

**СОЮЗ
ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ**

Обзор золотодобывающей отрасли России за 9 месяцев 2015 года ▶ 6

АУКЦИОНЫ И КОНКУРСЫ

Итоги аукционов и конкурсов на право пользования недрами с 20 сентября 2015 года по 31 декабря 2015 года. Планы проведения аукционов в январе–марте 2016 года ▶ 38

ФГУП «ВНИИОКЕАНГЕОЛОГИЯ»

Золото и другие твердые полезные ископаемые акваторий дальневосточных морей России, перспективы их изучения и освоения ▶ 118

ЗОЛОТО И ТЕХНОЛОГИИ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПЕЧАТНЫЙ ОРГАН СОЮЗА ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ | ИЗДАЕТСЯ СОВМЕСТНО С КОМПАНИЕЙ «ТОМС ИНЖИНИРИНГ»

Издание специализируется на сообщениях рекламного характера

№ 4 (30) декабрь 2015

БЕЛАЗ
BELAZ

ТОРГОВЫЙ ДОМ
БЕЛАЗ



НОВЫЙ КАРЬЕРНЫЙ САМОСВАЛ
БЕЛАЗ-75583

ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ **90 т**

С ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИЕЙ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

РЕКЛАМА

Минеральная зональность теоретической модели и природных метасоматических колонок золотоносной березитовой формации: сходство и различия



И.В. Кучеренко — доктор геолого-минералогических наук, профессор

Постановка задачи

Как иногда случается в рудной геологии, мнения, рекомендации, результаты исследований профессионалов, опирающиеся на исключающие более чем одновариантную интерпретацию, т. е. достоверные, факты остаются незамеченными ученым сообществом, и попытки некоторых или многих его представителей продолжать решать проблемы, используя ставшие очевидными неадекватные целям исследований методологии, технологии научного поиска, продолжаются десятилетиями. Удручающими иллюстрациями этого служат поучительные продолжающиеся и поныне столетия история доказательства генерации формирующих промышленные мезотермальные месторождения золота флюидов в очагах гранитной магмы [1], более чем полу-столетние истории «доказательства» местных породных источников золота, сосредоточенного в рудах месторождений, образованных в метаморфических комплексах и черных сланцах [2], целесообразности формационной типизации рудных месторождений на основе некорректных признаков — фрагментов созданного в ходе рудообразования вещества и гипотетических представлений о создавших месторождения геологических процессах [3].

К серии подобных проблем, как это не покажется странным, относится проблема минеральной зональности рудовмещающих метасоматических комплексов (подкомплексов, по номенклатуре [4]) — ореолов, колонок, для которых, в отличие от упомянутых проблем, разработана полвека назад в общих чертах воспроизведенная в эксперименте [5] теория [6], разделяемая большинством, если не всеми, специалистами настолько, что тео-

ретическая модель окорудной минеральной зональности в околожильном (околотрещинном) ее варианте считается, вероятно, не нуждающейся в подтверждении природными метасоматическими колонками, — она нередко приводится в специальной литературе как адекватная им при жестком дефиците описаний реальной, т. е. природной, метасоматической зональности [7, 8, 9 и др.].

Между тем природные метасоматические колонки с их полиминеральными осевой рудоносной кварцево-жильной и смежной тыловой (например, березитовой) зонами существенно отличаются от теоретической модели, декларирующей мономинеральный кварцевый и двухминеральный кварц-серцитовый составы внутренних зон. В течение десятилетий сохраняется парадоксальная ситуация — выделена и строго обоснована березитовая метасоматическая формация [10], а реальный минерало-химический состав давшего ей жизнь метасомата с повторяемостью, достойной лучшего применения, подменяется виртуальным следующим из теории составом, не соотносимым не только с природным метасоматитом, но и подтвержденным и в эксперименте [5]. Указания профессионалов [11],звученные в период презентации и популяризации теории метасоматической зональности, по традиции не были замечены коллегами, которые, казалось бы, должны были бы быть озабочены поиском истины. Указания заключались в том, что метасоматиты березитового профиля, образованные в том числе в Березовском золоторудном месторождении — на родине березитов в процессе и результате калиево-сернисто-углекислотного

средне-низкотемпературного метасоматизма, сложены в тыловой зоне околожильных метасоматических колонок полиминеральным березитом — агрегатом кварца, серицита, карбонатов, пирита (сульфидов). Перечисленными минералами сложены метасоматиты тыловой называемой в публикациях кварцево-серцитовой зоны колонок, в чем нетрудно убедиться в тех случаях, когда приведены химические составы пород — силикатным анализом в метасоматитах, образованных за счет исходных бессульфидных и бескарбонатных пород, например гранитов, зафиксированы восстановленная сера, углекислота [7 и др.], поступившие, очевидно, с растворами извне.

Дополнительным импульсом актуализации проблемы послужил факт недавнего использования выведенной в теории минеральной зональности для отрицания [12] принадлежности окорудных апорчносланцевых метасоматитов месторождения Сухой Лог к ранее диагностированной здесь [13] березитовой метасоматической формации по причине отсутствия в ореоле гидротермально измененных черных сланцев двух смежных кварцевой и кварц-серцитовой минеральных зон, по ошибочному мнению авторов, будто бы обязательных в березитовой метасоматической колонке магматогенных мезотермальных месторождений золота. В данном случае проблема вышла за рамки узко специальной и приобрела более объемное звучание, поскольку ситуация неопределенности использована для подтверждения популярного в среде приверженцев метаморфогенной гидротермальной гипотезы рудообразования противопоставления месторождений золота «черносланцевого типа» магма-

тогенным месторождениям, образованным в кристаллическом субстрате. Отрицание участия березитов в составе гидротермально измененных вмещающих руды пород месторождения способствует поддержанию упомянутой гипотезы. Напротив, признание окорудного апочерносланцевого метасоматита упомянутого и подобных месторождений, образованных в черных сланцах, березитом усиливало бы представление о вещественно-генетической однородности их с магматогенными месторождениями, поэтому, надо думать, в аргументации метаморфогенной гидротермальной гипотезы термин «березит» не используется.

Поскольку существуют разные представления о структуре теоретической модели, с одной стороны, и созданных природой окорудильных метасоматических колонок — с другой, существует и потребность понять причины разногласий, а следовательно, оценить содержание и полноту доказательной базы теории посредством анализа факторов, способных формировать минеральную зональность метасоматических колонок и/или влиять на ее формирование. Другими словами, требуется выяснить, какие составляющие теории адекватно описывают природный процесс и какие дополнения, поправки в теорию необходимо вносить, чтобы получить полное соответствие теоретической модели ее природному аналогу.

Объекты и методика исследования

Для решения обозначенной задачи приведены и обсуждаются материалы, раскрывающие минералого-петрохимическую зональность окорудильных (рудовмещающих) обрамляющих разломы, трещины метасоматических ореолов (колонок), образованных в возрастном диапазоне от раннего до позднего палеозоя в мезотермальных месторождениях золота, золоторудные кварцевые жилы и/или минерализованные зоны, залежи прожилково-вкрашенных сульфидно-кварцевых руд которых вмещают следующие горные породы:

- позднепалеозойские монцонитоиды (позднепалеозойское месторождение Когадыр, Южный Казахстан);
- среднепалеозойская толща карбонатно-терригенных осадочных пород (позднепалеозойское месторождение Восточное, Юго-Восточное Прибалхашье);
- раннепалеозойские гранитоиды (раннепалеозойское месторождение Центральное, Кузнецкий Алатау);
- среднекембрийская толща покровных (эффузивных) базальтоидов-андезитоидов (раннепалеозойское Берикульское месторождение, Кузнецкий Алатау);

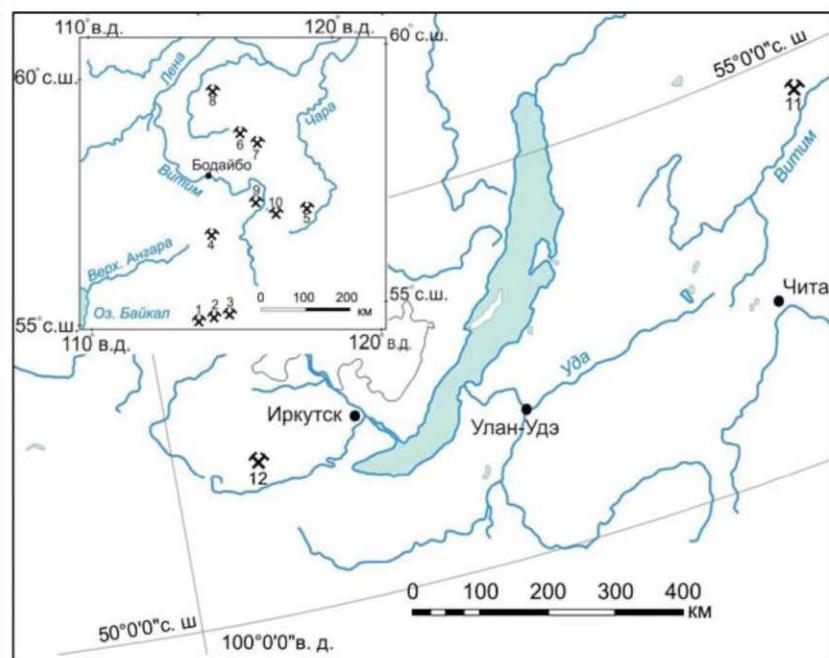


Рис. 1. Географическое положение золоторудных месторождений: 1) Западное; 2) Ирокиндинское; 3) Кедровское; 4) Богодиканское; 5) Верхне-Сакуанское; 6) Сухоложское; 7) Вернинское; 8) Чертово Корыто; 9) Карапонское; 10) Уряхское; 11) Кедровское; 12) Зун-Холбинское

- позднерифейская толща карбонатно-терригенных осадочных пород и среднепалеозойские гранитоиды (среднепалеозойское месторождение Зун-Холба, юго-восток Восточного Саяна);
- среднепалеозойские гранитоиды (среднепалеозойское месторождение Зун-Оспа, юго-восток Восточного Саяна);
- позднерифейские гранитоиды (позднепалеозойское Западное месторождение, Южно-Муйский хребет, Северное Забайкалье);
- позднерифейская толща покровных (эффузивных) дифференцированных вулканитов (позднепалеозойское Петелинское кварцево-жильное поле, Южно-Муйский хребет, Северное Забайкалье);
- ультратемпературный комплекс архейского фундамента (позднепалеозойское месторождение Ирокинда, Южно-Муйский хребет, Северное Забайкалье);
- позднерифейская толща терригенных углеродистых (черных) сланцев и позднепалеозойская зерная очагово-купольная ультратемпературная структура (позднепалеозойское Кедровское месторождение, Южно-Муйский хребет, Северное Забайкалье);
- позднепалеозойские гранитоиды и послегранитные дайки долеритов (позднепалеозойское Богодиканское месторождение, Южно-Муйский хребет, Северное Забайкалье);
- позднерифейско-вендинские и позднепалеозойские гранитоиды, позднерифейские толщи дифференцированных покровных (эффузивных) вулканитов и черных сланцев (позднепалеозойское Вернинское, Медвежье Западное и Восточное, Ленский район);
- раннепротерозойская толща черных сланцев (позднепалеозойские месторождения Сухой Лог, Вернинское, Медвежье Западное и Восточное, Ленский район);
- раннепротерозойская толща черных сланцев (среднепалеозойское месторождение Чертово Корыто, Патомское нагорье).

Отбору штуфных без признаков выветривания и без прожилков проб горных пород многоцелевого назначения массой до 1,5–2,0 кг предшествовало визуальное изучение окорудильных (рудовмещающих) метасоматических ореолов с целью оценки их объемов, возможностей отбора проб горных пород одного вида в каждой индивидуальной колонке по нормали к ее простианию и на полную ее мощность с выходом за пределы или на дальнюю периферию ореола. Расстояния между пробами зависели от реальных или предполагаемых мощностей минеральных зон, но из каждой минеральной зоны, как правило, отбиралось 2–5, иногда более проб, в том числе вблизи внешней и внутренней ее границ. Последнее обеспечило оценку распределения минера-

лов внутри каждой зоны по мере приближения к возмущающему объекту — рудной жиле, минерализованной зоне, тектоническому шву внутри нее. В толщах черных сланцев с согласным слоистости залеганием рудных жил, зон и обрамляющих (вмещающих) их метасоматических ореолов пробы подбирались из слоев с максимально близкими текстурно-структурными признаками и минералого-химическими составами. В дальнейшем при коррекции к обработке и анализу привлекались пробы, удовлетворяющие этим требованиям. Дробление проб осуществлялось вручную молотком на стальной плите без сокращения, после истирания каждой пробы на вибростриателе инструменты промывались горячей водой, чистота их проверялась белой тканью.

Диагностика видовой принадлежности минералов выполнялась автором в оптических микроскопах, определение химических составов минералов — в электронных микроскопах с рентгеноспектральным сопровождением в Аналитическом центре Института геологии и геофизики Объединенного института геологии, геофизики и минералогии, Института геологии и минералогии СО АН СССР и СО РАН. Полный силикатный химический (мокрый) анализ горных пород выполнялся в Центральной лаборатории ПГО «ЗапСибгеология» под руководством И.А. Дубровской и в Западно-Сибирском испытательном центре под руководством Г.Н. Юминовой (Новокузнецк). Результаты полных силикатных анализов пересчитаны по объемно-атомному методу, балансовые расчеты миграции петрогенных компонентов внутри метасоматических колонок выполнены для стандартного объема 1000 см³ в процентах к массе компонентов в исходных породах.

Теоретическая модель минеральной зональности окологильных (околотрешинных) метасоматических колонок березитового профиля

Разработанная академиком Д.С. Коржинским на термодинамической основе теория эндогенной метасоматической зональности [6] в околотрешинном варианте описывает метасоматические процессы, происходящие в результате внедрения горячих растворов в трещины в формирующемся трещинно-поровом породно-флюидной системе, включающей фильтрующиеся, по мнению Д.С. Коржинского, по трещинам растворы и застойные поровые растворы боковых пород. Р-Т-параметры в системе снижаются по мере удаления от трещин и при равных (данных) физико-химических режимах интенсивность преобразований горных пород в этом направлении ослабевает вплоть до полного их исчезновения.

Взаимодействие просачивающихся трещинных растворов с боковыми породами происходит посредством концентрационной диффузии компонентов из трещинных в поровые растворы и в обратном направлении.

Теория опирается на предложенное Д.С. Коржинским представление о дифференциальной подвижности компонентов, в числе которых различают наиболее подвижные (H₂O, CO₂), весьма подвижные при всех условиях (S, Cl, Na, K), подвижные при определенных условиях (O₂, Si, Mg, Ca, Fe), инертные при всех условиях (Al, P, Ti).

Возрастание термодинамических параметров в направлении к заполнившему трещину раствору сопровождается переходом компонентов в боковых породах из инертного в подвижное состояние, концентрационной диффузии их, выравниванием состава порового раствора посредством уменьшения числа сосуществующих минералов и формированием минеральных зон с числом минералов, меньшим на единицу в каждой более тыловой зоне вплоть до тыловой мономинеральной или зоны полного растворения. Межзональные границы — фронты замещения вследствие разрастания зон подвижны и обычно резкие (нитевидные). На каждом фронте, как правило, замещается один минерал вследствие разной скорости продвижения фронтов замещения разных минералов. По причине зависимости подвижности компонентов не только от термодинамических, но и физико-химических режимов возможны усложнения минеральных составов зон и минеральной зональности колонок. Так, допускается сохранение числа минералов в смежных, разделенных фронтом замещения, зонах или возрастание числа реакционных минералов в более тыловых зонах на каждом фронте замещения. Однако согласно теории эти дополнительные минералы в ходе дальнейшей диффузии компонентов в направлении трещинного флюида растворяются (замещаются) с уменьшением их числа вплоть до «мономинеральности» [6].

Для сравнения со структурой теоретической модели приведены окологильные метасоматические колонки, представленные их авторами как реально существующие (природные), изученные в конкретных месторождениях. Все они в общих чертах стремятся к согласованию с теорией метасоматической зональности, из чего должен был бы следовать вывод об адекватном описании теорией околотрешинной метасоматической зональности процессов их образования. Однако возникают вопросы, которые уместно обсудить ниже в соответствующем разделе статьи, ограничившись здесь несколькими замечаниями.

Разногласия в представлении о минеральном, а следовательно, и химическом составе березита, унаследовавшего название ручья Березового и, как отмечалось, первого в России коренного промышленного месторождения золота, существуют даже на родине метасоматита — в Березовском месторождении (Урал).

По мнению В.Н. Сазонова (1984 г.), в дайках гранит-порфиров образована следующая окологильная зональная метасоматическая колонка [14] (здесь и далее подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловых зонах):

1. Кварц, альбит, микроклин, магнетит, биотит (3–5 м от жилы);
2. Кварц, мусковит (серцит), пирит, альбит, микроклин (0,3–1,2 м);
3. Кварц, мусковит (серцит), пирит, альбит (0,1–0,3 м);
4. Кварц, мусковит (серцит), пирит (0,02–0,1 м).

В пропилитизированных диоритовых порфиритах минеральная зональность имеет следующий вид:

1. Кварц, плагиоклаз, биотит, хлорит, кальцит (2–4 м от жилы);
2. Кварц, мусковит (серцит), альбит, доломит (0,6–1,5 м);
3. Кварц, мусковит (серцит), анкерит (0,1–0,3 м).

В соседнем Кочкарском месторождении золота в плагиогранитах окологильная метасоматическая колонка включает (А.И. Грабежев) следующие минеральные зоны [14]:

1. Кварц, микроклин, олигоклаз, биотит;
2. Кварц, серцит, альбит, микроклин;
3. Кварц, серцит, альбит;
4. Кварц, серцит.

В соседних месторождениях золота Ватиха и Шайтанском в гранитах образована следующая окологильная метасоматическая колонка:

1. Кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, биотит;
2. Кварц, серцит, карбонат, альбит, микроклин;
3. Кварц, серцит, карбонат, альбит;
4. Кварц, серцит, карбонат.

Известно, что вид метасоматита, давший название метасоматической формации, как, впрочем, и всякий другой, определяется химико-минеральным составом, отличающим его от других видов. В приведенных примерах тыловая зона окологильных метасоматических колонок даже в одном Березовском месторождении сложена породами разного состава — с пиритом, без пирита, с карбонатом, без карбоната, в соседнем Кочкарском месторождении — без пирита и карбоната. При этом известно, что химико-минеральный состав метасома-

тила в тыловой зоне определяется не составом исходной породы, а преобладающим составом раствора [5, 6, 10]. Какую породу здесь следует назвать березитом — авторы колонок не поясняют. Можно предполагать, ориентируясь на автора цитированной работы, указывающего [14] на привнос в породы в процессе березитизации калия, серы, углекислоты, что березитом следовало бы назвать метасоматит, сложенный кварцем, серицитом, карбонатами, пиритом (сульфидами). Почему углекислота, сера в некоторые колонки не поступали (не поступали ли?) — не комментируется.

Следуют лишь от части теоретической модели околоврудные метасоматические колонки, образованные в гранит-порфирах, гранодиоритах, диоритах [8]:

- I. 0. Гранит-порфиры
 1. Кварц, серицит, пирит, альбит, хлорит, кальцит, ортоклаз
 2. Кварц, серицит, пирит, альбит, хлорит, кальцит
 3. Кварц, серицит, пирит, анкерит, альбит
 4. Кварц, серицит, пирит, анкерит
 5. Кварц, серицит, пирит
 6. Кварц, серицит
 7. Кварц

II. Гранодиориты

0. Кварц, ортоклаз, олигоклаз, роговая обманка, биотит, магнетит
 1. Кварц, серицит, пирит, ортоклаз, альбит, хлорит, кальцит
 2. Кварц, серицит, пирит, анкерит, ортоклаз, альбит
 3. Кварц, серицит, пирит, анкерит, ортоклаз
 4. Кварц, серицит, пирит, анкерит
 5. Кварц, серицит

III. Диориты

0. Анделезин, роговая обманка, магнетит
 1. Серицит, пирит, альбит, хлорит, кальцит
 2. Кварц, серицит, пирит, анкерит, альбит
 3. Кварц, серицит, пирит, анкерит
 4. Кварц, серицит, пирит

Представившие приведенные метасоматические колонки Г.А. Лисицына с соавторами (1963 г.) и Б.И. Омельяненко (1978 г.) авторы учебника [8] называют березитом породу, сложенную кварцем, серицитом (мусковитом), карбонатами ряда доломит-анкерит с примесью акцессорных рутила, апатита, с участием во внешних зонах хлорита (клинохлора, пленнина). Сравнительно с исходными породами березиты обогащены калием, серой, углекислотой (HCO_3). В процессе метасоматизма Ca , Fe , Mg , Na перераспределяются по зонам метасоматических колонок и удаляются из пород при усилении процесса.

Приходится констатировать, что комментарии к колонкам не соответствуют заявленным исходным посылам. В колонке I авторами указано считать березитом кварц-серицит-анкерит-пиритовую и кварц-серицит-пиритовую породы (зоны 4, 5), в колонке II — также кварц-серицит-анкерит-пиритовую и смежную, но кварц-серицитовую породы (зоны 4, 5).

Метасоматиты разного состава названы одним термином — березит. Они слагают тыловую зону (колонка II), но и промежуточные зоны 4, 5 (колонка I), при этом в тыловой зоне последней и в колонке III соответственно кварц-серицитовая и кварц-серицит-пиритовая породы не названы. Мы имеем здесь дело с неприемлемым в учебнике хаотичным представлением даже в одном авторском коллективе о том, что такое березит и какое место он занимает в окологильной метасоматической зональности.

Для иллюстрации с учебными целями подтверждения природными метасоматическими колонками теоретической модели колонки II, III подобраны неудачно. Хотя они и подчеркивают снижение на единицу числа метасоматических минеральных фаз от одной зоны к другой, тыловая зона в них сложена не мономинеральной, а полиминеральной породой. Противоречит теории исчезновение минералов исходных пород не по одному от зоны к зоне, а пачками, по принципу «оверштаг все вдруг» и смежная с исходной породой зона сложена только метасоматическими минералами. В природных колонках подобное более чем маловероятно.

В работе [9] березитом названа метасоматическая порода, сложенная кварцем, серицитом, анкеритом, пиритом и образованная во внутренней зоне метасоматических колонок. Кроме анкерита допускается присутствие других карбонатов. Во внутренних зонах встречаются также бескарбонатные кварц-серицитовые и другие разности. Считается, что бескарбонатные кварц-серицитовые метасоматиты образуются в кислых магматических породах (аплитах, лейкогранитах), обедненных магнием и кальцием.

Ведущую тенденцию метасоматических изменений гранитов, по мнению авторов [9], выражает следующая метасоматическая зональность:

1. Гранит — кварц, калиевый полевой шпат, олигоклаз, биотит, амфибол, титаномагнетит;
2. Слабо измененный гранит — кварц, калиевый полевой шпат, серицит, пирит, альбит, кальцит, хлорит, доломит;
3. Березитизированный гранит — кварц, серицит, анкерит, пирит, калиевый полевой шпат;
4. Березит — кварц, серицит, пирит, анкерит;

5. Кварц, серицит, пирит;
6. Внутренняя зона полного окварцевания, наблюдается редко.

В данном случае повторяется мнение об одновременном растворении многих (четырех), в том числе ведущих, минералов исходной породы. Порода при этом остается слабоизмененной. То и другое маловероятно.

Окологильная метасоматическая колонка в массиве гранодиоритов, вмещающем Центральное мезотермальное кварцево-жильное месторождение золота в Кузнецком Алатау, включает следующие минеральные зоны [7]:

1. Кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, хлорит, магнетит;
2. Кварц, пирит, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, хлорит;
3. Кварц, серицит, пирит, анкерит, калиевый полевой шпат, плагиоклаз;
4. Кварц, серицит, пирит, анкерит, калиевый полевой шпат;
5. Кварц, серицит, пирит, анкерит;
6. Кварц, мусковит, пирит;
7. Кварц, мусковит;
8. Кварц.

По приведенным авторами данным силикатного химического анализа в смежной с золоторудной кварцевой жилой зоне 7 метасоматит содержит 0,90 мас. % восстановленной серы, 0,30 мас. % углекислоты (CO_2). Это означает, что в породе, кроме указанных кварца и мусковита, присутствуют карбонат и сульфид и, следовательно, описанная колонка в согласии с теорией во внутренних зонах соответствует теоретической модели, но не отвечает колонке, созданной природой.

В публикациях, в том числе в приведенных примерах, содержащих информацию о минеральной зональности околоврудных метасоматических колонок березитового профиля, как правило, отсутствуют результаты химических силикатных анализов метасоматитов, гидротермально измененных и исходных при метасоматизме горных пород, а также балансовых расчетов, обеспечивающих количественную оценку масштабов и направленности межзональной миграции петrogenных компонентов в процессах образования околоврудных метасоматических ореолов. Это исключает не только количественную оценку миграции, но и возможность получить достоверную информацию о минеральном составе минерало-петрохимических зон, диагностика которого чрезвычайно трудоемка и сложна, особенно когда речь идет о реликтах трудно диагностируемых минералов, которые умеют надежно маскироваться в мелкотонкозернистой массе метасоматических минералов. Последнее можно видеть на одном из приведенных при-

меров — углекислота, сера в породах есть, а карбонатов, сульфидов нет. При отсутствии химических анализов горных пород, а иногда, как мы видели, и при их наличии просматривается устойчивая тенденция некоторых авторов публикаций всецело доверяться теории и не быть «чрезмерно» скрупулезными в попытках сверить природные колонки с теоретической их моделью.

Вероятно, в этом заключается причина разногласий в квалификации тыловой смежной с рудоносной кварцевой жилой зоной как мономинеральной зоны окварцевания, или двухминеральной кварц-серицитовой, или полиминеральной кварц-серицит-карбонат-пиритовой (березитовой) зоны, или той, и другой, и третьей, каждая из которых образуется в разных термодинамических и физико-химических условиях, т. е. имеет право на существование. Чтобы устранить разногласия, следовательно, усилить корректность теории околожильной (околотрещинной, околовразломной) метасоматической зональности, требуется систематическое детальное изучение устройства созданных природой метасоматических колонок, что предполагает в свою очередь устранение существующего дефицита описаний результатов их изучения и возможность более корректных обобщений.

Авторский опыт такого исследования на примере ряда золотоносных метасоматических колонок приведен ниже. Поскольку зоны метасоматических колонок — минералого-петрохимические, формирующиеся в режиме синхронных изменений минерального и химического составов минералов и горных пород, технология исследования включает методы, перечисленные выше.

Типовая модель минералого-петрохимической зональности околоврудных (рудовмещающих) метасоматических колонок березитового профиля в мезотермальных месторождениях золота

■ В горных породах разного состава, возраста и происхождения изученных мезотермальных месторождений золота повторяются порядок минералого-петрохимической зональности и с незначительными вариациями минеральные составы минералого-петрохимических зон околовильных и/или вмещающих рудные зоны метасоматических колонок при значительных различиях их мощности. Последняя определяется степенью проницаемости горных пород — от первых десятков метров в массивных гранитоидах, ультраметаморфитах до многих сотен метров, редко более в зонах дробления, рассланцевания. Мощность минералого-петрохимических зон увеличивается от тыловой (от сантиметра до 1,5 м) до наиболее крупнообъемной

фронтальной. Типовая метасоматическая колонка включает следующие минералого-петрохимические зоны (табл. 1).

В обладающих повышенной проницаемостью дробленых, рассланцованных породах, в частности и часто в толщах черных сланцев, порядок минералогопетрохимической зональности усложняется — зоны в разных сочетаниях неоднократно чередуются в разрезе метасоматических колонок, повторяются две-три смежные зоны в объеме фронтальной. При этом, как правило, более тыловые зоны наиболее интенсивных в конкретных сочетаниях изменений обрамляют тектонические швы. Обычная мощность зон в подобных чередованиях измеряется от доли сантиметра до многих метров, например, в месторождениях «черносланцевого» типа Кедровском, Чертово Корыто, Сухой Лог, Вернинском и др.

Границы метасоматических колонок в обрамлении рассредоточенных на значительных расстояниях золоторудных кварцевых жил или вмещающих рудные зоны залежи прожилково-вкрашенных руд всегда постепенные и выражены в появлении начальных признаков изменений — слабой серпентинизации пластики, образования каемок минералов хлоритовой группы в кристаллах цветных минералов исходных пород — биотита, роговой обманки, пироксенов, альбита в кристаллах пластики. В обрамлении соседних близко расположенных (до сотен метров) рудных тел метасоматические колонки фронтальными или хлоритовыми зонами сливаются, образуя единый ореол околоврудных изменений.

Во фронтальной зоне объемы минеральных новообразований увеличиваются в сумме до 30 об. % в направлении к внутренней границе зоны, которая фиксируется полным растворением цветных минералов исходных пород или в глубоко вскрытых метасоматических колонках новообразованных минералов ряда актинолит-тремолит. В числе метасоматических минералов среди бескарбонатных и бессульфидных исходных пород иногда можно встретить кальцит в ассоциации с микрозернами цоизита, хлорита, пирит, в черных сланцах — прожилки порошковатого керогена состава от антрацита до кокса. Примесь тонкозернистых агрегатов метасоматического кварца в срастаниях с чешуйчатыми агрегатами серицита и в сочетании с другими метасоматическими минералами сообщает породам элементы гранолепидобластовой, лепидогранобластовой структуры.

В смежной с фронтальной хлоритовой (эпидот-хлоритовой, эпидотовой) зоне в числе метасоматических цветных минералов преобладают магнези-

ально-железистые хлориты (рипидолит, брунсвигит, пеннин), минералы эпидотовой группы охотно образуются преимущественно в породах, содержащих основные плагиоклазы. В направлении к внутренней границе зоны объемы тех и/или других минералов лавинообразно нарастают с увеличением их железистоти и магнезиальности. Наиболее четко эта ситуация выражена в изменении составов минералов эпидотовой группы. Так, «оспенные» выделения в плагиоклазах цоизита размером до сотых-первых десятых долей мм в поперечнике разрастаются, образуя полные псевдоморфозы, при этом замещаются по сеткам микротрещин клиноцоизитом и далее в полном объеме псевдоморфоз-эпидотом. В свою очередь хлориты замещаются чешуйками серицита-мусковита, унаследовавшего реликтовые лейкоксен, рутил. Кальцит замещается доломитом, железистым доломитом, последние иногда обнаруживают тенденцию к разрастанию до размеров порфировидных ромбозёдров. Усиливается серицитизация плагиоклазов, но, как правило, с сохранением контуров их кристаллов и реликтов полисинтетических двойников внутри скоплений серицита. Одновременно продолжается раскисление плагиоклазов, каемки альбита остаются чистыми. Увеличение объема новообразованных минералов в зоне сопровождается преобладанием гранолепидобластовой, лепидогранобластовой структурой над реликтовыми структурами исходных пород. Внутренняя граница зоны бывает резкой (нитевидной) и постепенной. В последнем случае переходная зона достигает ширины 2–3 см.

В альбитовой зоне цветные метасоматические минералы полностью растворены, а порода сложена кварцем, серицитом, карбонатами, включая магнезиально-железистые, альбитом в переменных количественных соотношениях, с примесью реликтовых и новообразованных рутила, лейкоксена, апатита, пирита (сульфидов), реликтов керогена. Структура породы мелкозернистая (доли мм), гранолепидобластовая, лепидогранобластовая с элементами порфиробластовой ромбоэдры карбонатов размером до 1–3 мм в поперечнике рассредоточены в основной массе породы.

Апачерносланцевый метасоматит этой и тыловой зон освещен частично до серого или светло-серого цвета (рис. 2). Иногда в этой зоне можно встретить реликты калиевого полевого шпата исходных пород, сильно пелитизированного. Постепенное уменьшение числа микрокристаллов альбита на переходе в тыловую зону отражает постепенные переходы между зонами.

Тыловая (березитовая) зона образует оторочки в зальбандах золоторудных кварцевых жил, серии субпараллельных зон в сложном чередовании со смежными альбитовой и хлоритовой зонами в структурах оперения раствороподводящих разломов преимущественно среди черных сланцев, в толщах последних — также залежи мощностью до 10–12 м светло-серых до белых березитов и березитоидов (березитов с альбитом) с прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой золотоносной минерализацией. В черных сланцах позднерифейской кедровской свиты на Безымянном участке Кедровского месторождения, например, вскрыта залежь типа «слоенного пирога» мощностью 220 м (табл. 2, с. 112), в которой чередуются три зонырудовмещающей метасоматической колонки — хлоритовая, альбитовая, тыловая в обрамлении фронтальной зоны. Залежь выполняет мощную зону рассланцевания. Вместе с тем многочисленные золоторудные кварцевые жилы и золотоносные прожилки в черных сланцах этого и других месторождений, в которых диагностированы березиты (Каралонское, Уряхское, Чертово Корыто, Сухой Лог, Вернинское), не сопровождаются березитами и освещением (окислением) керогена.

В 35 метасоматических колонках 12 изученных разновозрастных месторождений березит сложен мелкозернистым (десятие доли мм) агрегатом серого, светло-серого цвета, приобретающим массивную текстуру также в черных сланцах. Ведущие по занимаемому в породе объему минералы — кварц, серицит, магнезиально-железистые карбонаты, пирит при дефиците в исходных породах и отсутствии привноса в колонку извне щелочно-земельных металлов взамен магнезиально-железистых карбонатов — кальцит. Объемы каждого из перечисленных минералов изменяются в интервале нескольких десятков процентов вследствие неравномерного их распределения. Обычные примеси — реликтовые и новообразованные за счет внешних источников элементов рутил, лейкоксен, апатит, магнетит, как правило, среди черных сланцев кероген, в обрамлении рудных столбов сульфиды, всегда — золото, серебро, ртуть в повышенных против кларков концентрациях. В апочерносланцевом березите нередко сохраняются тени былой полосчатости керогена в тех случаях, когда он окислен не полностью.

Чуткий индикатор кислотно-щелочного режима поровых растворов кварц присутствует в породе в качестве реликтового минерала исходных пород и образованного в процессе метасоматизма. В первом случае ксеноморфные кристаллы кварца по размерам, конфи-

Минерало-петрохимические зоны	Минеральный состав
Фронтальная	Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит ± пирит ± кальцит + альбит ± кероген ± хлориты ± цоизит ± актинолит ± tremolit
Хлоритовая (эпидот-хлоритовая, эпидотовая)	Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± доломит + альбит ± кероген ± хлориты ± цоизит ± клиноцизит ± эпидот
Альбитовая	Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± доломит-анкерит ± сидерит ± апатит ± кероген + альбит
Тыловая	Кварц + серицит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± кальцит ± анкерит ± сидерит ± брейнерит ± апатит ± кероген

Табл. 1. Минерало-петрохимическая зональность околоврудных метасоматических ореолов (колонок) мезотермальных месторождений золота, образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловых зонах)

Примечание: индивидуальные метасоматические колонки описаны в [2, 15, 16] и в следующих публикациях автора. Кучеренко И. В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР, 1987, Т. 293, № 2, – с. 443–447. Кучеренко И. В., Пракоффев В. Ю. Минерало-петрохимическая зональность околоврудного метасоматического ореола золотого месторождения Зун-Оспа (Восточный Саян) // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири. – Томск: ТПУ, 2000 г., – с. 158–165. Кучеренко И. В. и др. Петролого-геохимические чертырудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корыто (Латомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета, 2008 г., Т. 312, № 1, – с. 11–20. Кучеренко И. В. и др. Петролого-геохимические черты околоврудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околоврудного метасоматизма // Известия Томского политехнического университета, 2012 г., Т. 320, № 1, – с. 28–37. Кучеренко И. В. и др. Петролого-геохимические черты околоврудного метасоматизма в Вернинском золоторудном месторождении (Ленский район) // Известия Томского политехнического университета, 2012 г., Т. 321, № 1, – с. 22–33.

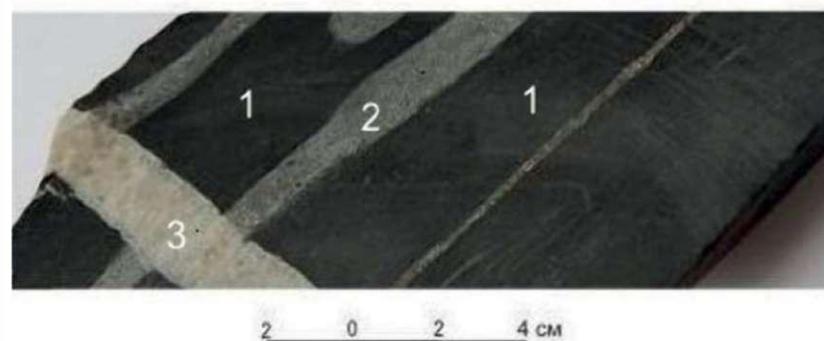


Рис. 2. Участок Медвежий Западный. Околорудные (рудовмещающие) апочерносланцевые гидротермальные метасоматиты: углеродистый кварц-карбонат-серицитовый гранолепидобластовый агрегат апоаргиллитового метасоматита — серицитолита (1). Умеренно осветленные объемы образцов керна скважин сложены березитом тыловой зоны метасоматической колонки в составе разновозрастного (до 1 мм) лепидогранобластового агрегата кварца, карбонатов, серицита, пирита, керогена в переменных количественных соотношениях (2). Породы пересекаются поздними пирит-карбонат-кварцевыми прожилками (3)

гурации узнаваемы в березите и исходной породе, например, овальные порфировые его выделения в березите и гранит-порфире, срастания крупных не свойственных метасоматическому кварцу кристаллов, аналогичные таким в граните, окатанные разобщенные зерна (микрогальки) кварца в березите и узнаваемые в песчанике и т. д.

Метасоматический кварц образует зерна, их скопления с «лапчатыми» формами, заливообразными внедрениями одних в другие, микропрожилки, микролинзы, насыщенные микрокристаллами вездесущего пирита, «пламеневые» ксеноморфные микрокристаллы, образующие венчики вокруг метакристаллов пирита, ориентированы нормально к их граням, иногда в срастании с подобными зернами карбонатов или чешуйками хлорита.

Калиевая слюда-мусковит присутствует обычно в мелкочешуйчатой форме серицита, скопления которого заполняют былье кристаллы плагиоклазов в срастании с кварцем, карбонатами или без них, в форме рассеянных в породе бессистемно ориентированных чешуек или образующих субпараллельные извилистые полоски, наследовавшие полосчатость исходных черных сланцев. Метасоматический серицит отличается от чистых пластинок серицита-мусковита, образованного в черных сланцах на предшествующем метасоматизму этапа рудообразования этапе регионального метаморфизма нагревания в составе мусковит-биотитового парагенезиса, «загрязненностью» оксидами титана — рутилом и лейкоксеном — продуктами связывания в них металла, высвобождаемого в результате рас-

Минерало-петрохимические зоны, (число проб)	Коэффициенты распределения (привноса>1, выноса<1) элементов в минерало-петрохимических зонах околоврудных метасоматических колонок															Δ	
	Si	Al	K	Na	S*	C_{Kb}	Ca	Mg	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Ti	Mn	P	H ⁺	O		
Петелинское кварцево-жильное поле																	
1. Покровные кварцевые порфириты келянской свиты (R_3 , 5 проб)																	
X(4)	1,0	1,0	0,9	1,0	2,3	3,0	0,8	0,6	0,8	1,0	0,9	1,1	0,9	0,7	1,0	3,3	
A*(6)	1,1	1,0	1,1	0,9	2,4	4,6	0,6	0,5	0,8	0,4	0,9	0,7	0,6	0,6	1,0	6,8	
A***(3)	0,8	1,1	2,1	0,5	3,4	17	1,7	2,6	1,8	0,8	1,3	1,7	1,6	1,7	1,0	20,3	
2. Покровные базальтовые порфириты келянской свиты (R_3 , 2 пробы)																	
X(4)	0,9	0,9	1,6	0,9	2,2	16	0,7	0,8	1,0	0,4	0,9	0,7	0,8	0,8	1,0	11,1	
A(2)	0,8	0,8	3,3	0,6	38	25	0,8	0,6	1,5	0,5	1,8	1,2	4,2	1,0	1,1	23,9	
T(1)	0,6	0,9	5,2	0,1	19	29	1,4	0,8	0,9	0,6	0,8	0,8	0,5	2,3	1,1	29,4	
Кедровское месторождение																	
Углеродистые мусковит-биотитовые полевошпат-кварцевые песчано-алевро-сланцы кедровской свиты (R_3 , 10 проб), залежь метасоматитов типа «слоенного пирога», мощность 220 м																	
$\Phi(4)$	1,0	1,1	1,3	0,8	—	1,9	0,9	1,5	1,4	1,5	1,1	0,9	1,2	1,3	1,0	6,2	
X(51)	0,9	1,0	0,9	0,7	62	8,7	1,9	1,8	1,5	1,0	1,2	1,7	0,6	1,9	1,0	8,1	
A(73)	1,0	1,0	1,1	0,8	67	13	1,9	1,0	1,3	0,7	1,0	1,5	0,4	1,3	1,0	6,6	
T(8)	0,9	1,0	1,5	0,1	128	20	3,4	1,9	1,3	1,0	1,4	1,8	1,3	1,9	1,0	16,2	
Западное месторождение																	
Габбро муйского комплекса (R_3 , 6 проб)																	
X(3)	0,9	0,9	1,2	1,1	1,0	17	1,0	0,5	1,1	0,7	0,9	0,9	0,9	1,3	1,0	8,6	
A(1)	0,9	0,9	2,6	1,3	0,7	31	0,8	0,4	1,0	0,2	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	14,0	
T(1)	0,8	1,0	6,7	0,1	1,7	42	1,2	0,8	1,2	0,2	1,1	0,8	0,7	1,5	1,1	23,5	
Берикульское месторождение																	
Покровные базальтовые порфириты берикульской свиты (ϵ_1 , 1 проба)																	
A(1)	0,8	1,0	3,2	0,2	4,5	4,9	0,6	1,6	—	1,6	1,1	1,2	1,2	14	1,0	21	
T(1)	0,8	1,0	6,6	0,1	117	11,5	1,1	0,8	—	0,7	1,0	2,0	1,2	10	1,0	21	
Покровные андезитовые порфириты берикульской свиты (ϵ_1 , 1 проба)																	
X(1)	0,9	0,8	0,5	0,7	0,2	7,5	2,2	2,1	1,0	1,9	1,0	0,8	1,0	1,6	1,0	13	
A(1)	0,7	0,8	2,2	0,04	2,3	20	3,1	0,3	0,3	0,8	1,0	2,0	0,8	1,6	0,9	28	
T(1)	0,7	0,8	2,3	0,04	7,2	25	2,5	1,2	0,6	1,4	1,0	1,8	0,9	0,9	1,0	25	
Аплит, дайка (PZ_1 , 1 проба)																	
X(1)	1,0	1,0	1,3	0,7	0,6	0,8	1,0	0,3	1,2	0,3	1,1	0,8	0,1	2,8	1,0	3,6	
T(1)	1,0	1,0	1,2	0,05	15	2,6	2,7	0,5	0,5	2,4	1,0	0,8	0,2	5,0	1,0	12,8	
Долерит, дайка (PZ_1 , 1 проба)																	
X(1)	1,0	1,0	0,8	1,2	1,1	0,9	1,0	1,2	1,1	0,5	1,0	1,1	1,3	0,7	1,0	4,0	
A(1)	0,9	1,0	1,7	0,5	0,4	2,9	1,3	0,8	0,6	1,4	1,0	0,6	1,2	0,6	1,0	10,8	
T(1)	0,9	1,0	2,1	0,1	8,5	4,1	1,2	1,0	0,6	0,6	1,1	0,7	1,3	0,5	1,0	15,1	

Табл. 2. Результаты балансовых расчетов миграции петрогенных компонентов в процессах метасоматических преобразований горных пород в мезотермальных месторождениях золота Южной Сибири

Примечание: 1) Минерало-петрохимические зоны околоврудных метасоматических ореолов (колонок) фронтальная (Φ), хлоритовая (X), альбитовая слабого (A^*) и интенсивного (A^{**}) изменения, тыловая (T); 2) S^* — сера восстановленная; 3) C_{Kb} — углерод углекислотный; 4) Δ — удельная масса перемещенного (сумма привнесенного и вынесенного) вещества в отношении к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 1000 см³.

творения цветных минералов исходных пород — пироксенов, роговой обманки, биотита. Сначала оба минерала концентрируются в замещающих последнее минералах хлоритовой группы, при дальнейшем замещении хлоритов мусковитом «поселяются» в нем.

В исходных бескарбонатных породах метасоматические карбонаты образованы во всех минерало-петрохимических зонах метасоматических колонок, а объемы их увеличиваются в каждой более тыловой зоне от незначительной примеси во фронтальной зоне до нескольких десятков процентов в тыловой. В карбонатсодержащих черных сланцах некоторых свит с незначительным или умеренным (до 10–20 об. %)

содержанием сингенетичных карбонатов, образованных на этапе седиментации, этот тренд сохраняется, в породах со значительным количеством карбонатов — не выражен. В периферийных зонах метасоматических колонок, как правило, присутствует кальцит, во внутренних (альбитовой, тыловой) преобладают магнезиально-железистые карбонаты. Последние обнаруживают тенденцию кристаллизоваться в форме более или менее правильных ромбоэдров и увеличивать размеры кристаллов до 3–5 мм в поперечнике в тыловой зоне. Кристаллы нередко «недоразвиты», имеют пойкилитовое строение, а сравнительно крупные их размеры в мелко-зернистой «ткани» породы сообщают ей порфиробластовую структуру в сочета-

нии с лепидогранобластовой, гранолепидобластовой.

В отличие от периферийных фронтальной, хлоритовой (эпидот-хлоритовой, эпидотовой) зон кероген в метасоматитах внутренних (альбитовой, тыловой) зон окислен, в тыловой зоне в большей степени, лишь с незначительными реликтами, в смежной альбитовой зоне — в меньшей, с осветлением породы до серого цвета.

Минеральные составы периферийных (фронтальной, хлоритовой, эпидотовой, эпидот-хлоритовой) зон околоврудных, рудовмещающих (в черных сланцах) метасоматических колонок и внутренних (альбитовой, тыловой) зон,

отвечающие соответственно пропилитам и березитам, дают основание квалифицировать вслед за В.А. Жариковым [17] сочетание во всех метасоматических колонках двух одноименных метасоматических формаций, характерное также для скарнов, грейзенов, аргиллизитов.

Синхронное возрастанию степени изменений минеральных составов горных пород в направлении от фронтальной зоны к тыловой усиление интенсивности преобразований их химических составов получило выражение на количественной основе в предложенном автором ранее [16] интегральном показателе Δ — удельной массе перемещенного (сумме привнесенного и вынесенного) вещества (табл. 2).

Величина этого аддитивного показателя определяется двумя факторами — степенью неравномерности распределения химических элементов в горных породах и миграцией их (привносом, выносом) при метасоматизме.

Для оценки первой составляющей показателя в плутонических и покровных (эффузивных) вулканических породах одного вида (гранитах, габбро, базальтах и др.) за пределами околоврудных метасоматических ореолов и в каждой из минералого-петрохимической зоны подбирались серия внеореольных и внутризональных проб массой 1 кг каждая. Судя по химическим силикатным анализам отдельных проб не затронутых изменениями пород они отличаются сравнительно равномерным распределением химических элементов. Необходимость составления внутризональных серий диктовалась разной степенью равномерности/неравномерности распределения химических элементов в породах каждой минералого-петрохимической зоны, о чем можно судить по «разбросу» их содержаний в породах. Аналогичные серии составлялись также из нескольких проб в одноименных породах с весьма неравномерным распределением химических элементов, например в полосчатых ультраметаморфитах (гнейсах, кристаллосланцах, мигматитах с разным объемом лейкосомы). В каждой серии одна пробы с наиболее отличными от других проб содержаниями химических элементов выполняла функцию исходной породы.

Выполненные для каждой серии балансовые расчеты несуществующей в отсутствие гидротермальных изменений «миграции» химических элементов показали величину Δ для магматических пород 2–3 %, для ультраметаморфических — 5–6 %. В каждой из минеральных зон величина показателя не поднимается, как правило, выше 10 %, в отдельных случаях 15 %. Однако в

зонах на нее влияет не только неравномерность распределения элементов в исходных породах, но и реальная миграция их (вторая составляющая Δ) внутри каждой зоны в процессе метасоматизма, особенно в направлениях, нормальных к простирианию зон. Пока не удалось определить долю той и другой составляющей Δ .

Приведенными данными автор руководствовался при оценке межзоноальной миграции совокупности петрогенных элементов в околоврудных метасоматических колонках.

Для количественной оценки межзоноальной миграции отдельных химических элементов величина коэффициента их распределения от 1,1 и более (привнос), 0,9 и менее (вынос) учитывается как признак реальной миграции каждого элемента при наличии тренда, т. е. увеличения или уменьшения коэффициента в более тыловых зонах околоврудных метасоматических колонок.

В приведенных и всех других [2, 15, 16, 18, 19 и др.] колонках показатель Δ последовательно увеличивается от одной зоны к другой от процентов в периферийных зонах до 25–29 % в тыловой, нередко достигая в последней 40–50 % [2].

В оценке межзоноальной миграции химических элементов, определяющих петрохимический профиль метасоматизма, нет проблем — они поступают в околотрещинное пространство в количествах, в разы, а то и в десятки раз превышающих исходные, удаляются из боковых пород с коэффициентом выноса до 0,04 (табл. 2). Профильные элементы — окисленный (углекислотный) углерод, восстановленная сера, калий, натрий, кремнезем. Первые три поступают в околотрещинное пространство, последних два удаляются в трещинные растворы. Наибольшая масса поступающих элементов переходит в инертное состояние, т. е. фиксируется в образующихся минералах, в непосредственных экзоконтактах заполненных растворами трещин на расстояниях десятков сантиметров от контактов (в пределе на полную мощность тыловой зоны — до 1,5 м среди пород с высокой проницаемостью). В смежной альбитовой зоне масса осевших элементов заметно снижается, иногда элементы перераспределяются между зонами в соответствии с градиентами концентраций [18], в том числе со снижением их содержаний ниже исходных.

Из трех поступающих элементов наибольшей активностью обладает углекислота (CO_2) — она проникает в хлоритовую и даже фронтальную зоны с увеличением массы в приведенных колонках в первую до 17 раз, в перифе-

рийной до 1,9 раза. Сравнительно с углеродом в меньших количествах поступает и более сложно между зонами колонок распределена сера, но во всех случаях она концентрируется в тыловой зоне в количествах, до 128 раз превышающих исходные, в других колонках [2] — до тысяч раз. В некоторых колонках ее содержание повышается до 2–3 раз, в других снижается. В отличие от других петрогенных элементов сера отличается наибольшей неравномерностью распределения. Содержание калия во всех колонках сравнительно умеренно возрастает до 6–7 раз.

Натрий удаляется из околотрещинного пространства (тыловой зоны) почти полностью с коэффициентом выноса, как отмечалось, до 0,04, в меньшей степени из смежной альбитовой зоны (до 0,2–0,5), еще в меньшей степени из хлоритовой зоны (до 0,7, но иногда до 0,15 [2]), еще в меньшей степени из фронтальной зоны (до 0,8, но иногда до 0,45 [2]). В некоторых колонках содержание Na остается на уровнях, близких к исходным или незначительно повышается. Кремний удаляется из боковых пород не всегда, в приведенных колонках до 0,6, в других — до 0,5 при чаще фиксируемой величине коэффициента выноса 0,3–0,5 [2].

Устойчивого тренда привноса-выноса других компонентов в большинстве метасоматических колонок балансовыми расчетами не зафиксировано. Зафиксировано межзоноальное перераспределение этих компонентов внутри метасоматических колонок, большей частью незначительное, иногда заметное.

Помимо трех петрогенных компонентов (K, S, CO_2), определяющих свойственный процессу березитизации [11] калиево-сернисто-углекислотный профиль околоврудного метасоматизма, в ближнем обрамлении (до 1,5 км) рудоконтролирующих и раствороподводящих глубинных разломов в окологильные и апочерносланцевые рудовмещающие метасоматические колонки с металлоносными флюидами поступает группа элементов фемофильной ассоциации — P, Ti, Ca, Mg, Fe, Mn [2, 15]. Они образуют контрастные аномалии в тыловой березитовой и смежной альбитовой зонах с содержаниями, на сотни, а то и многие сотни процентов превышающими такие в исходных породах, причем содержания их, максимальные в экзоконтактах рудоносных кварцевых жил осевой зоны колонок, постепенно снижаются по мере удаления от жил вплоть до клярковых на внешней границе альбитовой зоны, иногда внутри смежной более внешней хлоритовой зоны. Эти данные дополняют факт аутентичного снижения концентраций P, Ti в окологильных березитах и Ti в пирите бере-

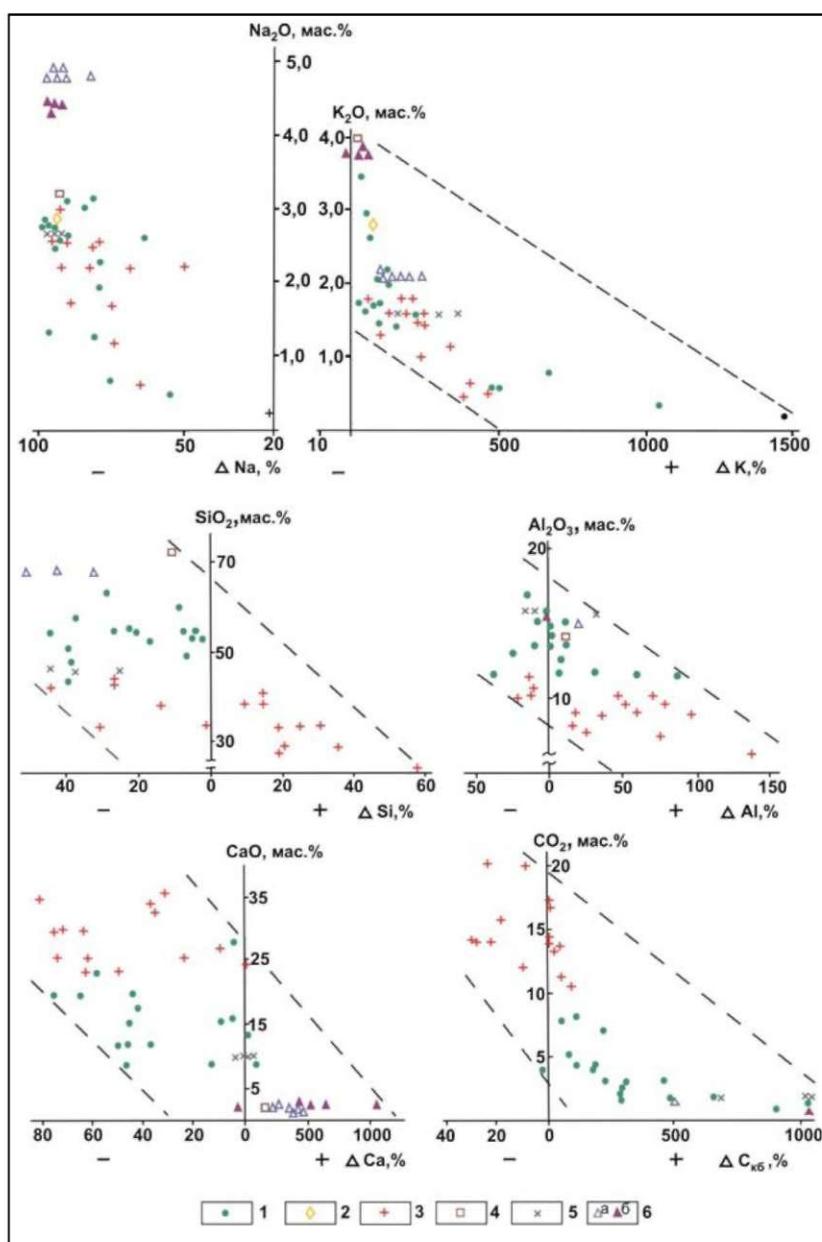


Рис. 3. Распределение петрогенных элементов во фронтальной (нулевой) и тыловой зонах окологильных метасоматических ореолов Ирокиндинского месторождения. По оси ординат — содержание компонентов в исходных породах О-й зоны и подзоны слабого изменения фронтальной зоны ореолов, по оси абсцисс — атомные количества привноса (+), выноса (-) элементов в березите и листвените тыловой зоны в процентах к атомным количествам их в исходных породах в стандартном геометрическом объеме 10 000 Å³. Одна фигуристическая точка представляет индивидуальную метасоматическую колонку во фронтальной и тыловой зонах, ее координаты рассчитаны на основе объемно-атомного метода петрохимических пересчетов как среднее из 2–5 проб в каждой зоне. 1, 2 — гнейсы, 3 — кальцифир, 4 — гранит, 5 — амфиболит, 6 — дайки гранит-порфира

зитов, обрамляющих сменяющие одна другую промышленные золоторудные жилы по мере удаления от растворо-подводящей Келянской зоны глубинных разломов вплоть до кларковых на расстояние до 1,5 км (Кучеренко И.В. // Доклады АН СССР, 1987 г. — Т. 293. — № 2, — С. 443–447). Вместе с тем эти факты, подчеркивающие петрохимическое своеобразие базальтовых магм, дополняют доказательства генерации золотоносных флюидов в очагах умеренно щелочных базальтовых расплавов [2, 15].

Во всех метасоматических колонках изученных месторождений кварц-серicitовая (бескарбонатная и/или бесплитовая) зона не обнаружена, в том числе там, где она, согласно теории, должна быть — в экзоконтактах рудоносных кварцевых жил. Тыловая зона метасоматических колонок на полную мощность сложена кварц-серicit-карбонат-пиритовым с минералами-примесями (табл. 1, с. 111) агрегатом — полнопроявленным березитом. В свою очередь предписываемая теорией метасоматической зональности еще

более внутренняя мономинеральная зона окварцевания присутствует во всем своем великолепии в форме кварцевых жил выполнения трещин, однако в рудных месторождениях последние не бывают мономинеральными (исключая, может быть, жилы гранулированного кварца, но другого происхождения), иначе они не были бы рудоносными. Поскольку тыловая зона — березитовая, кварцево-жильную зону метасоматических колонок целесообразно именовать осевой.

Обсуждение и выводы

Известно, что Д.С. Коржинский доказал концентрационно-диффузионный механизм массопереноса в процессах эндогенного окологильного метасоматизма результатами изучения распределения элементов-примесей в метасоматических минералах переменного состава [6].

Это же на породном уровне доказано результатами балансовых расчетов миграции петрогенных компонентов в 37 окологильных метасоматических колонках Ирокиндинского месторождения с использованием полных химических силикатных анализов 632 проб горных пород [18] (рис. 3). Установлен вынос компонентов из горных пород в случае превышения индивидуального для каждого компонента уровня содержания в исходных породах и привнос в горные породы в случае содержания ниже этого уровня. В этих фактах выражен закон концентрационной диффузии — миграция вещества из области высоких его концентраций в область низких. Вместе с тем существуют многочисленные факты, доказывающие застойный гидродинамический режим всей трещинно-поровой системы, включая заполнивший трещины раствор — высокие, до граммов в 1 т породы, содержания золота в березите в смежных с рудными столбами участках жил и низкие (до десятков мг/т) — в экзоконтактах жил, смежных с низкими или непромышленными содержаниями металла в них. Представление о консервации заполнявших трещины металлоносных флюидов вполне согласуется также с обычным образованием рудных жил в «слепых» оперяющих растворо-подводящие разломы структурах, не выходивших во время рудообразования на дневную поверхность и не способных обеспечить фильтрацию (миграцию) флюидов.

Приведенные материалы свидетельствуют о встречной, из порового флюида в трещинный и из трещинного в поровый, диффузии компонентов в условиях окологильного (околоразломного) метасоматизма. Жизнеспособность концепции дифференциальной подвижности компонентов выражена в минералого-петрохи-

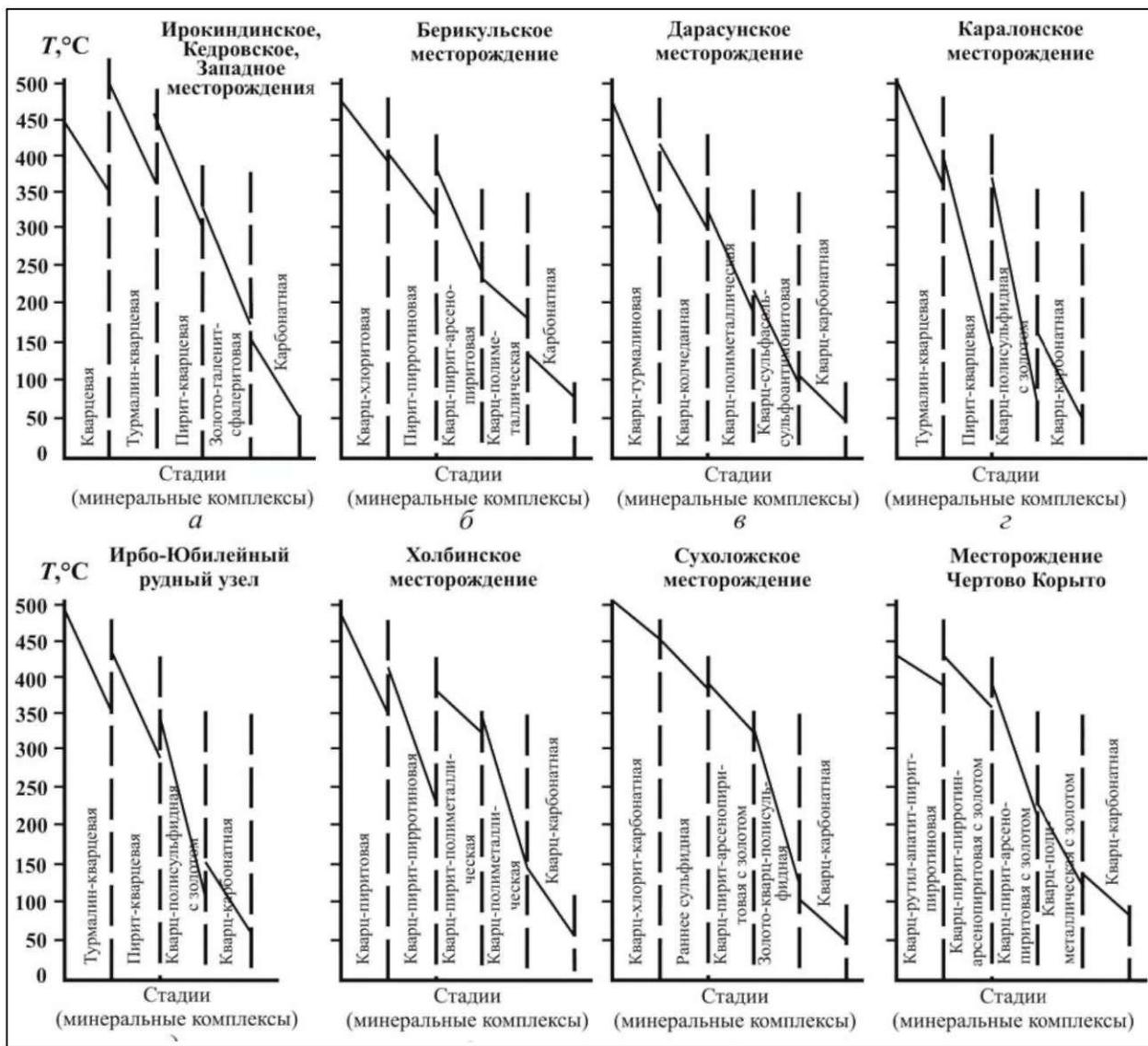


Рис. 4. Температурные режимы минералообразования в золоторудных месторождениях [21, 22]

нической зональности околотрецинных метасоматических колонок — снижении числа минеральных фаз, как правило, на единицу в каждой более тыловой зоне. Как отмечалось, на внутренней границе фронтальной зоны растворяются в глубоко вскрытых колонках новообразованный актинолит (тремолит) или цветной минерал исходной породы, иногда два на близких расстояниях, хлоритовой или эпидотовой зоны — хлорит (эпидот), хлорит-эпидотовой зоны — тот и другой на близких расстояниях, альбитовой зоны — альбит. Переходящие при этом из инертного в подвижное состояние элементы частично, как кремний, или почти полностью, как натрий, диффундируют в трещинный раствор, соответственно расходуются на образование кварцевых жил или удаляются с трещинным раствором из системы во время очередного импульса тектонических деформаций, либо, судя по результатам балансовых расчетов, возвращаются в инертное состояние — фиксируют-

ся в образующихся минералах. Остающаяся в тыловой зоне примесь натрия входит в состав серицита. Однако на этом тренд обрывается — на внутренней границе тыловой зоны, где последнюю, согласно теории, должна сменить кварц-серицитовая с пиритом зона, а карбонаты растворяются, формируется кварцевая жила, как можно полагать, за счет кремнезема, вынесенного из внутренних зон метасоматической колонки. Карбонаты и сульфиды присутствуют не только в тыловой зоне, но и в кварцевой жиле, причем ранние, например, черный кальцит, пирит, арсенопирит, отложенные из самой ранней порции растворов в составе раннего рудно-минерального комплекса.

Образование зоны окварцевания, кварц-серицитовой с пиритом и без внутренних зон околотрецинных метасоматических колонок препятствует диффузия компонентов из трещинных растворов в поровые, значительные масштабы которой оцениваются

результатами балансовых расчетов (табл. 2, с. 112). Кроме профильных K, S, CO₂ в обрамлении рудоконтролирующих через раствороподводящую функцию глубинных разломов во внутренние (тыловую и альбитовую) зоны метасоматических колонок поступают, как отмечалось, в значительных количествах (Ti, P до 3–4 мас. %) фемофильтные элементы. Поступающие дополнительные их массы, как правило, не преодолевают пределы этих зон и фиксируются в них, в большей степени в тыловой, в меньшей в альбитовой, в рутиле, лейкоксене (показателях окисленной среды), апатите, щелочно-земельные металлы — в карбонатах.

Очевидно, в этих условиях следующая из теории «мономинеральность» тыловой зоны, возможно, за редкими исключениями, без которых, как известно, не бывает правил, невозможна. Общее правило — смежная с рудоносной кварцевой жилой тыловая зона околотрецинных метасоматических

колонок березитового профиля должна быть полиминеральной и таковой фиксируется в мезотермальных месторождениях золота, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате. Наблюдаемое нередко отклонение от теории — постепенные переходы («размытые» границы) между минералого-петрохимическими зонами околовильных метасоматических колонок, вероятно, есть следствие встречной, из поровых растворов в трещинные и в обратном направлении одновременной диффузии компонентов.

Второй усложняющий обусловленную дифференциальной подвижностью компонентов минералого-петрохимическую зональность околовильных метасоматических колонок фактор — пульсационный режим функционирования породно-флюидных рудообразующих систем при том, что теория минеральной зональности разработана для эволюционного режима — непрерывного истечения горячих флюидов из очага их генерации — магматической камеры.

Со времен автора пульсационной концепции академика С.С. Смирнова (1947 г.) накоплены вполне достоверные факты, доказывающие порционное поступление флюидов в область рудообразования. В их числе: 1) описанная академиком А.Г. Бетехтиным (1953 г.) повторяющаяся последовательность отложения в каждом сменяющем один другой во времени рудно-минеральном комплексе оксидов, сульфидов, карбонатов — вещественное свидетельство смены физико-химических режимов (в частности, кислотности-щелочности) в каждой порции флюидов; 2) существенное (до 100° С) возрастание температуры кристаллизации ранних зарождений кварца каждого последующего комплекса сравнительно с температурами отложения поздних зарождений кварца каждого предшествующего комплекса (рис. 4, с. 115); 3) чередование во времени внедрений силикатных расплавов и металлоносных флюидов в область рудообразования подобно тому, как это происходит в современных гидротермальных системах в районах современной вулканической деятельности и др.

Обусловленное пространственным совмещением рудно-минеральных комплексов — производных последовательных порций металлоносных флюидов усложнение минералого-петрохимической зональности выражено преимущественно в рудовмещающих метасоматических колонках — рудных зонах, сложенных метасоматитами с прожилково-вкрашенной сульфидно-кварцевой минерализацией и в рудоносных кварцевых жилах, наиболее подверженных дроблению и периодическому подновлению путей движения металлоносных флюидов. Судя по обычному дефициту

рудной минерализации в метасоматических колонках, сложенных более или менее массивными метасоматитами в околовильном пространстве, они также подвержены воздействию поступающих порциями металлоносных флюидов, выраженному в создании посредством концентрационной диффузии аддитивных геохимических ореолов внутри метасоматических колонок и накоплении аномальных концентраций золота, серебра, ртути и других сопровождающих золото металлов в обрамлении жил — в тыловой, в меньшей степени альбитовой зонах [2, 19]. Концентрации металлов в более внешней хлоритовой (эпидотовой) зоне, как правило, приближаются к кларковым, во фронтальной зоне — отвечают кларковым. Прямая корреляция максимальной степени преобразования горных пород и максимальных уровней накопления металлов, K, S, CO₂ и фемоильных элементов свидетельствуют о синхронном образовании руд, окорудных метасоматических и геохимических ореолов в результате воздействия последовательно сменявших одна другую порций металлоносных флюидов в течение всего времени функционирования гидротермальных систем.

Свойственное окорудным метасоматическим колонкам, образованным в кристаллическом субстрате, сочетание метасоматитов березитовой формации во внутренних зонах и пропилитовой — в периферийных [17], характерное и для других метасоматических формаций (скарновой, грейзеновой, аргиллизитовой), не вызывает вопросов на предмет оценки происхождения пропилитов в одном с березитами магматогенным метасоматическим процессе. Гидротермальные изменения черных сланцев, вмещающих промышленные, в том числе уникальное (Сухой Лог), месторождения золота, традиционно относятся к производным регионального метаморфизма гидратации фации зеленых сланцев, представленным биотит-хлоритовой, хлорит-серicitовой, альбит-серicit-карбонатной, кварц-серicit-карбонат-пиритовой и другими субфациями с различными сочетаниями перечисленных минералов, которыми сложены метасоматиты и пропилитовой, березитовой формаций, образованных в кристаллическом субстрате. После исключения из классификатора метаморфических фаций пумпеллитовой и цеолитовой фаций [4] зеленосланцевая фация приобрела статус наиболее низкотемпературной из оставшихся. Кварц-серicit-карбонатная с пиритом порода — березит в кристаллических породах, в черных сланцах идентифицируется с субфацией зеленосланцевой фации.

В решении вопроса о метаморфическом или магматогенном метасоматическом происхождении гидротермальных изменений черных сланцев в мес-

торождениях золота следует учитывать следующие факты:

- локальное вдоль разломов на мощность до 1–2 км развитие гидротермальных процессов, фиксируемое в месторождениях золота «черносланцевого» типа, не свойственно региональному метаморфизму нагревания, но специфично для зеленосланцевой фации (метаморфизма гидратации);
- в месторождениях золота «черносланцевого» типа Кедровском [2, 15, 19], Карапонском [16], Чертово Корыто, Сухой Лог, Вернинском (публикации автора в примечании к табл. 1, с. 111) описаны полные зональные апочерносланцевые рудовмещающие пропилит-березитовые метасоматические колонки, аутентичные таковым, образованным в кристаллическом субстрате. Некоторым особенностям окорудных гидротермальных изменений черных сланцев даны опирающиеся на эмпирические факты объяснения, приведенные в цитируемых публикациях автора.

Например, обычная особенность, которая заключается в отсутствии оторочек березита в зальбандах многих (но не всех) золоторудных кварцевых жил и многочисленных прожилков в черных сланцах, при том что в тех же месторождениях (Кедровском, Карапонском, Уржакском) соседние одновозрастные по данным радиологических определений и ряда других признаков с упомянутыми жилы и прожилки, но залегающие в прорывающих толщи черных сланцев штоках магматических пород (гранитов, кварцевых диоритов, габбро), оторочены зональными метасоматическими колонками с березитом в тыловой зоне. Очевидно, речь должна идти не о глубоких геолого-генетических различиях в образовании (магматогенном, метаморфогенном) оруденения в той и другой среде, сопровождаемого и не сопровождаемого березитами, а всего лишь о влиянии локального фактора — специфическом воздействии керогена сланцев на развитие метасоматического процесса. Березиты образуются при сопровождаемом окислением керогена воздействии на черные сланцы металлоносных флюидов, обладающих окислительной реакцией. Кероген создает в черных сланцах сильную восстановительную среду. Обладающие в этих условиях большей частью восстановительным режимом металлоносные флюиды также создают золоторудные кварцевые жилы и прожилки, но без березитового обрамления и как следствие осветления черных сланцев.

Другая особенность. В месторождении Чертово Корыто апочерносланцевые березиты образованы в существен-

но кварцевых бескарбонатных песчаниках с незначительной примесью (до 10 об. %) полевых шпатов (публикация в примечании к табл. 1, с. 111). Содержание Mg-Fe-карбонатов в березите до 70 об. %. Это означает, что проблему пространства природа решила посредством растворения кварца в сопоставимых с карбонатами объемах и балансовыми расчетами миграции SiO_2 , это подтверждено — из 1 м³ черных сланцев было вынесено посредством диффузии около 800 кг SiO_2 . Вынос мог осуществиться при двух условиях: поступившие извне трещинные металлоносные флюиды были стерильны в отношении SiO_2 и обладали щелочной реакцией, поскольку в кислых растворах кварц нерастворим. В результате последующей инверсии щелочного режима трещинно-поровых растворов в кислотном кремнезем кристаллизовался, кварц выполнял мощные (до 4,5 м) жилы и многочисленные прожилки, в черных сланцах формировались мощные (до 1,5 м) зоны березитов в чередовании с альбитовой и хлоритовой зонами при общей мощности внутренних (березитовой и альбитовой) зон до 12 м. Отсюда очевиден вывод — при березитизации возможен вариант раннего взаимодействия с породами не только кислотных растворов, как это принято в теории, но и щелочных. По причине ничтожного в данном случае содержания в сланцах полевых шпатов данное в [20] объяснение подвижности (миграции, выноса из пород) высвобождаемого из полевых шпатов кремнезема при кислотном выщелачивании его метастабильностью неприемлемо.

Представление об отсутствии березитов в рудовмещающих толщах черных сланцев, пропагандируемое в течение десятилетий многочисленными сторонниками гипотезы метаморфогенного образования месторождений золота в черных сланцах, — это долгоиграющий миф, поддерживаемый по причине отсутствия контраргументов и фактов, способных опровергнуть их образование.

Это один из классических, в том числе описанных ранее [1, 2, 3], примеров того, как «неудобные» достоверные, многократно проверенные повторяющиеся факты, противоречащие концепции (гипотезе), не «замечаются» ее сторонниками и не участвуют в дискуссии. К сожалению, такова реальность в рудной геологии — человеческий фактор работает в полную силу.

Вещественно-генетическая однородность воплощенного в окорудных метасоматических колонках ансамбля минералого-петрохимических зон в разновозрастных мезотермальных месторождениях золота подчеркивается обра-

зованием его в разнообразном по составам и происхождению, включая черносланцевый, субстрате и доказывается:

- единичным во всех породах порядком минералого-петрохимической зональности окорудных метасоматических колонок;
- единичным петрохимическим профилем метасоматизма;
- единичным во всем объеме метасоматических колонок межзональным вплоть до фронтальной зоны трендом встречной, из порового раствора в трещинный и в обратном направлении, концентрационной диффузии петрогенных компонентов и направленной из трещинного раствора в поровый — золота и сопровождающих металлов;
- поступлением извне в область метасоматизма и рудообразования не только профильных K, S, CO_2 , но и фемофильных элементов базальтогенной ассоциации в обрамлении

глубинных рудоконтролирующих, раствороподводящих разломов и фиксацией их контрастных аномалий во внутренних зонах окорудных метасоматических колонок, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате.

В соответствии с приведенными фактами противопоставлять мезотермальные месторождения золота той и другой совокупности по происхождению окорудно гидротермально измененных пород [12 и др.] некорректно.

Вместе с тем накопленные данные в их согласованном сочетании [1, 2 и др.] свидетельствуют об образовании месторождений обеих совокупностей по одному написанному природой сценарию в составе многофазных гранит-диорит-долеритовых флюидно-рудно-магматических комплексов на позднем базальтогенном этапе их функционирования. ♦

- 
1. Кучеренко И.В. Реконструкция золотоподицирующей способности силикатных расплавов как основа петрологического и петрохимического прогнозно-поисковых критериев оценки территории на золото // Золото и технологии, 2013 г., № 2 (20), — С. 70–80.
 2. Кучеренко И.В. Реконструкция геологической истории металлов как средство оценки донорского потенциала ультраметаморфических комплексов и черных сланцев в образовании месторождений золота // Золото и технологии, 2014 г., № 1 (23), — С. 104–115.
 3. Кучеренко И.В. Формационный метод в геологии золота: итоги и перспективы реализации в генетических и металлогенических исследованиях // Золото и технологии, 2015 г., № 1 (27), — С. 108–120.
 4. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / под ред. О.А. Богатикова, О.В. Петрова, Л.Н. Шарпенка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008 г., — 200 с.
 5. Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М., Наука, 1989 г., — 344 с.
 6. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. М., Наука, 1982 г., — 104 с.
 7. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И., Ворошилов В.Г., Номоконова Г.Г., Пшеничкин А.Я., Тимкин Т.В. Рудно-метасоматическая и геохимическая зональность золоторудных полей и месторождений складчатых поясов Сибири. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013 г., — 458 с.
 8. Афанасьева М.А., Бардина Н.Ю., Богатиков О.А., Вишневская И.И., Гаврилова В.Н., Гаврилова С.П., Гурова М.Н., Коваленко В.И., Кононкова Н.Н., Липчанская Л.Н., Наумов В.Б., Попов В.С., Чернов В.И., Шарков Е.В., Юрченсон Б.П., Ярмолюк В.В. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород: Учебник / под. ред. В.С. Попова, О.А. Богатикова. М.: Логос, 2001 г., — 768 с.
 9. Жариков В.А., Русинов В.Л., Маракушев А.А., Зарайский Г.П., Омельяненко Б.И., Перцев Н.Н., Расс И.Т., Андреева О.В., Абрамов С.С., Подлесский К.В. Метасоматизм и метасоматические породы. М.: Научный мир, 1998 г., — 492 с.
 10. Жариков В.А., Омельяненко Б.И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1978 г., — С. 9–28.
 11. Бородавский Н.И., Шер С.Д. Об окорудных изменениях в месторождениях золота // Труды ЦНИГРИ, 1967 г., вып. 76, — С. 113–126.
 12. Русинов В.Л., Русинова В.Л., Кряжев С.Л., Щегольков Ю.В., Алышев З.И., Борисовский С.Е. Окорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе // Геология рудных месторождений, 2008 г., т. 50, № 1, — С. 3–46.
 13. Шер С.Д. Окорудные изменения, сопутствующие золото-кварцевым жилам в Ленском золотоносном районе // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании / под ред. Н.И. Наковника. М.: Недра, 1966 г., — С. 282–291.
 14. Грязнов О.Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992 г., — 253 с.
 15. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu. Femophilic elements in wallrock metasomatites and in ores of mesothermal gold deposits — newsletter of mantle deep // International Journal of applied and fundamental research, 2011 г., № 1, — р. 37–43.
 16. Кучеренко И.В. Петрографические особенности рудообразования в черных сланцах // Разведка и охрана недр, 1986г., № 12, — С. 24–28.
 17. Жариков В.А. Некоторые закономерности метасоматических процессов // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании / под. ред. Н.И. Наковника. М.: Недра, 1966 г., — С. 47–63.
 18. Кучеренко И.В. Гидродинамика трещинно-поровых флюидно-породных взаимодействий и механизмы массопереноса в процессах окорудо-трещинного гидротермального метасоматизма // Разведка и охрана недр, 2010 г., № 11, — С. 37–43.
 19. Кучеренко И.В. Петролого-геохимические свидетельства геолого-генетической однородности гидротермальных месторождений золота, образованных в черносланцевом несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета, 2007 г., т. 311, № 1, — с. 25–35.
 20. Зарайский Г.П. Условия неравновесного окварцевания пород и образования кварцевых жил при кислотном метасоматизме // Геология рудных месторождений, 1999 г., т. 41, № 4, — с. 294–307.
 21. Кучеренко И.В. Магматогенное золотое оруденение в структурах допалеозойской складчатости (на примере южного обрамления Сибирской платформы). Т. I. Руды, окорудные метасоматические и геохимические ореолы: Дис. ... докт. геол.-минер. наук. Томск, 1991 г., — 431 с.
 22. Вагина (Синкина) Е.А. Минеральные комплексы и генезис месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье): Дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2012 г., — 141 с.