

МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ БЕРЕЗИТОВ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрена вертикальная метасоматическая зональность березитов на золоторудных месторождениях, представляющая интерес для понимания эволюции состава гидротермальных растворов на путях их инфильтрации, а также в практических целях – для разработки поисковых критериев скрытого оруденения.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, вертикальная метасоматическая зональность.

Метасоматиты формации березитов (или лиственито-березитов) – главные рудосопровождающие образования на золоторудных объектах большинства важнейших формационных типов: золото-кварцевого, золото-сульфидно-кварцевого, золото-мышьяковисто-сульфидного, золото-полисульфидного [2]. Исключением являются вулканогенный золото-серебряный тип, которому свойственны аргиллизиты.

В литературе имеются многочисленные описания горизонтальных (точнее – поперечно-зональных к потоку растворов) метасоматических колонок березитов и их фациальных аналогов – лиственитов, характеризующих в большинстве случаев в той или иной степени эродированные объекты. Значительно реже приводятся вертикальные (продольные) колонки, хотя они представляют интерес для понимания эволюции состава гидротерм на путях их инфильтрации, а также в практических целях – для разработки поисковых критериев скрытого оруденения.

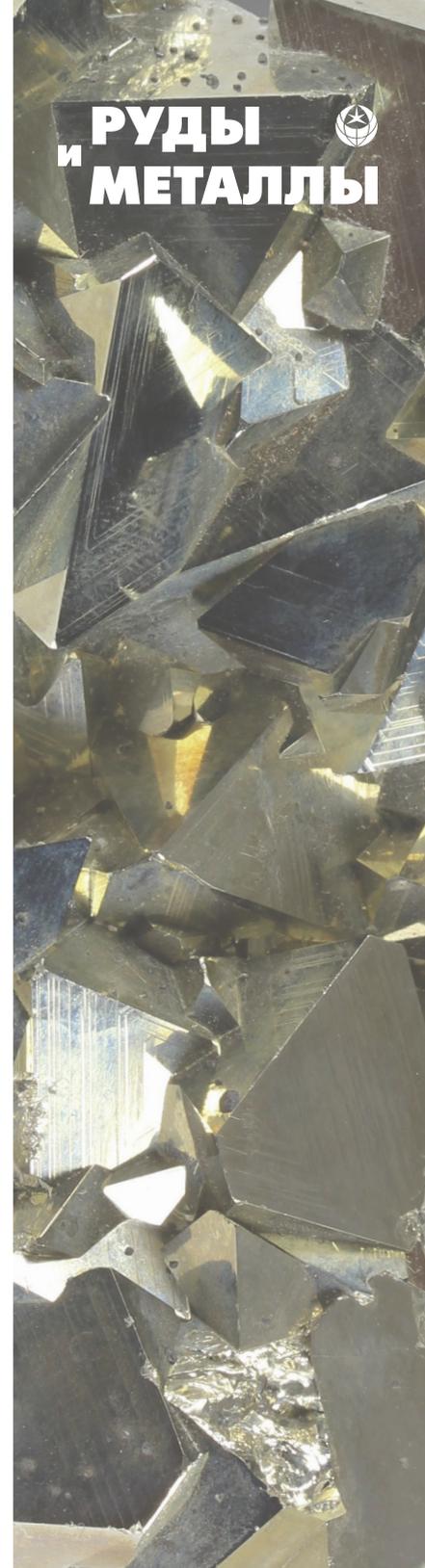
Химизм метасоматических процессов в зоне березитизации иллюстрируют следующие типовые поперечно-зональные метасоматические колонки.

Изменения в гранитах [4], зоны:

- 0) гранит: кварц, калишпат, олигоклаз, биотит, амфибол, титаномагнетит;
- 1) слабо изменённый гранит: кварц, калишпат, альбит, кальцит, хлорит, доломит, пирит;
- 2) березитизированный гранит: кварц, серицит, калишпат, анкерит, пирит;
- 3) березит: кварц, серицит, анкерит, пирит.

Изменения в диоритах [5, 6], зоны:

- 0) диорит: кварц, плагиоклаз (андезин), биотит, амфибол, титаномагнетит;
- 1) слабо изменённый диорит: кварц, альбит, хлорит, серицит, карбонат, рутил, магнетит;
- 2) березитизированный диорит: кварц, хлорит, серицит, карбонат, рутил, магнетит;
- 3) березит: кварц, серицит, карбонат (кальцит, анкерит), рутил, пирит.



**Чекваидзе
Виктор Борисович**

доктор геолого-минералогических наук
chekvaidze@rambler.ru

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



Изменения в габбро [6], зоны:

- 0) метаморфизованное габбро: плагиоклаз (№ 30–32), актинолит, биотит, эпидот;
- 1) слабо лиственитизированное габбро: альбит, хлорит, кварц, серицит, карбонат;
- 2) лиственитизированное габбро: альбит, кварц, серицит, карбонат;
- 3) лиственит: кварц, серицит (фуксит), карбонат (кальцит, доломит-анкерит).

Главная особенность поперечно-зональных колонок березитов заключается в последовательном разложении темноцветных минералов (с их хлоритизацией), а затем и полевых шпатов исходных пород с замещением их ассоциацией карбонат+кварц+серицит+пирит. Определённые вариации в строении колонок, связанные в основном с различиями в составе субстрата, проявляются в очередности замещения хлорита и альбита, альбита и калишпата, в переменности состава карбоната центральных зон (варианты: кальцит, доломит, анкерит, брейнерит и др.) и в некоторых других второстепенных признаках.

Основные черты химизма березитизации [6, 9] обусловлены постоянным выносом из пород Na и привнесом K, SiO₂, CO₂, S. Прочие из ведущих породообразующих компонентов – Mg, Fe, Ca, Si, Al – ведут себя вариативно в зависимости от состава исходных пород и PT-особенностей минерализующих растворов. При этом для Mg и Fe чаще проявляется тенденция к выносу из центральных зон березитизации.

Рассмотрим вертикальную (точнее – продольную по восстанию и воздыманию рудоконтролирующих структур) метасоматическую зональность. Анализ имеющихся данных по соотношению зон выноса и переотложения оснований позволяет наметить, по крайней мере, три типа зональных колонок: открытый глубинный, открытый близповерхностный и закрытый (экранированный).

Открытый глубинный тип зональности характеризует постепенное затухание метасоматических процессов по вертикали и смену в этом направлении центральных зон березитов промежуточными и внешними (рис. 1).

Зоны переотложения выщелоченных оснований отсутствуют или проявлены крайне ограниченно. Индикатором залегания рудоносных березитов на глубине служат зоны относительно слабых изменений березитоидного типа на поверхности. Данный тип зональности описан В.Н.Сазоновым [5] на многих золоторудных объектах Урала. Известен он и в пределах ряда других золотоносных провинций [2].

Открытый близповерхностный тип зонального ореола изменений в своём характерном виде представлен на золоторудных объектах Алханайского района Восточного Забайкалья [3]. Геологическая обстановка на Илинском, Дыбыксинском и других более мелких месторождениях определяется здесь развитием интрузий гранитоидов триасового возраста, рассечённых серией разрывных нарушений, сопряжённых с более

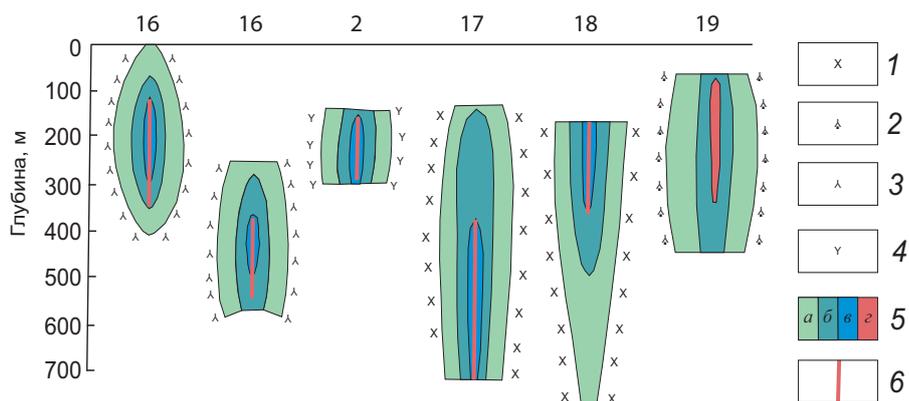


Рис. 1. СХЕМЫ ЗОНАЛЬНОСТИ ОРЕОЛОВ ЛИСТВЕНИТО-БЕРЕЗИТОВ НА НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТАХ УРАЛА, по [5] с упрощениями:

проявления: 2, 16–19; 1 – биотитовый гранит; 2 – плагиогранит; 3 – андезитовый порфирит; 4 – базальт-андезитовый порфирит; 5 – метасоматиты внешней (а), промежуточной (б), внутренней (в) зон, замещённые в существенной мере рудой (z); 6 – кварцево-рудные жилы

крупной разломной структурой (Байца-Дыбыксинской зоной). Указанные нарушения, выраженные в виде серии зон тектонических брекчий и повышенной трещиноватости в гранитоидах, контролируют размещение ореолов окolorудных изменений и золотоносных кварц-арсенопиритовых прожилков. На гранитах местами залегают юрские вулканиты умеренно кислого и среднего составов.

По данным Б.Н.Лапина, И.Н.Широких [3], в Алханайском районе развиты весьма разнообразные по формационному облику комплексы метасоматитов, которые могут быть увязаны в единую термогидроколону, по сути представляющую проявление вертикальной рудно-метасоматической зональности (рис. 2). От глубин к поверхности друг друга сменяют зоны грейзенов, березитов, гидроберезитов, аргиллизитов. Данная схема составлена авторами работы [3] по материалам картирования поверхности, открытых горных выработок и керна скважин на участке Илинского месторождения. Грейзены кварц-мусковитового состава в виде жилообразных тел среди гранитоидов и юрских вулканитов сопровождаются умеренно сульфидной золото-кварц-арсенопиритовой минерализацией. В обнажениях нередко постепенно переходят к березитам. Последним свойственна чётко выраженная поперечно-зональная колонка, которая в гранитах в обрамлении рудных тел характеризуется последовательным разложением биотита, плагиоклаза и калишпата исходных пород с замещением этих минералов в начале хлоритом, альбитом, карбонатом и серицитом, а в конечном итоге кварцем, серицитом и пиритом. В березитах локализуется жильный умеренно сульфидный золото-кварц-арсенопиритовый тип оруденения с тонкодисперсным и самородным золотом.

Гидроберезиты отличаются от березитов присутствием, наряду с серицитом, гидрослюда в тыловых зонах метасоматической колонки, в целом близкой к березитовой. Весьма сходны у них и проявления рудной минерализации.

Аргиллизиты идентифицируются при полном господстве гидрослюд среди светлых слюд в составе центральных зон метасоматических колонок. Структурно они приурочены к тем же зонам тектонических брекчий, что и гидроберезиты, но в отличие от них развиваются на самых верхних горизонтах зон.

Согласно данным изучения газовой-жидких включений, температура образования грейзенов составляла 400–420°C, березитов – 300–360°C, гидроберезитов – 300–350°C, аргиллизитов – 140–280°C. Закономерно изменялось и агрегатное состояние минералообразующей системы: в грейзенах – существенно газовое, березитах и гидроберезитах – газовой-жидкое и жидкое, аргиллизитах – жидкий раствор.

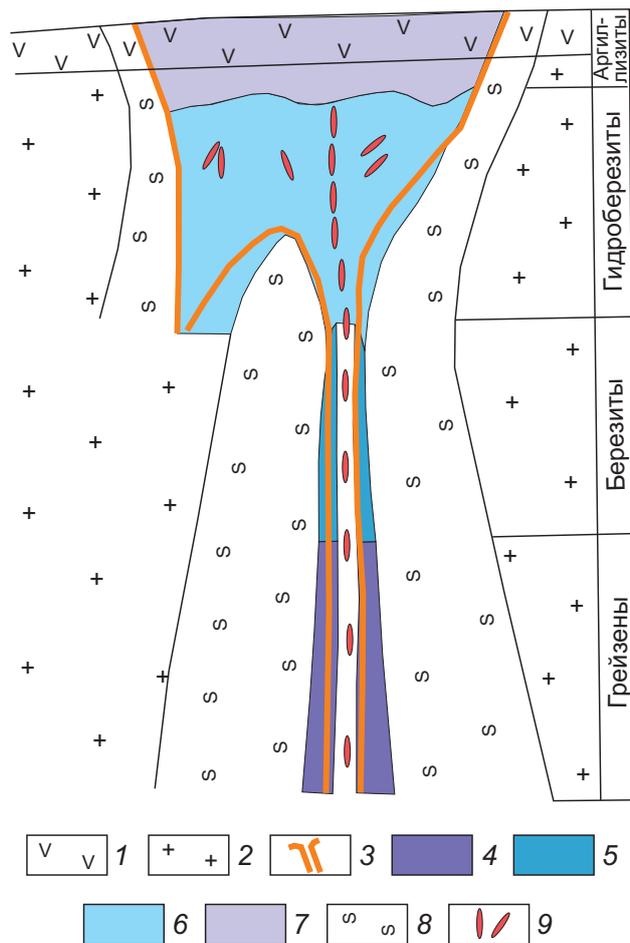


Рис. 2. СХЕМА ВЕРТИКАЛЬНОЙ МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛХАНАЙСКОГО РАЙОНА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ), по [3] с упрощениями:

1 – эффузивные породы; 2 – граниты; 3 – контуры стволовой раствороподводящей зоны; метасоматические образования: 4 – грейзены, 5 – березиты, 6 – гидроберезиты, 7 – аргиллизиты; 8 – внешние и промежуточные зоны горизонтальных колонок; 9 – золотоносные кварцевые жилы с сульфидами

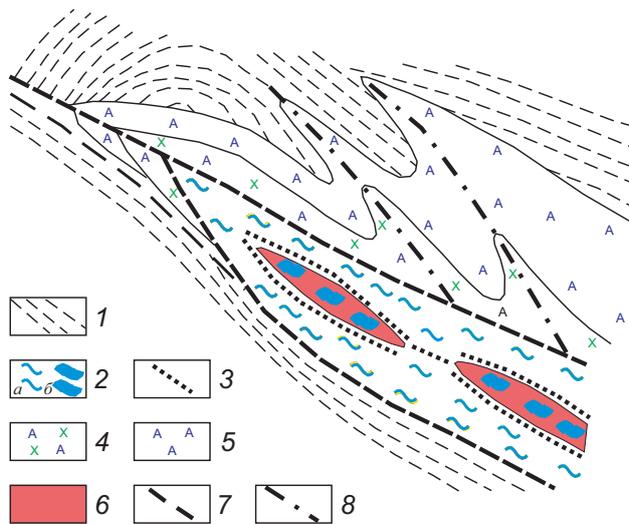


Рис. 3. СХЕМА СТРОЕНИЯ ОРЕОЛА ОКОЛОРУДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА БАКЫРЧИКСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ:

1 – вмещающие терригенные черносланцевые толщи; 2 – серицитизация умеренная и слабая (а), интенсивная (б); зоны: 3 – переотложения углеродистого вещества, 4 – хлорит-альбитового замещения, 5 – альбитизации; 6 – рудные тела; 7 – Кызыловская зона околонадвиговых дислокаций; 8 – оперяющие разломы

Закрытый тип вертикальной зональности определяет обстановку экранирования растворопроводящих структур малопроницаемыми толщами пород или какими-либо структурными элементами. На переходе к ним наблюдается переотложение оснований (Na, Mg, Fe, Ca), выщелоченных из пород в процессе березитизации. При этом наиболее типично накопление новообразований хлорита и альбита (иногда с примесью карбоната) в виде зонально построенных комплексов.

На рис. 3 представлена схема строения ореола изменений Бакырчикского месторождения (Восточный Казахстан) золото-мышьяковисто-сульфидной формации. Вмещающие углеродисто-терригенные толщи каменноугольного возраста на объекте смяты в складки и пересечены системой разломов Кызыловской зоны смятия. Последние контролируют размещение руд и основной массы околорудных существенно серицитовых метасоматитов березитоидного облика.

Висячем боку зоны дислокаций под экраном относительно слабо деформированных толщ и на выклиниваниях рудоносных структур по восстанию сформировалась зональная колонка метасоматитов осаднения оснований, выщелочен-

ных из пород на уровне березитизации. При этом нижняя зона сложена альбит-хлоритовыми, верхняя – существенно альбитовыми метасоматитами. Верхняя зона, распространяющаяся висячий бок рудоносной структуры на расстояние >700 м, может служить важным индикатором рудоносных березитов, скрытых на глубине [8].

Метасоматические образования в зонах осаднения обычно представлены системами тонких прожилков альбита и хлорита (нередко с кварцем и карбонатом), совмещённых с блоками объёмного замещения. Типично также пёстрое чередование участков преобразованных и неизменённых пород.

Вертикальную метасоматическую зональность на Васильковском месторождении (Северный Казахстан) золото-полисульфидно-кварцевой формации иллюстрирует рис. 4. Рудная зона объекта представляет собой кварц-арсенопиритовый штокверк, развитый на контакте интрузий гранодиоритов и габбродиоритов ордовик-силурийского возраста. Рудовмещающий ореол березитизации охватывает обе разности пород и характеризуется близкими по строению поперечно-зональными колонками, распространяющимися в сумме на 2–2,5 км по латерали [7]. Центральная зона состава кварц+серицит+кальцит+пирит и частично промежуточная с сохранившимся калишпатом венчаются по вертикали комплексом метасоматитов осаднения. Последний можно подразделить на нижнюю существенно хлоритовую зону и верхнюю альбит-хлоритовую (реставрация вертикальной зональности проведена на основании сопоставления различных участков, в разной степени эродированных). Интервал березитизации по вертикали достигает 800–1000 м. Комплекс зон осаднения, уменьшаясь в мощности вплоть до выклинивания, может распространяться вверх на 600–800 м.

Резюмируя приведённые данные о проявлениях вертикальной метасоматической зональности, следует отметить, что их разнотипность обусловлена, в первую очередь, наличием или отсутствием естественных экранов на путях подъёма минерализующих гидротерм. Отсутствие экранов в глубинной обстановке приводит к постепенному затуханию метасоматических процессов стадии кислотного выщелачивания [4] по вертикали без явлений переотложения компонентов (открытый глубинный тип ореолов изменений). В обста-

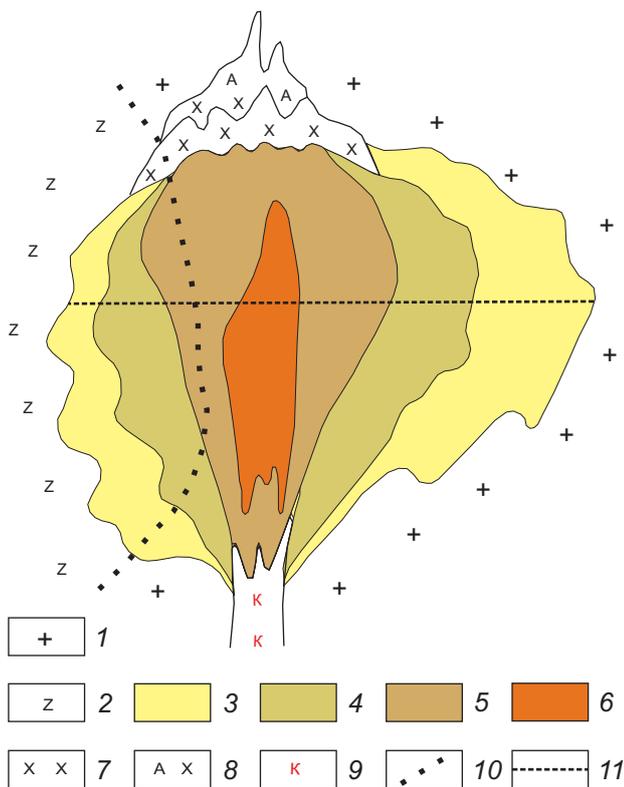


Рис. 4. ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРЕОЛА ОКОЛОРУДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ВАСИЛЬКОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ:

интрузивные породы: 1 – кислого, 2 – основного и среднего составов; зоны суммарного ореола: 3 – внешняя, 4 – промежуточная, 5 – центральная; 6 – рудная залежь; 7 – надрудная зона хлоритизации; 8 – надрудная зона хлорит-альбитового замещения; 9 – нижнерудно-подрудная зона калишпатизации; 10 – контакт интрузивных пород различного состава; 11 – современный эрозионный срез

новке приближения к поверхности в связи с нарастанием кислородного потенциала и кислотности гидротерм на фоне относительно быстрого снижения их температуры наблюдается переход березитов в аргиллизиты, что сопровождается выносом оснований за пределы зоны минералообразования (открытый приповерхностный тип ореолов). В случае экранирования растворопроводящих структур за счёт пересыщения гидротерм выносимыми щелочными и щелочно-земельными компонентами и их дифференциальной подвижности возможно формирование зон переотложения компонентов в низах экранирующих горизонтов (закрытый тип метасоматических ореолов).

Вкратце упомянем о подрудных «корневых» зонах вертикальной колонки березитов. Как таковая выше была отмечена зона калишпатитов на Васильковском месторождении. Калишпатиты местами имеют пегматоидный облик, что может свидетельствовать о приближении к контактам материнской интрузии. Для Берёзовского месторождения на Урале в аналогичной позиции находится зона альбититов [1]. Эти различия объясняются разной щелочной специализацией рудоконтролирующих гранитоидов: существенно калиевой в первом случае и натровой – во втором. К проявлениям вертикальной зональности следует отнести и зону кварц-мусковитовых грейзенов в подрудной части метасоматической колонки в Алханайском районе Забайкалья.

В зоне собственно березитов, иногда охватывающих интервал 1–2 км и более, также нередко наблюдаются те или иные изменения по вертикали. Так, на Дарасунском месторождении в Забайкалье, вскрытом до глубины ~1 км, околорудные березиты на всём этом интервале имеют сходный минеральный состав кварц+мусковит+карбонат [10]. В то же время, с глубиной хлорит внешних зон метасоматической колонки замещается эпидотом. Во внутренних зонах пирит замещается магнетитом. В том же направлении возрастает железистость карбонатов, входящих в состав внутренних зон березитов (анкерит до 250 м, пистомезит 250–600 м, сидерит >600 м), и хлоритов, слагающих их внешние зоны. По мнению авторов, причиной этих изменений являются вариации активностей серы, уголекислоты и pH, что, в свою очередь, связано со значительным палеотемпературным градиентом.

В качестве проявления вертикальной метасоматической зональности в зоне собственно березитов можно привести данные В.Н.Сазонова [6] о вариациях с глубиной соотношения карбонат/ (кварц+слюда). В направлении к поверхности возрастает относительное количество карбоната, а с приближением к ней – показатель кварц+слюда, что можно использовать как критерий оценки уровня эрозионного среза на вновь вскрываемых золоторудных объектах.

Обращаясь к практической значимости вертикальной метасоматической зональности, отметим, в первую очередь, её важность при поисках скрытого оруденения. Любая из надрудных зон метасоматической колонки закрытого типа (хло-

ритовая, альбитовая, альбит-хлоритовая и т.д.), будучи выведенной на эрозионный срез или подсечённой скважинами, может свидетельствовать о залегании на глубине зоны березитов, потенциально рудолокализирующей. Вариации состава минералов и их количественные соотношения внутри зоны березитов позволяют ориентироваться в вертикальной позиции того или иного подсечения в колонке и, соответственно, прогнозировать местоположение ожидаемого рудного тела.

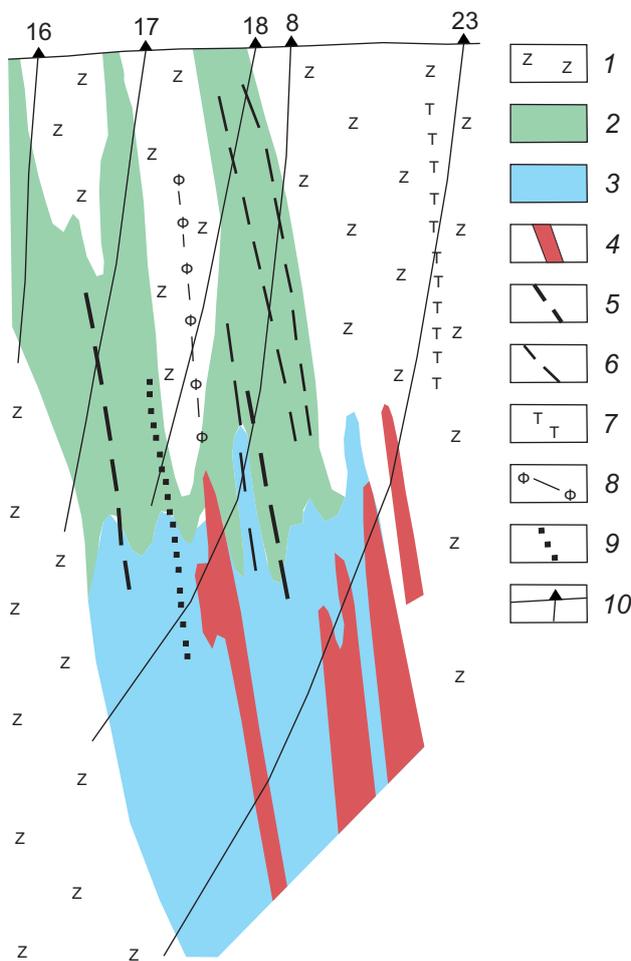


Рис. 5. МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ УЧАСТКА ШУНКУРКОЛЬ:

1 – габбродиориты; 2 – альбит-хлоритовые метасоматиты; 3 – лиственито-березиты; 4 – ореолы Au, As, Ba, V с рудными подсечениями; прожилково-вкрапленная минерализация: 5 – серого «рудного» кварца, 6 – молочно-белого кварца, 7 – турмалина, 8 – флюорита, 9 – пирита; 10 – скважины, их номера

Примером практического применения указанных критериев служит история выявления рудоносного участка Шункурколь в Васильковском рудном поле (Северный Казахстан). На этом участке в профиле структурно-поисковых скважин 16, 17, 18 (рис. 5) вскрыта серия линзо- и жиллообразных тел хлоритизированных пород габбродиоритового комплекса (аналогичного рудовмещающим образованиям Васильковского месторождения), а также кварц-альбитовых и хлорит-кварц-альбитовых метасоматитов мощностью от 1–2 до 10–15 м. Данный набор метасоматических продуктов полностью отвечает, согласно модели эталона золото-сульфидно-кварцевого оруденения, надрудному уровню рудоносных структур [7].

Таким образом, на участке была обнаружена «околорудная метасоматическая» аномалия, сопровождающаяся ореолом прожилков серого кварца, пирита, флюорита и других минералов, типичных для околорудного ореола прожилковой минерализации Васильковского месторождения. Небезынтересно отметить, что геохимические аномалии ни в одной из указанных скважин не были зафиксированы. Они появились лишь на более значительных глубинах.

Поскольку под альбит-хлоритовыми метасоматитами (зон осаждения оснований) в соответствии с моделью уместно ожидать вскрытие рудовмещающих лиственито-березитов, была задана и пробурена скв. 8, показавшая наличие на глубинах 650–850 м серии маломощных (3–5 м) зон березитов васильковского типа. По керну скважины установлены геохимические ореолы Au, As, Ba, V. Следующая скв. 23, заданная для вскрытия зон изменения на нижележащих горизонтах, выявила мощный раздув лиственито-березитов на глубинах 700–1100 м и наличие многочисленных интервалов с приближающимися к промышленным содержаниями Au. Участок считается весьма перспективным на обнаружение скрытого месторождения золото-сульфидно-кварцевого типа.

Методы практического использования метасоматических ореолов открытого типа в практике поисковых работ известны давно. Они базируются на данных об относительно широком площадном развитии внешних зон поперечно-зональных колонок на уровне гипогенного выщелачивания (березитизации) с определением вектора приближения к центральной потенциально рудовмещающей зоне. При этом, исходя из осо-

бенностей строения вертикальной колонки открытого глубинного типа, следует внимательно относиться к зонам малоинтенсивного изменения (проверять их геохимическими и геофизическими методами), так как под ними могут располагаться рудовмещающие березиты. Аналогичную индикаторную роль могут выполнять зоны гидрослюдистых аргиллизитов на объектах открытого приповерхностного типа в соответствующих геологических обстановках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголепов В.Г. Минералогические аспекты кинетики топохимических реакций замещения минералов в горных породах при метаморфизме и систематика метасоматических формаций. – Черноголовка: ИЭМ РАН, 2007.
2. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006.
3. Лапин Б.Н., Широких И.Н. Геология, метасоматизм и золотое оруденение Восточного Забайкалья (Алханайский район). – Новосибирск: Наука, 1981.
4. *Метасоматизм и метасоматические породы* / В.А.Жариков, В.Л.Русинов, А.А.Маракушев и др. – М.: Научный мир, 1998.
5. Сазонов В.Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение (на примере Урала). – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984.
6. Сазонов В.Н. Лиственитизация и оруденение. – М.: Наука, 1975.
7. Чекваидзе В.Б. Поисковая минералого-геохимическая модель золото-сульфидно-кварцевого оруденения // Советская геология. 1987. № 1. С. 15–20.
8. Чекваидзе В.Б. Сопряженные зоны гипогенного выщелачивания и осаднения на золоторудных месторождениях // Геология рудных месторождений. 1988. № 6. С. 100–104.
9. Щербань И.П. Условия образования низкотемпературных окolorудных метасоматитов (на примере Алтае-Саянской области). – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1975.
10. Щербань И.П., Дроздовская А.А., Широких И.Н. Некоторые черты вертикальной зональности березитов (на примере Дарасунского месторождения) // Проблемы вертикальной метасоматической зональности. М., 1982. С. 47–60.

VERTICAL METASOMATIC ZONATION OF GOLD DEPOSITS

V.B.Chekvaidze

The paper considers vertical metasomatic zonation of metasomatic rocks at the gold deposits of particular interest for understanding the evolution of hydrothermal solutions composition in the ways of infiltration, and for practical purposes of developing search criteria for hidden mineralization.

Keywords: gold deposits, vertical metasomatic zoning.

