

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.242.4:544.034.2

ЭМПИРИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА КОНЦЕНТРАЦИОННО-ДИФФУЗИОННОГО МЕХАНИЗМА МАССОПЕРЕНОСА В ПРОЦЕССАХ ОКОЛОТРЕЩИННОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО МЕТАСОМАТИЗМА

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

Рассмотрено состояние актуальной для совершенствования теории проблемы флюидно-породных взаимодействий в процессах эндогенного пороодо-, рудообразования и, в частности, гидродинамических режимов и механизмов массопереноса при около-трещинном метасоматизме. Обращено внимание на отсутствие эмпирических, получаемых в природных объектах данных, необходимых для оценки соответствия результатов выполняемых с неизбежными допусками теоретических расчетов, экспериментов, моделирования ходу и результатам функционирования в обсуждаемом аспекте природных гидротермальных систем как доказательства корректности выводов.

Предположение о сохранении во вмещающих месторождения породных признаков гидродинамических режимов трещинно-поровых и флюидно-породных взаимодействий подтвердилось обнаружением явления закономерной миграции в процессе околотрещинного гидротермального метасоматизма петро- и рудогенных элементов в контрастно дифференцированном по минералого-химическому составу архейском мигматит-гнейсовом субстрате Муйского выступа фундамента, вмещающем золото-кварцевые жилы позднепалеозойского Ирокиндинского месторождения. Закономерность заключается в том, что при формировании тыловых зон околожилных метасоматических ореолов (березитов, березитоидов, лиственитов) петрогенные химические элементы (Si, Al, K, S, Ca, Fe) перемещены из пород с высокими их содержаниями в породы с низкими или пониженными, то есть в направлении выравнивания концентраций, что служит доказательством концентрационно-диффузионного механизма массопереноса. Рудогенными элементами, в том числе Au, Ag, As, Hg и др., а также фемофильными элементами (P, Ti, Mg, Fe) обогащены тыловые зоны ореолов, а в направлении к фронтальной зоне содержания их снижаются вплоть до кларковых на периферии ореолов. Это свидетельствует о диффузии элементов из обогащенных ими поступавших извне металлоносных трещинных растворов в поровые. По приведенным и ряду других признаков доказываемый застойный (малоподвижный) гидродинамический режим в системе трещинный раствор – поровый раствор.

Подтверждены результаты теоретических (Д.С. Коржинский) и экспериментальных (Г.П. Зарайский и др.) исследований, согласно которым при околотрещинном гидротермальном метасоматизме реализуется концентрационно-диффузионный механизм массопереноса. Из анализа эмпирических данных также следует вывод о фильтрации трещинных растворов со скоростью, сопоставимой с диффузией.

Ключевые слова:

Поровый раствор, трещинный раствор, гидродинамический режим, концентрационно-диффузионный механизм массопереноса.

Key words:

Porous solution, fracture solution, hydrodynamic regime, concentration-diffusion mechanism of mass transfer.

Постановка задачи

Бестрещинное образование рудных жил, воспроизведенное в экспериментах [1], в процессах природного гидротермального минералообразования реализуется, по-видимому, достаточно редко. Известны доказательства того, что рудовмещающие и сопутствующие трещины образуются до внедрения флюидов на этапах предрудной структурной подготовки гидротермального рудообразования и, как наиболее проницаемые структуры, служат преобладающими путями подъема и движения флюидных потоков. Универсальные рудообразующие системы в верхних их частях, то есть в объемах

формирующихся месторождений, включают горные породы, гидравлически связанные разломно-трещинные (далее – трещинные) и поровые флюиды. Гидродинамика трещинно-поровых флюидных взаимодействий и механизмы массообмена в таких системах относятся к числу трудно решаемых проблем в рудной геологии. Трудности, как можно полагать, обусловлены рядом причин.

В гидротермальных месторождениях существуют многообразные соотношения высоко-, умеренно-, малопроницаемых горных пород между собой и с раствороподводящими разломами, вследствие чего во время рудообразования при прочих равных

условиях в разных частях одного месторождения могут возникать разные гидродинамические ситуации, определяющие механизмы массопереноса.

Многовариантны изменения во времени и пространстве проницаемости пород и руд, фазовых состояний и давлений поровых и трещинных флюидов, в том числе по причине порционного внедрения последних, от начала процессов до их завершения.

Известны разные механизмы массопереноса, например, в случае диффузии растворенного вещества, – концентрационной, турбулентной, термо-, электро-, бародиффузии, капиллярно-пленочного переноса и пр. с разными и изменяющимися соотношениями механизмов транспорта вещества в конкретных природных ситуациях.

Гидродинамические аспекты некоторых частных решений проблемы с выходом на основные транспортные механизмы – фильтрацию, диффузию заключаются в следующем.

В соответствии с концепцией эволюционного развития гидротермальных процессов Д.С. Коржинским на основе теоретических расчетов показано фильтрационно-диффузионное взаимодействие в системе движущегося трещинного – застойного порового флюидов, предполагающее концентрационно-диффузионный механизм транспорта растворенного вещества при околотрещинном метасоматизме в направлении, поперечном движению потока [2]. Реализация этого механизма выражается, в частности, в непостоянстве минералов переменного состава, принадлежащих одному минеральному парагенезису и подтверждается результатами экспериментов [3], хотя в природных метасоматических колонках достоверная диагностика минеральных парагенезисов затруднена, а по мнению некоторых исследователей [4] на современном уровне знаний невозможна. Кроме того, использование вещественных признаков природных метасоматитов и руд, например, минеральной зональности метасоматических ореолов, для реконструкции порово-трещинных гидродинамических режимов также осложнено тем, что околотрещинные диффузионные метасоматические колонки по порядку минеральной зональности и составу минеральных зон сходны с фильтрационными [2, 5].

Допускается вариант образования зональных метасоматических ореолов в обрамлении рудоносных трещинных зон в условиях фильтрации крупномасштабных потоков растворов через «огромные объемы» пород [6]. Для объяснения направленной миграции гидротермальных растворов предлагается вслед за А.Г. Бетехиным механизм «вакуумного всасывания» в моменты раскрытия трещин [7]. Вывод о многообразии типов и масштабов смещения поровых и эндогенных напорных трещинных флюидов следует из анализа результатов физических экспериментов, теоретического моделирования и расчетов [8]. Согласно этим результатам, при одних

условиях вероятно функционирование конвективной ячейки, «отгораживающей» тот и другой флюид и затрудняющей или исключаящей их смешение. В других условиях при разных соотношениях давлений поровых и трещинных флюидов возможна реализация в пористых средах конвективного массопереноса в разных вариантах или диффузионное взаимодействие при фильтрации через горные породы «граничных» и «объемных» фаз и затрудненном гидромеханическом перемешивании.

Для случая высокопористой среды результатами моделирования доказываются вовлечение в поступательное движение трещинного флюида поровых растворов в прилегающих к трещине породах, смешение тех и других флюидов при встрече поровым раствором слабопроницаемых пород [9]. Очевидно, при таком соотношении гидродинамических режимов в трещине и породах должен преобладать фильтрационный механизм массопереноса, как и в случае движения гидротермальных растворов субпараллельными потоками по контрастными различным геохимическим средам [10].

Как видно из приведенного краткого обзора и анализа других относящихся к обсуждаемой проблеме опубликованных материалов, в исследовании ее выполняются теоретические расчеты, моделирование, эксперимент. Между тем, в силу неизбежных допусков, призванных заменить предполагаемые, неизвестные и, вероятно, изменяющиеся значения параметров функционировавших гидротермальных палеосистем, применяемые методы не всегда обеспечивают получение результатов, исключающих иные варианты решений. Существует объективно обусловленный дефицит эмпирических подтверждений теории, моделей, результатов экспериментов и следующих из них выводов, правомерность приложения которых к природным процессам не всегда очевидна.

Поскольку непосредственные наблюдения за ходом былых гидротермальных процессов в земной коре, в том числе в обсуждаемом аспекте, исключены, а современных – чрезвычайно ограничены, постольку в дальнейших поисках, конкретизации и уточнении ответов на вопрос о роли и масштабах разных механизмов массопереноса в материальном балансе природного пороодо- и рудообразования наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями необходимо искать, прежде всего в месторождениях, вещественные признаки (следы) разного рода флюидных взаимодействий.

Вследствие очевидного многообразия ситуаций таких взаимодействий в земной коре конкретизируем задачу в соответствии с назначением данной статьи.

К числу ключевых вопросов, исследование которых призвано способствовать решению фундаментальной в теории гидротермального рудообразования проблемы породных местных или отдаленных внешних источников металлов, заключенных, в частности, в жильных рудах и околожильных ме-

тасоматических ореолах, относится вопрос о том, что происходит в аспекте гидродинамических взаимодействий и транспорта вещества в области соприкосновения внедряющихся по трещинам эндогенных флюидов и поровых растворов вмещающих пород.

В плане решения задачи эмпирические свидетельства механизма массопереноса, задействованного в процессе околотрещинного (околожильного) метасоматизма, получены, исходя из предположения о том, что обусловленные, например, градиентами концентраций петрогенных компонентов диффузионные явления следует ожидать в месторождениях, образованных в контрастных по химическому составу средах. Указанному условию удовлетворяет Ирокиндинское мезотермальное золоторудное кварцево-жильное месторождение, расположенное в приосевой части Южно-Муйского хребта в Северном Забайкалье. В статье приведены результаты выполненного в этом месторождении исследования.

Минералого-петрохимические черты околожильных метасоматических ореолов Ирокиндинского месторождения

Золотоносные малосульфидные (до 5 % сульфидов) кварцевые жилы Ирокиндинского месторождения позднепалеозойского (277 ± 4 млн л) возраста [11] образованы в сложно дислоцированном вплоть до плейчатости мигматит-гнейсовом субстрате юго-западной окраины Муйского выступа архейского фундамента Сибирского кратона и выполаживаются трещины, оперяющиеся восточный краевой шов (Ирокиндинский разлом) Келянской зоны глубинных разломов [12]. В составе субстрата чередуются пласты и пачки альмандин-диопсид-двуполевошпатовых, альмандин-двуслюдяных гнейсов, кальцифиров, послонных мигматитов, гранитов ультраметаморфической выплавки, амфиболитов и многих разновидностей перечисленных пород. Мощность пластов и пачек изменяется от сантиметров до десятков метров. Некоторые жилы сопровождаются дорудными позднепалеозойскими дайками фельзитовых микрогранит-порфиров.

Околожильные метасоматические ореолы принадлежат обычному сочетанию пропилит-березитовой формаций и включают следующие минеральные зоны (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловой зоне).

Фронтальная зона: кварц + серицит + кальцит ± доломит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит + альбит ± хлориты ± цоизит, эпидот ± актинолит-тремолит.

Хлоритовая зона: кварц + серицит + кальцит ± доломит-анкерит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит + альбит + хлориты ± цоизит, эпидот.

Альбитовая зона: кварц + серицит + кальцит ± доломит, анкерит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± апатит + альбит.

Тыловая (березитовая) зона: кварц + серицит + кальцит + доломит, анкерит ± сидерит + лейкоксен + рутил + магнетит + пирит ± апатит.

Приведенная схема, подробно описанная в [13], выдерживается во всех вмещающих породах при меняющихся количественных соотношениях новообразованных минеральных видов и разновидностей вплоть до исчезновения некоторых из них, например, актинолита, тремолита, цоизита, эпидота. Фронтальная зона пропилитоподобных преобразований в составе подзон слабого, умеренного, интенсивного изменения (до 10, 10...20, 20...30 об. % новообразованных минералов соответственно) занимает большую часть объема междужильного пространства. Мощность хлоритовой зоны достигает десятков, альбитовой – первых, березитовой – 1,0...1,5 м.

При квалификации процесса изменений горных пород как калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма с почти полным выносом натрия, привносом калия, серы, углекислоты обнаружено накопление в аномальных количествах фемофильных элементов – титана, фосфора, магния, железа в тыловых зонах ореолов в ближнем обрамлении Ирокиндинского разлома [13]. По мере удаления от последнего уже на расстоянии 1,0...1,5 км повышенные концентрации этих элементов отмечаются лишь эпизодически или отсутствуют. В этом же направлении от жилы к жиле снижается масса запасов золота. По этим и другим признакам, а также с учетом наиболее высокой растворимости соединений титана и фосфора в щелочных и сильно щелочных средах сделан вывод о раствороподводящей функции глубинного разлома, поступлении золота в сопровождении упомянутых, в том числе фемофильных элементов со щелочными флюидами и инверсии щелочного режима последних в кислотный в разломе и в ближнем обрамлении его на уровнях отложения руд и околорудного метасоматизма. Это обусловило переход титана и фосфора из подвижного в инертное состояние с фиксацией их в лейкоксене, рутиле, апатите.

Усиление степени минеральных преобразований горных пород в направлении от фронтальной зоны к тыловой коррелирует с увеличением в этом направлении удельной массы перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества – количественного показателя интенсивности метасоматизма [13]. Величина этого показателя увеличивается от первых процентов в периферийных (включая хлоритовую) зонах пропилитоподобных изменений до десятков процентов в тыловой. Отсюда следует, что в периферийных зонах минеральные замещения осуществляются преобладающе за счет внутренних ресурсов, в тыловых – с существенным перемещением (привносом, выносом) вещества. В оценке корректности полученных результатов расчета баланса учитывается то, что изменения масс участвующих в анализе элементов, обусловленные неравномерным их распределением в каждой исходной породе, не превышают $\pm 5...15$ мас. % от среднего при ошибке хими-

ческого анализа $\pm 0,01...0,02$ мас. %. Поэтому «привнос» – «вынос» на уровне до 15 мас. % оценивается как незначимый, при том, что реальные значения величин выноса – привноса достигают соответственно десятков...сотен %.

Результаты исследования

Существенное перемещение в метасоматическом процессе важнейших петрогенных компонентов при образовании березитов, лиственитов в контрастной по химическому составу среде происходит вполне закономерно (рис., табл.). Из относительно высококремнистых (более 35...40 мас. % SiO_2), высокоглиноземистых (более 10...12 мас. % Al_2O_3), высокоизвестковистых (более 10 мас. %

CaO), высокоуглеродистых (более 10 мас. % CO_2), высокожелезистых (более 6 мас. % $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) пород соответствующие элементы частично, в том числе в значительном количестве, удаляются из тыловой зоны. При содержаниях на указанных уровнях компоненты не обнаруживают направленной миграции. В породы с содержанием ниже указанных значений элементы поступают в количествах тем больших, чем меньше их содержание в исходном субстрате. Последний вывод распространяется и на калий. Так, коэффициент его концентрации в апогнейсовом березите, апокальцифированном листвените (содержание в исходных породах K_2O до 1,5...2,0 мас. %) составляет соответственно 4,1 и 3,0, в апогранитном березите (K_2O в граните – 2,5...3,5 %) – 1,2 [13].

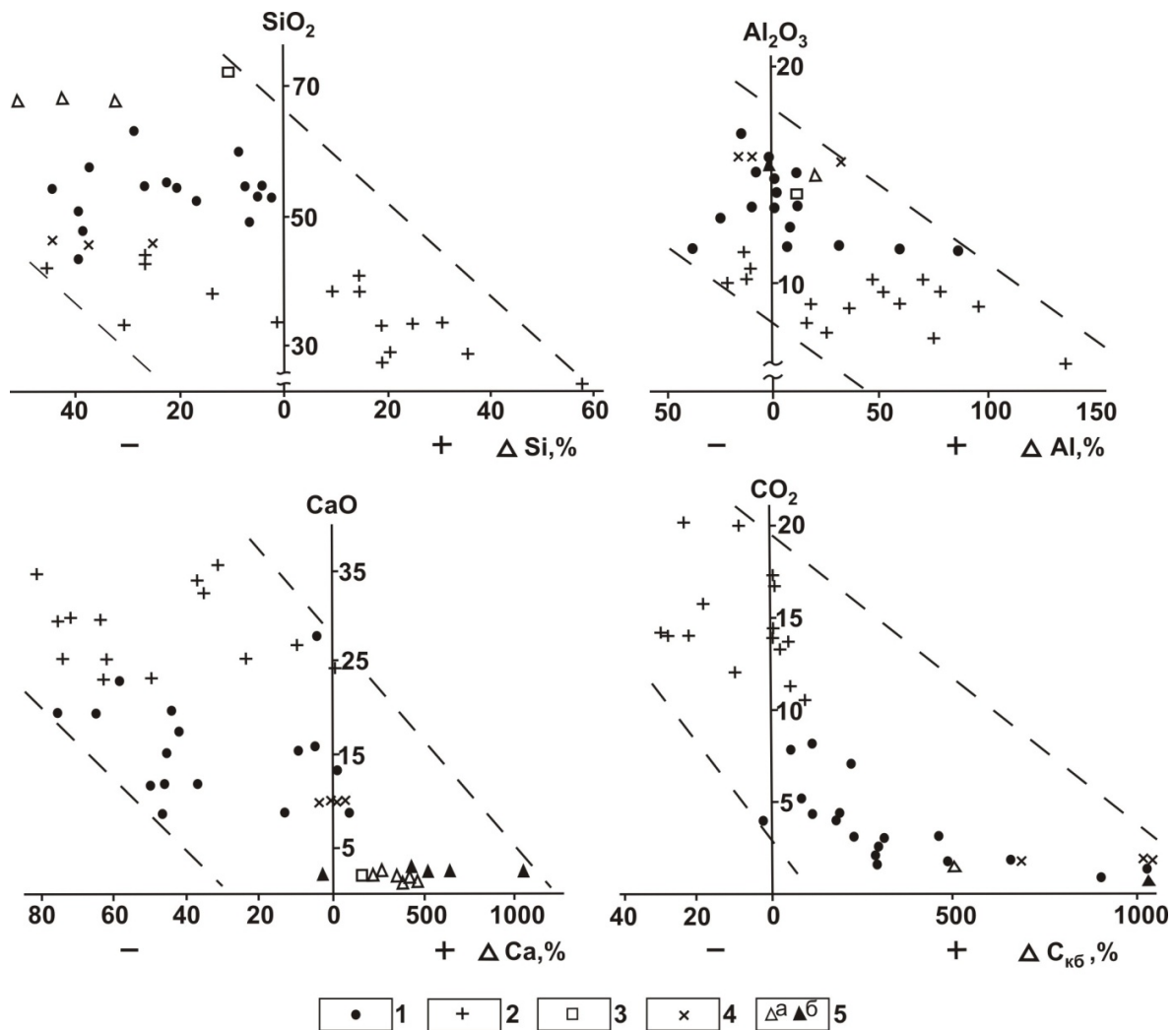


Рисунок. Распределение петрогенных элементов во фронтальной (нулевой) и тыловой зонах околожилых метасоматических ореолов Ирокиндинского месторождения. 1) По оси ординат – содержание компонентов в исходных породах 0-й зоны и подзоны слабого изменения фронтальной зоны ореолов, мас. %, по оси абсцисс – атомные количества привноса (+), выноса (-) элементов в березите и листвените тыловой зоны в процентах к атомным количествам их в исходных породах в стандартном геометрическом объеме 10^6 \AA^3 . Одна фигуративная точка представляет индивидуальную метасоматическую колонку во фронтальной и тыловой зонах, ее координаты рассчитаны как среднее из 5–46 проб в каждой зоне (см. табл.). 2) Исходные породы: 1 – альмандин-диопсид-двуполевошпатовый гнейс, 2 – кальцифир, 3 – гранит мигматитовой выплавки, 4 – амфиболит, 5 – фельзитовый микрогранит-порфир (дайки) в сопровождении Тулуинской (а) и Юрасовской (б) жил. Здесь и в таблице: 3) петрохимические пересчеты выполнены по объемно-атомному методу; 4) полные химические силикатные анализы 349 проб горных пород выполнены в Центральной лаборатории ПГО «Запсибгеология» (г. Новокузнецк) под руководством И.А. Дубровской.

Таблица. Распределение железа ($Fe^{2+} + Fe^{3+}$) в минеральных зонах околожильных метасоматических ореолов Ирокиндинского месторождения

Исходные породы	Минеральные зоны					
	0-я зона и подзона слабого изменения фронтальной зоны			Альбитовая	Тыловая (березитовая)	
	Среднее содержание, мас. %				Масса $Fe^{2+} + Fe^{3+}$, г/дм ³	
	FeO	Fe ₂ O ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	±Δ		
Альмандин-двуслюдяной гнейс	5,37	1,65	7,02(23)	152,2(34)	<u>150,0(6)</u> -1,5	<u>131,3(7)</u> -13,7
Альмандин-диопсид-двуполевошпатовый гнейс	3,45	1,79	5,24(32)	115,4(46)	<u>123,6(10)</u> +7,1	<u>128,6(26)</u> +11,4
Кальцифир	3,14	1,31	4,45(19)	91,4(26)	<u>95,6(8)</u> +4,6	<u>130,2(18)</u> +42,5
Фельзитовый микрогранит-порфир	1,60	0,53	2,13(5)	43,2(6)	<u>107,7(31)</u> +149,3	<u>111,1(10)</u> +157,2
Гранит мигматитовой выплавки	1,37	0,55	1,92(7)	43,2(18)	<u>44,7(9)</u> +3,5	<u>80,4(8)</u> +86,1

Примечание. ±Δ – величина привноса (+), выноса (-) железа в % к средней массе его в стандартном объеме 1000 см³ исходной породы, в скобках число проб.

Распределение рудогенных элементов – золота, серебра, мышьяка, ртути и других металлов в околожильных метасоматических ореолах Ирокиндинского месторождения подчиняется той же закономерности, что и распределение петрогенных компонентов, с той разницей, что металлы всегда обогащают окolorудное пространство, сложенное породами с чрезвычайно низкими кларковыми их содержаниями [14]. Контрастные аномалии образуют первые четыре металла в тыловых зонах ореолов – до 1,5...2,0 г/т золота, например, против 0,7...1,2 мг/т в исходных породах. Содержание золота в березитах прямо коррелирует с содержанием его в прилегающих рудах и снижается до десятков...первых мг/т в обрамлении участков жил с бедными (до первых г/т) рудами. В альбитовой, затем хлоритовой зонах содержания металлов прогрессивно снижаются, а в подзонах умеренного, далее слабого изменения фронтальной зоны они соразмерны с кларковыми. В направлении от тыловой к фронтальной зоне синхронно уменьшается в породах золото-серебряное отношение от значений в тыловой зоне, близких к таковым в рудных телах (0,5...1,5), до величин, свойственных исходным породам (0,01...0,05), в которых на кларковых уровнях содержание серебра примерно на порядок выше содержания золота. В периферийных минеральных зонах ослабевает сила корреляционных связей золота с серебром, мышьяком, ртутью, как правило, максимальная в березитах и рудах. Все это подчеркивает образование околожильных метасоматических, геохимических ореолов и руд в рамках одного гидротермального рудообразующего процесса.

Обсуждение результатов и выводы

Как видно из приведенных и опубликованных ранее [13, 14] материалов, тыловые березитовая и в меньшей степени альбитовая зоны околожильных метасоматических ореолов представляют при околотрещинном метасоматизме арену наиболее значимых событий. Здесь происходит масштабное перераспределение вещества с полным преобразованием разных по минеральному и химическому составу исходных пород в метасоматиты с близким минеральным и химическим составом. В объемах пород, непосредственно примыкающих к трещинам, и в заполняющих их жилах отложена основная масса золота, серебра, мышьяка, ртути и других металлов, в том числе фемофильных элементов. Эти и другие приведенные выше признаки распределения в метасоматических ореолах петрогенных и рудогенных элементов доказывают инициирование процесса околотрещинного метасоматизма горячими металлоносными растворами, поступившими по разломам в трещины и заполнившими их. Перемещение петрогенных компонентов из пород с высокой концентрацией в породы с низкой, а металлов – из трещинных металлоносных растворов в поровые растворы, очевидно, с субкларковыми их содержаниями, в свою очередь, согласуется с концентрационно-диффузионным механизмом массопереноса и обусловлено им. Другие виды диффузии, – термо-, электродиффузия и пр. если и были реализованы в процессе, то в подчиненном варианте. Этот вывод подтверждает ранее сделанный [15], согласно которому при метасоматических процессах концентрационная диффузия является одним из основных способов транспорта вещества в горных породах.

Очевидно, между трещинными и поровыми растворами не возникало барьеров, препятствовавших их смешению. Те и другие представляли единую гидравлически связанную систему. Химические элементы, в частности, металлы свободно диффундировали из трещинных растворов в поровые и в обратном направлении в соответствии с градиентами и пространственными соотношениями их концентраций.

Диффузионный механизм массопереноса, как известно, наиболее эффективен в застойных средах, к каковым в нашем случае следует относить поровые растворы в боковых породах. Вместе с тем, сколько-нибудь интенсивное поступательное движение трещинных растворов в обсуждаемом и других подобных случаях также маловероятно. Об этом можно судить с учетом следующих фактов.

Во-первых, как правило, и в Ирокиндинском месторождении, в частности, рудные жилы в обрамлении околожильных метасоматитов образованы в «слепых» опережающих глубинные разломы трещинах, в которых поступательному движению растворов препятствует их выклинивание по восстанию и простирацию. Вследствие этого заполнившие трещины растворы «работают» в режиме замедленно-

го движения по микротрещинам и порам горных пород. Примером служит жила № 30 Ирокиндинского месторождения, вмещающая мощный (9 м) рудный столб (3,5 т золота) в обрамлении березитов, который вверх по восстанию, а жила и по простиранию переходят в систему постепенно исчезающих «проводников» со слабо выраженными околотрещинными изменениями на уровне фронтальной зоны [12]. Эти «проводники» могли служить слабо проницаемыми каналами удаления отработанных растворов во время импульсов тектонического подновления рудовмещающих трещин.

Во-вторых, массообмен между горными породами с градиентами концентраций петрогенных компонентов осуществляется не только в поровых растворах, скажем, по схеме контактово-диффузионного взаимодействия, но и, что более вероятно, с перемещением компонентов из насыщенных ими поровых растворов в недосыщенные трещинные, а из последних – снова в поровые с еще более низкими концентрациями. Например, известь (СаО) из насыщенных ею поровых растворов кальцифиров, гнейсов перемещается в трещинный раствор, а из последнего – в поровый раствор микрогранит-порфира с минимальным ее содержанием (рисунок).

Это согласуется с тем фактом, что баланс петрогенных компонентов в околужильных апогнейсовых березитах, апокальцифировых лиственитах, образованных в пересекаемых рудовмещающими трещинами маломощных (см) «слоях» и мощных (десятки м) пластах гнейсов, кальцифиров и других пород, подчиняется общей закономерности диффузионного массопереноса. Учитывая малую мощность околотрещинных (околожильных) зон березитов и лиственитов (до 1,0...1,5 м), не приходится ожидать распространение механизма реакционно-межпородного контактово-диффузионного взаимодействия в формирующихся тыловых зонах околужильных метасоматических ореолов на расстояния до десятков метров от контактов контрастных по химическому составу пород. Другими словами, маловероятна диффузия компонентов в пределах всей многометровой мощности пласта в него и из него вдоль рудовмещающей трещины в непосредственном ее обрамлении. Более вероятно, как отмечалось, диффузионный обмен компонентами между трещинным и поровым растворами, т. е. в поперечном трещине направлении.

В согласии с приведенными фактами в этом направлении в поровые растворы диффундируют поступающие извне с металлоносными растворами в трещины калий, сера, углекислота, рудогенные и фемофильные элементы. С другой стороны, почти полное удаление из всех пород натрия, который не фиксируется в минералах метасоматитов и кварцевых жил, без вариантов указывает на встречную его диффузию из поровых растворов в трещинные. Очевидно, во время импульсов тектонического

вскрытия, подновления рудовмещающих трещин и, как следствие, увеличения их проницаемости он удаляется из системы с «отработанными» растворами на ее периферию или рассеивается. Не оставляет альтернативы и кремний, значительная масса которого также диффундирует из высококремнистых пород в трещинные растворы, но, в отличие от натрия, он участвует в пополнении массы его в малокремнистых лиственитах и, преимущественно, в образовании кварцевого выполнения рудовмещающих трещин.

Отсутствуют признаки бокового (по простиранию, падению жил) смещения обогащенных золотом участков березитов относительно смежных в жилах рудных столбов, поэтому маловероятно вовлечение поровых растворов в ближнем обрамлении трещин, где образованы березиты, то есть наиболее контрастно выражен диффузионный эффект, в боковое (вдоль трещин) поступательное движение синхронно с трещинными растворами, если бы последние активно перемещались. Следовательно, нет оснований предполагать участие в массообмене контактово-инфильтрационного варианта взаимодействия пород и растворов.

В итоге представляется приемлемым заключение, согласно которому поступательное после внедрения движение трещинных растворов если и происходило, то со скоростью, сопоставимой со скоростью диффузионного перемещения компонентов, в противном случае перенос вещества в трещинах потоками сравнительно быстро движущихся растворов снижал или исключал бы участие их в диффузионном транспортном механизме, что противоречило бы приведенным выше фактам.

Реконструированный концентрационно-диффузионный механизм массопереноса в междужильном пространстве месторождения при метасоматизме пород не согласуется с представлением о фильтрации растворов через «огромные», как выражаются некоторые авторы [6], объемы пород. Очевидно, это представление предложено, чтобы, учитывая низкие (субкларковые) содержания золота в породах, обосновать возможность извлечения его из пород в количествах, сопоставимых с запасами металла в месторождениях, поскольку при отсутствии фильтрации возможности извлечения металлов из значительных объемов пород исчезающе малы. Не видно удовлетворительного объяснения наиболее интенсивных преобразований пород в непосредственном обрамлении рудоносных трещин при слабых изменениях и даже сохранении крупных, до десятков метров в поперечнике, останцов свежих исходных пород, например, в междужильном пространстве Ирокиндинского месторождения, на путях объемной фильтрации растворов в породах, если бы она имела место. Не объяснена постоянная приуроченность мезотермальных месторождений золота к глубинным разломам, которые по совокупности признаков при рудообразовании через раствороподводящую функцию выполняли роль ру-

доконтролирующих. Для реализации механизма вакуумного всасывания растворов не обязательна приуроченность рудовмещающих трещин именно к глубинным разломам.

В приложении к Ирокиндинскому месторождению факты естественно вписываются в систему доказательств пульсационного [12] поступления металлоносных растворов из более глубинного генерирующего очага по рудоконтролирующему Ирокиндинскому разлому (Келянской зоне глубинных разломов) в оперяющие разлом «слепые» крупные трещины, консервации каждой порции растворов в последних, разогревания пород в объеме формирующегося месторождения, создания единой малоподвижной гидравлически связанной системы поровых и трещинных растворов и реализации тех процессов, которые оставили описанные вещественные следы.

Таким образом, в рамках обсуждаемой проблемы в дополнение к результатам расчетов, моделирования, эксперимента на примере специально подобранного месторождения, образованного в дифференцированной по составу среде, и на основе эмпирических материалов получен ответ на вопрос: а как это происходит в природе? В природе это в общих чертах происходит так, как показано теоретическими исследованиями (Д.С. Коржинский и др.) и воспроизведено в эксперименте

(Г.П. Зарайский и др.). Вместе с тем, в аспекте гидродинамического режима при околотрещинном метасоматизме и рудообразовании уместно уточнить – не только поровая но и трещинная составляющие системы, скорее всего, малоподвижны. Естественно, это уточнение не исключает альтернативные варианты – поступательное движение трещинных, а возможно, в ближнем обрамлении трещин и поровых растворов в иных условиях проницаемости среды метасоматизма и рудообразования, например, в мощных минерализованных зонах или в трещинах, выходящих во время рудообразования на дневную поверхность. Однако в этих случаях, вероятно, будут оставлены другие вещественные следы.

Описанный случай демонстрирует пример самоорганизации природной гидротермальной рудообразующей системы в направлении выравнивания концентраций участвующих в процессе веществ с созданием близких продуктов реакций за счет дифференцированного по минералого-химическому составу исходного субстрата. Он также подчеркивает необходимость предельно осторожно относиться к нормированию содержаний химических элементов по «инертным» компонентам, например, по титану, фосфору или алюминию, которые могут при определенных условиях быть миграционноспособными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Г.Л. Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. – Новосибирск: Наука, 1973. – 355 с.
2. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. – М.: Наука, 1982. – 104 с.
3. Метасоматизм и метасоматические породы / В.А. Жариков, В.Л. Русинов, А.А. Маракушев и др. – М.: Научный мир, 1998. – 492 с.
4. Бергман И.А. Насколько достоверно выделение геологами минеральных парагенезисов, равновесных минеральных ассоциаций, метаморфических минеральных фаций // Отечественная геология. – 2000. – № 2. – С. 71–76.
5. Зарайский Г.П. Условия неравновесного окварцевания пород и образования кварцевых жил при кислотном метасоматозе // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41. – № 4. – С. 294–307.
6. Коротаев М.Ю. Зональность гетерогенных гидротермальных систем // Известия АН СССР. Серия геологич. – 1990. – № 7. – С. 133–145.
7. Румянцев В.Н. Механизм массопереноса и концентрирования минерального вещества при формировании метаморфогенно-гидротермальных месторождений // Метаморфогенное рудообразование низких фаций метаморфизма складчатых областей фанерозоя. – Киев: Наукова думка, 1988. – С. 121–130.
8. Шарапов В.Н. О взаимодействии потока эндогенного флюида и порового раствора во вмещающих породах // Геология и геофизика. – 1991. – № 2. – С. 3–8.
9. Лавров Н.П., Барсуков Викт.Л., Мальковский В.И., Пэк А.А. Гидродинамические условия смещения растворов при формировании секущих жил в слоистых толщах // Геология рудных месторождений. – 1995. – Т. 37. – № 4. – С. 334–357.
10. Барсуков Викт.Л., Борисов М.В. Рудообразование при смешении термальных растворов, фильтровавшихся по породам контрастно различного химического состава // Геохимия. – 1992. – № 11. – С. 1382–1397.
11. Кучеренко И.В. Позднепалеозойская эпоха золотого оруденения в докембрийском обрамлении Сибирской платформы // Известия АН СССР. Серия геологич. – 1989. – № 6. – С. 90–102.
12. Кучеренко И.В., Миков А.Д., Геря Т.В. и др. Тектонические факторы рудообразования и элементы минеральной зональности в одном из кварцево-жильных месторождений золота Восточной Сибири // Вопросы структурной геологии. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 1987. – С. 28–41.
13. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 293. – № 2. – С. 443–447.
14. Кучеренко И.В. Петролого-геохимические свидетельства геолого-генетической однородности гидротермальных месторождений золота, образованных в черносланцевом и несланцевом субстрате // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 25–35.
15. Зарайский Г.П., Балашов В.Н. Механизмы транспорта гидротермальных растворов // Геологический журнал. – 1983. – Т. 43. – № 2. – С. 38–49.

Поступила 14.09.2009 г.