ag, например, Береговское и Баганьское месторождения в Закарпатье [1], Маднеульское в Южной Грузии [2], Чаятынское на Нижнем Амуре. На Дальнем Востоке в большинстве разведанных на алуниит месторождений вторичных кварцитов установлены признаки полиметаллической и полиметаллической с золотом и серебром минерализации. Пример – Шелеховское и Искинское месторождения алунитовых кварцитов [10].

Сравнительные данные изотопного состава кислорода и водорода в диккит и серы в пирите из различных температурных типов вторичных кварцитов также указывают на сходные источники гидротерм, образующих эти метасоматиты в зоне смешения эндогенных флюидов с метеорными водами. Изотопный состав серы в пиритах месторождения Светлое свидетельствует в пользу ее эндогенного происхождения, а изотопия кислорода и водорода в диккитах указывает на существенно метеорный состав гидротерм. Этот вывод находит подтверждение на других месторождениях мира [17, 27, 28]. Таким образом, следует признать, что в самих среднетемпературных вторичных кварцитах месторождений кислотно-сульфатного и полиметаллического типов ни в их составе, ни в зональности, ни в условиях их образования резких различий нет, имеются лишь некоторые количественные отличия. Прежде всего, отметим очень высокую активность серы на месторождении Светлое, которая проявляется в исключительно широком развитии сульфатной минерализации: алуниит, а также барит и, обычно редко встречающийся, гипогенный ярозит. Второй немаловажный фактор – это широко проявленная пиритизация, которая охватывает как внешние, так и внутренние зоны метасоматической колонны. И, наконец, отметим значительный объем пористых монокварцитов и их брекчиевых разновидностей, указывающих на ультракислый состав гидротерм с pH = 1–2 и интенсивность процессов собирательной перекристаллизации кремнезема. Все эти признаки свидетельствуют о развитости гидротермальной системы. Заметим, что ни один из них не является исключительной принадлежностью месторождений кислотно-сульфатного типа, большинство в том или ином объеме встречаются в различных залежах вторичных кварцитов, в том числе и в низкотемпературных. Например, на Карамкенском месторождении – типичном представителе Au-Ag-месторождений адуляр-серицитового типа – имеются линзы монокварцитов с кавернозными и различными брекчиевыми структурами. В массиве вторичных кварцитов Саласу (Нижний Амур) объем моноквар-

цитово́й фа́ции значительно превосходит таковой месторождения Светлое, но пористость развита крайне ограниченно и золоторудная минерализация в них не установлена. В Ваюонском поле вторичных кварцитов (Нижний Амур) среди алунитовых кварцитов выявлены тела монокварцитов с пористыми и брекчиевыми текстурами, аналогичные таковым месторождения Светлое, но золоторудная минерализация с ними пока не установлена.

На основе изучения большого количества рудных объектов, сопровождающихся вторичными кварцитами, была разработана модель гидротермальной системы [8, 10, 11]. Основное поисковое значение ее заключается в том, что вторичные кварциты образуются в предрудную стадию и слагают верхнюю надрудную зону. На рудной стадии кварциты играют роль экрана. Показана связь вторичных кварцитов преимущественно с купольными вулканическими структурами центрального или линейного типов [10, 21, 32]. Апикальные зоны таких куполов являются областью питания эндогенными флюидами и смешения их с метеорными водами, они же являются центрами рудной минерализации. К местам разгрузки (подножия куполов) кислые термальные воды постепенно нейтрализуются и происходит фаціальное замещение монокварцитов и высокоглиноземистых фаций гидрослюдисто-сметитовыми аргиллизитами и пропилитами. Такая гидрогеологическая обстановка обуславливает асимметрию строения залежей вторичных кварцитов. В них выделяются головная и хвостовая части. Головная часть отличается значительной мощностью высокоглиноземистых фаций и маркируется выходами монокварцитов, а в хвостовой части происходит постепенное замещение высокоглиноземистых вторичных кварцитов аргиллизитами. Головная часть расположена по восстанию кварцитово́й залежи и показывает относительное расположение рудных зон.

В вертикальном разрезе залежей вторичных кварцитов смена пиритизации на гематитизацию фиксирует положение зеркала грунтовых вод. Выше зеркала грунтовых вод метеорные гравитационные воды насыщены кислородом, при этом степень насыщения с глубиной, в связи с возрастанием литостатического давления, увеличивается. В этих условиях высвобождающееся при выщелачивании железо связывается в гематите. Ниже зеркала грунтовых вод, в восстановительных условиях, железо связывается с серой в пирите. Заметим, что появление на верхних уровнях залежей гематита не зависит от фаціального состава вторичных кварцитов, оно в равной степени проявляется в низко- и высокотемпературных залежах и во время рудной стадии [9].

По условиям залегания и внутренней структуре залежь вторичных кварцитов месторождения Светлое не отличается от других минералогических типов вторичных кварцитов. Подошва пластово́й части залежи и фаціальные границы в ее пределах имеют периклинальное залегание относительно оси вулканического хребта. Все рудоносные участки расположены по восстанию пластово́й залежи в ее периклинальной зоне (рис. 2, 3). Пластовая часть залежи практически безрудная и является покрывкой для рудоносных структур нижнего яруса. В полном объеме она сохранилась лишь на флангах рудоносной структуры, в водораздельной части рудного поля она в значительной мере эродирована.

Сочетание полого залегающих пластообразных залежей вторичных кварцитов с килевидными и жиллообразными и трубчатыми зонами характерно для многих эпитеpmальных месторождений золота кислотно-сульфатного типа – Саммитвилль в Калифорнии [33], Мивах в Индонезии, Нена-Фрида в Папуа-Новая Гвинея [23].

Флюиды, за счет которых образуются высокоглиноземистые вторичные кварциты, отличаются высокой кислотностью и низкой соленостью – 1–2, реже до 4 мас. %-экв. NaCl [9, 10], а рудообразующий флюид, по данным [25], менее кислый и имеет более высокую соленость (более 6 мас. %-экв. NaCl). Пористые монокварциты на месторождениях кислотно-сульфатного типа, как подмечено [26], – это благоприятная в структурном отношении среда для транспортировки гидротерм и отложения из коллоидных растворов кремнезема и золота.

На примере месторождения Светлое и очень близкого к нему в структурном отношении месторождения Саммитвилль [33] видно, что монокварциты занимают стержневую зону «килевидных» структур с максимальным расширением их объема на уровне подошвы основной пластово́й части залежи кварцитов. Это обстоятельство важно при прогнозе не выходящего на поверхность золотого оруденения кислотно-сульфатного типа, поскольку на слабо эродированных залежах монокварциты могут бронироваться сверху безрудными алунитовыми и диккитовыми кварцитами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По составу гидротермально измененных пород и характеру рудной минерализации месторождение Светлое является типичным представителем эпитеpmальных Au-Ag месторождений кислотно-сульфатного типа. Вторичные кварциты, с которыми пространственно связана золоторудная минерализация, относятся к среднетемпературному типу с

развитой алунитовой фацией. По составу и зональности гидротермально измененных пород, а также условиям образования и структурным особенностям залежи вторичные кварциты месторождения Светлое практически не отличаются от других залежей среднетемпературных вторичных кварцитов с развитой алунитовой фацией. Имеются лишь некоторые отличия исключительно количественного характера: широкое развитие сульфатной минерализации (алунит, барит, гипогенный ярозит), обязательное присутствие монокварцевой фации с широко проявленной пористостью и брекчиевыми структурами.

Сами вторичные кварциты не несут рудной минерализации. Они образуются на дорудном этапе. Отложение золота и сопутствующих элементов происходило в процессе заполнения пор, полостей выщелачивания и, реже, трещин растяжения аморфным кремнеземом на втором (рудном) этапе. Кварц, выполняющий полости и поры, в отличие от метасоматического кварца первого этапа, имеет колломорфные структуры, характерные для осаждения кремнезема в полостях из коллоидных растворов. Весь кремнезем претерпел собирательную перекристаллизацию, которая по-видимому, контролировалась остаточными флюидами и, опосредованно, пористостью монокварцитов.

Основываясь на материалах по месторождению Светлое, можно утверждать, что все массивы вторичных кварцитов с развитой алунитовой фацией требуют ревизии на предмет обнаружения золоторудных месторождений кислотно-сульфатного типа.

Наиболее отчетливо специфика месторождений кислотно-сульфатного типа проявляется на рудной стадии развития гидротермально-рудной системы. Типоморфными для нее, наряду с теллуровой минерализацией, являются сульфосоли меди, такие как тетраэдрит, теннантит, люцит, голдфиллит, энаргит. Халькопирит в этих месторождениях в отличие от медно-порфировых – второстепенный минерал [23, 25].

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность сотрудникам компании Felp Dodg Томасу Боуэну и Майку Шихан за помощь в проведении полевых исследований и предоставленные материалы, Н.С. Бортникову, В.Г. Невструеву, О.Ю. Полянской и В.Г. Хомичу за конструктивные критические замечания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН (проекты 06–11–СО–08–029 и 06–III–А–08–347).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волостных Г.Т. Аргиллизация и оруденение М.: Недра, 1972.
2. Гогишвили В. Г., Аревадзе Д.В. Температурные перепады при формировании Маднеульского месторождения (Южная Грузия) и оценка рудоносности глубин // Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. М.: АН СССР, 1972. С. 230–231.
3. Гриненко В.А. Приготовление двуокиси серы для изотопного анализа // Неорганическая химия. 1962. № 7. С. 2578–2582.
4. Иванов И.П. Термодинамическое моделирование минеральных парагенезисов и зональности вторичных кварцитов на примере открытой системы $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ // Геохимия. 1993. № 5. С. 621–644.
5. Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А. Лазерная методика подготовки проб для анализа стабильных изотопов // Тезисы докладов Всероссийской конф. “Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы”. М., 2005. ИС-1. С. 98.
6. Колесников А.Г., Брызгалов И.А., Рассказова Т.Л., Савва Н.Е. К условиям формирования редкометаллового рудопоявления Эмми (Ульянская структурно-металлогенная зона) // Чтения памяти К.В. Симакова. Магадан, 2007. С. 90–91.
7. Метасоматизм и метасоматические породы / Под ред. В.А. Жарикова, В.Л. Русинова. М.: Науч. мир, 1998. 490 с.
8. Мишин Л.Ф. Место вторичных кварцитов среди гидротермально измененных пород и соотношение их с рудами металлов // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии. Хабаровск, 2001. С. 239–265.
9. Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. Природа высокоглиноземистых вторичных кварцитов по данным термобарогеохимии и изотопного анализа кислорода и водорода // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 5. С. 123–139.
10. Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. Вторичные кварциты и их рудоносность. Владивосток: Дальнаука, 2003.
11. Мишин Л.Ф. Связь вторичных кварцитов месторождения Гряда Каменистая (Нижний Амур) с рудной минерализацией // Геология руд. месторождений. 2005. Т. 47, № 5. С. 472–484.
12. Мишин Л.Ф., Акинин В.В., Мишин Е.Л. Новые данные о возрасте магматических пород западного сектора Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 3. С. 12–24.
13. Мишин Л.Ф., Бердников Н.В. Индикаторная роль высокоглиноземистых вторичных кварцитов при поисках рудных месторождений // Руды и металлы. 2010. № 3. С. 14–24.
14. Наковник Н.И. Вторичные кварциты СССР и связанные с ними месторождения полезных ископаемых. М.: Недра, 1964. 337 с.
15. Наумова О.А., Алышева Э.И. Гидротермально измененные породы Озерновского золото-серебряного месторождения Камчатки // Отеч. геология. 1995. № 1. С. 35–43.
16. Петренко И.Д. Золото-серебряная формация Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во СПб. картограф. фабрики ВСЕГЕИ, 1999. 116 с.
17. Хоссейни М., Русинов В.Л., Баранова И.Б. и др. Алунит в горах Таром (Северо-западный Иран) // Вестн. МГУ. Сер. 4. 1998. Т. 1. С. 34–40.
18. Хью П., Тейлор мл. Изотопы кислорода и водорода в гидротермальных рудных месторождениях // Геохимия

- гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982 С. 200–318.
19. Albino G. Time – pH – f_{O_2} paths of hydrothermal fluids and the origin of quartz-alunite gold deposits // US Geol. Surv. Bull. 1994. N 2081. P. 33–42.
 20. Alderton D. H. M., Brameld F.C. Telluride mineralization at the Svetloe gold prospect, Khabarovsk Krai, eastern Russia // Field Workshop of IGCP-486, Izmir, Turkey, 2006. P. 1–5.
 21. Arribas A.Jr. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid // Mineralogical Association of Canada. Short Course. 1995. V. 23. P. 419–454.
 22. Cooke D. R., Simmons S. F. Characteristics and Genesis of Epithermal Gold Deposits // Reviews in Econ. Geol. 2000. V. 13. P. 221–244.
 23. Corbett G. J., Leach T.M. Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration, and mineralization // Workshop manual. Baguio, Philippines, 1996. 186 c.
 24. Heald P., Hayba D.O., Foley N.K. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid-sulfate and adularia-sericite types // Econ. Geol. 1987. V. 82, N 1. P. 1–26.
 25. Hedenquist J.W. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin / M.K. Horn, ed. Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, 4th, Singapore, 1986 // Transactions. 1987. P. 513–524.
 26. Hedenquist J. W., Arribas A. R., Gonzalez-Urien E. Exploration for epithermal gold deposits // Reviews in Econ. Geol. 2000. V. 13. P. 245–277.
 27. Larsen, Taylor H.P Solfataric alteration in the San Juan Mountains, Colorado: oxygen isotope variations in a boiling hydrothermal environment // Econ. Geol. 1987. V. 28, N 4. P. 1019–1036.
 28. Rye R.O., Bethke Ph.M., Wasseman M.D. The stable isotope geochemistry of acid sulphate alterations // Econ. Geol. 1992. V. 87. P. 225–226.
 29. Savin S.M., Epstein S. The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of minerals // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1970. V. 34. P. 43–64.
 30. Sillitoe R.H. Gold metallogeny of Chile – an Introduction // Econ. Geol. 1991. V. 86, N 6. P. 1187–1205.
 31. Sillitoe R.H Styles of high-sulphidation gold, silver and copper mineralization in the porphyry and epithermal environments / G. Weber, ed. Pacrim 99 Congress, Bali, Indonesia, 1999 / Proceedings Parkville, Australian Institute of Mining and Metallurgy. 1999. P. 29–44.
 32. Sillitoe R.H., Hedenquist J. W. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions and epithermal precious-metal deposits // Giggenbach Volume, Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10. 2003. P. 1–50.
 33. Stoffregen R. Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado // Econ. Geol. 1987. V. 82. P. 1575–1591.
 34. Taylor H.P., Jr. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition // Econ. Geol. 1974. V. 69. P. 843–883.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

L.F. Mishin

Secondary quartzites and their relation to gold ore mineralization of the Svetloye deposit (Ulya trough, Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt)

Hydrothermally altered rocks and their relation to gold ore mineralization of the Svetloye deposit in the Ulya trough (western sector of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt) have been studied. The composition of the hydrothermally altered rocks and ore mineralization are evidence that this area is a characteristic representative of the acid-sulfite type deposits. The hydrothermally altered rocks of the Svetloye deposit are represented by secondary quartzites of medium-temperature type with the developed alunite and dickite facies. The upper structural level in the massif of secondary quartzites is formed by a sheet-like deposit 30 km² in areal extent, ≤ 300 m thick with a gentle (5-10°) periclinal occurrence with respect to the arcuate axis of the volcanic ridge. A number of local steep zones with a mainly keeled section, and also small in size (a few hundreds of m²) multilayered trough-shaped structures, whose bottom is 100-150 m lower than the level of the sheet-like part of the secondary quartzite deposit, have been recognized. All structures of the lower level are confined to the periclinal part of the volcanic ridge. They are marked by increased thicknesses of monoquartzites and display a smooth transition to the sheet-like part of the massif.

Secondary quartzites show symmetrical zoning. The central zone in the sheet-like part is made up of alunite quartzites, which are framed by dickite quartzites. The latter are changed downsection by hydromicaceous and hydromicaceous-montmorillonite argillizites. Monoquartzites form axial zones in the lower-stage structures. In the cloak-shaped part of the deposit, monoquartzites occur as rare lenses and interlayers of low thickness, spatially related to the local lower-stage structures.

Gold mineralization at the deposit is confined to the monoquartzites, to their porous varieties. Gold deposition occurred after quartz formation in the course of pore and cavity infilling with late colloform silica with barite, and with hypogenic jarosite.

Key words: secondary quartzites, argillizites, Au deposits, acid-sulfate type, Ulya trough, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, Russian Far East.