

ную фазовую структуру месторождения той или иной золоторудной формации, они позволяют выделить область развития стволых жил и область ветвления рудных тел.

Предложенный фазово-структурный метод исследования показал определенные преимущества его использования на сложных объектах, каковыми являются месторождения золота и серебра, руды которых и околорудные метасоматиты не аномальны по своим физическим характеристикам. Эффективность выделения рудных тел (вместе с околорудными метасоматитами) в масштабе 1:10 000 с помощью фазово-структурных критериев необычно высока. Причина этого в том, что метод позволяет избавиться от неоднозначности и нелинейности, содержащихся в гистограммах и облаках регрессии переменных, которые сохраняются, как бы мы ни ужесточали требования к чистоте выборок пород или эталонов для прогнозирования [8]. В предложенном подходе неоднозначность и нелинейность, содержащиеся в статистических совокупностях, которые обнаруживаются, когда мы пытаемся на их основе решать задачу прогнозирования, переходят в нелинейные фазовые траектории, становятся наглядными и пригодными для использования.

Фазово-структурный метод может оказаться эффективным во многих исследованиях геологических объектов на основании числовых моделей [5], полученных в результате лабораторных измерений или каким-либо другим путем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков А.В. Месторождение Майское / Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Под ред. М.М. Константинова, И.С. Розенблюма, М.З. Зиннатуллина. — М.: Недра, 1992. — С. 79–127.
2. Калинин А.И. Структура сереброрудного поля и месторождения в ультракалийевых риолитах Охотско-Чукотского вулканического пояса / Структуры рудных полей и месторождений вулканических поясов. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986.
3. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. — М.: Научный мир, 2000.
4. Мезенцева А.Е. Метод фазовых траекторий для прогноза золоторудных месторождений / Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований / Под ред. П.М. Горяинова, Г.Ю. Иванюка. — М.: Геос, 2001. — С. 146–158.
5. Мезенцева А.Е. Принципы самоорганизации и динамика формирования рудообразующих систем на примере золото-серебряных месторождений Северо-Востока России / Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии: Тез. докл. IX сессии СВО ВМО — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1997. — С. 116–120.
6. Мезенцева А.Е., Есипенко А.Г. Физические свойства околорудных метасоматитов месторождений золота и серебра Северо-Востока РФ: сравнительная характеристика, проблемы, задачи // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 10. — С. 31–37.
7. Ольшевский В.М., Мезенцева А.Е. Структура золото-сульфидного месторождения в Охотско-Чукотском вулканическом поясе / Структуры рудных полей и месторождений в вулканических поясах. — Владивосток: ДВГИ, 1986. — С. 72–90.
8. Справочник по математическим методам в геологии. — М.: Недра, 1987.
9. Степанов В.А., Морозова Л.В., Макурин В.Н. Месторождение Кубака / Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Под ред. М.М. Константинова, И.С. Розенблюма, М.З. Зиннатуллина. — М.: Недра, 1992. — С. 60–66.

© Мезенцева А.Е., 2015

Мезенцева Антонина Евгеньевна // amezentseva@yandex.ru

Бергман И.А. (ФГУП «ВИМС»)

ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫЕ ФОРМАЦИИ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ И ПРОБЛЕМА КИСЛОРОДА

*Используя материалы реконструкции железиристо-кремнистых формаций раннего докембрия, автор обсуждает источник кислорода земной коры, время появления кислорода в атмосфере и его поведение в процессах метаморфизма. **Ключевые слова:** ранний докембрий, железиристо-кремнистые формации, кислород, земная кора, метаморфизм, палеоатмосфера.*

Bergman I.A. (VIMS)

THE IRON-SILICEOUS FORMATIONS OF THE EARLY PRECAMBRIAN AND THE PROBLEM OF OXYGEN

*Using materials for the reconstruction of the Early Precambrian iron-siliceous formations the author discusses the provenance for oxygen of the Earth crust, the time of origin of the oxidizing atmosphere and behavior of oxygen in the metamorphic processes. **Key words:** the Early Precambrian, iron-siliceous formations, oxygen, the Earth crust, metamorphism, paleoatmosphere.*

Проблеме кислорода в земной коре посвящена обширная литература. Но, по-прежнему, слабым местом в этой проблеме остается ранний этап формирования коры, источник кислорода и время возникновения кислородной атмосферы, поведение кислорода в процессах метаморфизма.

Выполненная автором статьи реконструкция дометаморфической и первичной природы железиристо-кремнистых формаций, являющихся *планетарными образованиями*, условий их формирования и метаморфизма позволяет внести ряд существенных изменений в представления именно о раннем этапе появления атмосферы. Сделаем это, привлекая модель зарождения кислородной атмосферы, разработанную В.И. Бгатовым [2], в которой затронуты ключевые аспекты взглядов по обсуждаемой теме.

Согласно указанному автору, докембрий по сравнению с фанерозоем еще плохо изучен. Большинство исследователей предполагает, что свободный кислород в атмосфере появился с началом палеозойской эры, что ограничивает распространение актуалистического метода изучения природы этим временем. Все еще нет методов реставрации осадочного докембрия (это на 1985 г. — И.Б.), тем более в условиях бескислородной атмосферы. В.И. Бгатов задается вопросом: «можно ли представить ход докембрийских осадочных процессов в бескислородной атмосфере, если мы знаем, что горные породы докембрия и фанерозоя по химическому составу идентичны» [2].

Не исключая элементов сходства химического состава пород докембрия и фанерозоя, заметим: 1) начиная с 1,8 млрд. лет все породы раннего докембрия являются метаморфизованными образованиями, тогда как в фанерозое преобладают неметаморфизованные породы, поэтому сравнивать по конечному результату

метаморфизованное с неметаморфизованным, минуя реконструкцию метаморфизма, не имея методов реконструкции, соответствующих геологическим эталонам и методов контроля, некорректно; 2) некорректно еще и потому, что химический состав пород, как внешний признак, не критерий общности минерального состава, происхождения и условий их образования; 3) вопреки В.И. Бгатову, в раннем докембрии широко распространены породы, которых нет или практически нет в фанерозое (железисто-кремнистые формации, гнейсы, амфиболиты и др.). «Наконец, — продолжает В.И. Бгатов [2], — какие принципиальные новообразования минералов в продуктах выветривания пород докембрия неизвестны в фанерозое? Таковых нет».

Если цитируемый автор имеет в виду коры выветривания докембрийских пород в условиях докембрийской атмосферы, то о них из-за плохой сохранности, метаморфизма, отсутствия эталонов и методов реконструкции мы практически ничего не знаем. Согласно А.Д. Архангельскому (1936), гораздо надежнее судить о процессах корообразования не по реликтам кор выветривания, а по продуктам их переотложения — в том числе железисто-кремнистым формациям. Аналогов им в фанерозое нет.

Если же В.И. Бгатов имеет в виду коры выветривания докембрийских пород в условиях фанерозойской атмосферы, то и в этом случае принципиальные отличия в минеральном составе есть — речь, в частности, идет о стерильно чистых в отношении вредных примесей и легирующих элементов гематит-маритовых и маритовых гипергенных рудах, образующихся при выветривании железистых кварцитов раннего докембрия. Аналогов им в фанерозое также нет. Следовательно, нет аналогии и в процессах и интенсивности выветривания в сравниваемых эпохах.

В целях прогноза месторождений в докембрии — подчеркивает В.И. Бгатов — большое значение приобретает реставрация географических ландшафтов. «Для этого прежде всего надо решить вопрос о возможности распространения метода актуализма на докембрийскую историю породо- и рудообразования. Очевидно, такая возможность, в свою очередь, связана с решением вопроса, был ли свободный кислород в докембрийской атмосфере, а если был, то с какого времени». Для В.И. Бгатова все ясно: «свободный кислород в газовой фазе появился на Земле в глубокой древности, т.е. в раннем докембрии в результате дегазации базальтовой магмы, подобно тому, как появились в атмосфере и другие газы... По существу, вся система доказательств происхождения атмосферного кислорода (в работе В.И. Бгатова [2] такой системы нет; вообще, прежде чем употреблять такие понятия, как «доказательство», было бы полезно разъяснить читателю, что автор понимает под этим многообязывающим понятием) подтверждает блистательную точку зрения великого естествоиспытателя нашего времени акад. В.И. Вернадского: «В точных данных современной минералогии мы не имеем ни одного факта, который указывал бы... на изменения в составе атмосферы в ее современном состоянии или в научно изученном прошлом — в геологиче-

ских периодах. Поэтому мы можем считать, что в этих пределах, т.е. в пределах геологических эпох, состав воздуха был неизменен; он был в общих чертах тем, каким мы его наблюдаем ныне» [2]. Вообще эту цитату не следовало приводить, поскольку этому противоречит изменчивость осадочных пород в геологической истории Земли, что, в частности, было использовано М.И. Будыко и А.Б. Роновым еще в 1979 г. для вывода о том, что состав атмосферы (в частности, содержание углекислоты) существенно менялся даже в пределах геологических периодов фанерозоя. Тем более, следовало проявлять осторожность в распространении приведенного выше вывода на ранний докембрий, поскольку появились серьезные аргументы, опровергающие эту точку зрения (см. работы автора данной статьи — 1978, 1980 гг. и др.). Позднее это подтвердилось [3].

Как пишет В.И. Бгатов [2], к настоящему времени имеется достаточно много *предположений* о том, что жизнь на Земле возникла на очень ранних этапах ее развития. И в подтверждение такого рода предположений он ссылается: на сообщения об ископаемых водорослях в Южной Африке, имеющих возраст 2,7 млрд. лет; на обнаружение в южноафриканской формации Фиг-Три органических остатков, датированных 3,5 млрд. лет; на исследования П.Э. Клауда водорослевых строматолитов возрастом 2,7 млрд. лет; на результаты анализа развития органического мира Б.С. Соколова, из которых следует, что биогенные накопления кислорода в гидросфере имели место уже 3,7–3,5 млрд. лет назад, а свободный кислород в земной атмосфере появился около 2 млрд. лет назад; на безликих литологов и геохимиков, считающих, что кислород в ощутимых количествах в атмосфере был уже в глубоком докембрии, что в противном случае якобы нельзя объяснить происхождение гематитов (имеется в виду гематит гематит-магнетитовых железистых кварцитов — И.Б.); на сибирских литологов во главе с Ю.П. Казанским, которые на основании изучения газовых включений в древних кремнистых породах пришли к выводу о существовании свободного кислорода в земной атмосфере (совместно с другими газами), начиная с архея, а с середины протерозоя (по их данным) количественный состав атмосферы по основным газам был близок к современному; на исследования В.И. Виноградова, который на основании изучения изотопного состава серы в осадочных породах Восточной Сибири констатировал, что концентрация кислорода в земной атмосфере в течение 3 млрд. лет была близка к современной; на работы В.И. Вернадского, который писал о количестве живого вещества на Земле как о константе времени появления его в архее и т.д. В общем, анализ цитируемой литературы убедил В.И. Бгатова в том, что появление свободного кислорода в атмосфере произошло позднее 4,5 млрд. лет, но раньше 3 млрд. лет.

Можно назвать еще десятки других исследователей и сослаться на многие десятки написанных ими работ, в которых появление свободного кислорода в атмосфере и жизни на Земле отодвигается к 3,5–4 млрд. лет. Более того, как полагают некоторые исследователи,

можно считать установленными факт обмена генетическим материалом между небесными телами, реальность гипотезы панспермии и вечности жизни во Вселенной, что получило — с их точки зрения — серьезное подтверждение после обнаружения отпечатков биогенных структур (? — *И.Б.*) в углистых хондритах из Австралии (метеорит «Мурчисон»), Сахары («Накхла»), Индии («Ширготты») и Антарктиды (11 осколков кометы или астероида группы SNC) [1] и т.д. К сожалению, всем этим (и многим другим) работам свойственна одна и та же методологическая ошибка. Суть ее в том, что о генезисе (в данном случае появлении свободного кислорода и жизни на Земле, на других планетах) исследователи судят на основании или морфологических признаков (формы и структур, образуемых в основном углеродистым веществом), или изотопных характеристик (изотопного состава углерода углеродистого вещества, а также серы сульфатов и сульфидов, содержащихся в древних породах), или органических маркеров (аминокислот и др.) и т.д., которые, с точки зрения логики познания, относятся к категории внешних, несущественных и, как таковые — *в отсутствие эталонов и методов контроля*, — никакой доказательностью не обладают.

К совершенно другим выводам приводит выполненная автором статьи элементарно-геохимическая реконструкция железисто-кремнистых формаций раннего докембрия [3].

Принципиальное отличие модели автора от других моделей (геологических, петрографических, изотопно-геохимических и др.) в том, что в основу реконструкции положены такие элементарно-геохимические свойства вещества, среды, которые не зависят от геологического времени и, следовательно, могут быть применены к аналогичным объектам любого абсолютного возраста, обладают реконструкционными возможностями и по своему достоинству относятся к категории внутренних, существенных (т.е. таких, которые определяют предмет тем, чем он есть) и которые имеют контроль в форме независимых признаков, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям.

Из реконструкции, в частности, следует: 1) отложение железа железисто-кремнистых формаций раннего докембрия (3,8–1,8 млрд. лет) происходило в осадочных бассейнах исключительно в форме хемогенных железистых карбонатов (сидероплезита, сидерита); 2) их отложение в указанной форме могло иметь место только в условиях восстановительной углекислотной атмосферы; 3) углекислотная восстановительная атмосфера энергетически неблагоприятна как для зарождения жизни, так и для ее эволюции; 4) если не принимать во внимание другие признаки, например, хемогенные сидериты Зигазино-Комаровского рудного района Башкирии возрастом ~0,7 млрд. лет и др., тогда можно утверждать, что кислород в атмосфере Земли появился не ранее 1,8 млрд. лет, а вероятнее всего, не ранее 0,7 млрд. лет тому назад.

Это меняет суть представлений (в том числе В.И. Бгатова) о времени появлении кислорода в атмосфере Земли и его источнике. Не находят подтверждения и представления специалистов о сколько-нибудь существ-

венном вкладе в состав докембрийской атмосферы кислорода, генерируемого процессами фотодиссоциации воды — уровни Г. Юри (0,001 %) и Л. Пастера (0,01 %), соответственно на ~4,5 и 2,5 млрд. лет (? — *И.Б.*).

С появления растительности на Земле источником свободного кислорода стал осуществляемый растениями фотосинтез — процесс разложения воды, сопровождаемый выделением свободного кислорода. Но чтобы заработал этот источник, должна была появиться растительность, а чтобы она появилась — должен был появиться кислород иного источника в количествах ~0,01–0,1 % (?) по отношению к его количеству в современной атмосфере [2 и др.]. Известно, что изотопный состав кислорода атмосферы на 2,3 % тяжелее фотосинтетического. Следовательно, как справедливо замечает В.И. Бгатов, должен существовать по крайней мере еще один мощный источник кислорода, уравнивающий баланс атмосферного кислорода. Таким источником он считает дегазацию базальтовой магмы [2].

Именно с дегазацией базальтовой магмы этот автор связывает и появление первого свободного кислорода в атмосфере Земли, и его продолжающееся поступление в атмосферу в настоящее время. В этом его убеждают следующие наблюдения. 1. Содержание закисных (недоокисленных — *И.Б.*) форм железа в платобазальтах в полтора раза больше по сравнению с габброидами — их глубинными полнокристаллическими аналогами. Как замечает В.И. Бгатов [2], на эту особенность химического состава магматических пород в свое время обратил внимание Р.О. Дэли, согласно которому эффузивная магма обычно беднее оксидами железа относительно магмы интрузивной. 2. Во все геологические эпохи базальтоидный магматизм активно проявлялся на Земле — в поверхностных условиях и под водой; следовательно, это постоянно действующий источник. Среди магматических пород литосферы базальты самые распространенные породы. 3. Экспериментальными исследованиями А.П. Виноградова показано, что закись железа в расплавленном базальте, помещенном в условия глубокого вакуума, восстанавливается до металла. Таким образом, — продолжает В.И. Бгатов, — «при остывании магматического расплава в условиях высокого перепада давлений идет восстановление кислородсодержащих элементов, в частности железа, до металла, сопровождающееся высвобождением кислорода». 4. «Известно, что сидеритовые образования или сульфиды железа нередко под воздействием силлов или даек базальтового состава замещаются окисными минералами железа. Такие явления можно объяснить только тем, что *при быстром остывании, особенно краевых частей, внедряющихся магматических тел (а это обычно базальты) выделяется кислород*, который тут же и вступает в окислительные реакции с окружающими породами. Если эти породы содержат закисные (недоокисленные — *И.Б.*) формы железа, то они под воздействием выделяющегося из базальтов кислорода должны перейти в формы окисные». Последние примеры, по словам В.И. Бгатова, «особо подчеркивают то обстоятельство, что процессы окисления происходили на глубине, внутри литосфе-

ры, где отсутствует атмосферный кислород... Примеры с базальтами древнего извержения и внедрения дали нам возможность, *правда, по косвенным признакам*, судить о том, что базальтовая магма выделяла кислород в процессе своего остывания в земных поверхностных условиях и на глубине» [2]. 5. Не исключено, что существуют и существовали другие источники эндогенного кислорода, связанные с извержением магм небазальтового состава. Но, по мнению В.И. Бгатова, мощность таких источников вряд ли может быть значительной, поскольку извержение лав небазальтового состава в океанических впадинах составляет величину крайне незначительную.

В принципе, замечает В.И. Бгатов, возможность возгонки кислорода в свободном виде во время подводных извержений вулканов допускал В.И. Вернадский, полагая, что изливающаяся лава может разлагать воду на ее составные части. Основанием для такого заключения ему послужили следующие материалы. Газ, собранный в застывшей лаве Санторинского (Греция) подводного извержения 1867 г., состоял (%) из углекислоты (0,22), кислорода (21,11), азота (21,90), водорода (56,70) и метана (0,07). Газ пещеры Руайа (Франция), отобранный в пущолах под базальтом (пущоланы — слегка сцементированные отложения вулканического материала), содержит (%): углекислоты 25,38–25,69, кислорода 18,46–20,13, азота — 54,18–56,16. Эти анализы показывают, что об атмосферном происхождении кислорода говорить вообще не приходится, поскольку его содержание относительно азота значительно больше, чем в современной атмосфере. Хорошо понимая это, В.И. Вернадский и сделал предположение о возможности возгонки кислорода из воды при извержении в нее базальтовой магмы. Автор же работы [2] уверен, что, как и во всех предыдущих случаях, кислород здесь имеет глубинное происхождение и является результатом дегазации базальтовой магмы. Итак, базальтовая магма, очевидно, и магмы иного состава, наряду с другими газами, выделяют при остывании свободный кислород. Это относится и к наземным, и к подводным извержениям [2].

«Почти все исследователи вулканических и поствулканических газовых смесей, — пишет В.И. Бгатов, — отмечают свободный кислород, но рассматривают его как случайную атмосферную примесь, обусловленную либо несовершенством отбора проб, либо поступлением его из окружающей среды благодаря пористости пород, прорванных магмой или фумаролами. Обнаруженный кислород вместе с пропорциональным количеством азота в современной атмосфере исследователи, как правило, исключают из суммы газовых смесей, принимая остаток за 100 %. То, что кислород может быть только атмосферным, принимается за аксиому независимо от чистоты и корректности анализов» [2].

По-видимому, — считает В.И. Бгатов — кислород практически не выделяется в атмосферу и при метаморфизме пород или выделяется в незначительных количествах. Но такая принципиальная возможность образования свободного кислорода рассматривалась В.И. Вернадским, который считал, что *погружающиеся* в зону глубокого метаморфизма породы могли отдавать

заклученный в них химически связанный кислород в виде свободного газа за счет восстановления его из окисных соединений. Было обращено внимание на то обстоятельство, что соединения 21 химического элемента в зоне глубокого метаморфизма всегда обеднены кислородом по отношению к кислородным соединениям этих элементов в коре выветривания. Имеется несколько элементов, которые должны учитываться при балансе химических процессов земной коры. Особенно привлекательно железо. Его окисные формы при погружении в зону метаморфизма теряют кислород, переходя в закисные формы. Поскольку при метаморфизме кислород не соединяется (этому противоречат материалы реконструкции дометаморфической природы рудного вещества железисто-кремнистых формаций — [3]), можно думать, что со всеми другими элементами он устремляется вверх к земной поверхности, где вновь участвует в окислительных процессах. Итак, *вопрос выделения кислорода при метаморфизме требует специального глубокого изучения* [2] (курсив мой — И.Б.). Но по своей масштабности, заключает В.И. Бгатов, это выделение кислорода, конечно, не может быть сопоставимо с выделением его при базальтоидном вулканизме, который, как мы знаем, охватывал крупные сегменты континентальной коры, а рифтовые подводные сооружения, по которым происходило интенсивное излияние магмы, нередко имели планетарный характер. Необходимо отметить также, что *газовые струи, выделяющиеся на поверхность Земли из недр литосферы, пока не дают достоверных сведений* о наличии в них свободного кислорода. Но, возможно, это — результат отсутствия специального изучения и пока еще очень малого количества наблюдений вообще [2].

Судя по изложенным В.И. Бгатовым материалам, а также обширным литературным данным по метаморфизму, большое негативное влияние на представления геологов об источнике свободного кислорода и механизме его поступления в атмосферу оказали работы Д.С. Коржинского, который отнес кислород к *инертным* в процессах метаморфизма компонентам [5]. Более того, вовлекая железистые кварциты в метаморфизм и оперируя заимствованной им у геологов/петрологов-железурудников реакцией «гематит → магнетит», последний автор *превратил железистые кварциты из потребителей кислорода в доноры этого элемента* (1954).

Сам В.И. Бгатов изучением железисто-кремнистых формаций, включая метаморфизм пород, не занимался. Высказываемая им точка зрения на поведение кислорода в процессах метаморфизма железистых кварцитов является заимствованной из литературы — у В.И. Вернадского (см. [2]), Д.С. Коржинского (1954) (?) и т.д. Но и эти специалисты не изучали метаморфизм железистых кварцитов, хотя и высказывали свою точку зрения по этой проблеме. Последующие исследования автора данной статьи изменили представления геологов о поведении кислорода в процессах метаморфизма [3]. Оказалось, что кислород не инертный, а подвижный компонент. Убедиться в этом, во-первых, можно, если сопоставить валентные формы нахождения железа в метеоритах и породах литосферы, в том числе исследовавшихся Д.С. Коржинским. Дело в том, что со-

держась в метеоритах железо находится в двух формах — металлической (нулевой) в железных и железо-каменных метеоритах и двухвалентной в силикатах (оливин и пироксене) каменных метеоритов, а в породах земной коры практически все железо находится в двух- и трехвалентных формах в соотношении $\text{FeO} — 5,8 \% : \text{Fe}_2\text{O}_3 — 2,8 \%$ (А. Poldervaart, 1955). Из этого следует, что в аккреции Земли участвовали кислородсодержащие (в связанной форме) объекты — скорее всего, ледяные массы, работал механизм диссоциации воды на кислород и водород и обеспечивались условия миграции кислорода в породах литосферы. Во-вторых, подвижность кислорода следует и из материалов реконструкции дометаморфической и первичной природы рудного и нерудного вещества железисто-кремнистых формаций раннего докембрия [3]. Причем, вопреки Д.С. Коржинскому (1954), А.А. Глаголеву (1966) и многим другим авторам, кислород в процессе метаморфизма не выносился из железистых кварцитов за счет замещения гипотетического гематита магнетитом, а привносился в первичные сидерит-силицитовые осадки, и его привнос на прогрессивной стадии метаморфизма сопровождался образованием магнетита за счет железа сидерита, а на регрессивной — гематита за счет реликтового сидерита и магнетита [3].

На источнике ошибочных положений Д.С. Коржинского стоит остановиться подробнее. Во-первых, алюмосиликатные породы Алданской плиты, на материале которых был сделан вывод об инертном поведении кислорода, не пригодны для реконструкции метаморфизма и поведения элементов в этом процессе по причинам, названным самим Д.С. Коржинским: 1) из-за высокой степени метаморфизма пород Алданской плиты; 2) их территориальной однородности; 3) повсеместно наложенной на породы перекристаллизации [4]. К этим причинам следует добавить еще одну — близость алюмосиликатных пород, их состав, приближающийся к среднему для метаморфических пород. Что может дать реконструкция пород с такими характеристиками и при условии отсутствия геологических эталонов, корректных методов реконструкции и методов контроля?! (Так, например, применявшийся Д.С. Коржинским петрографический метод не обладает возможностью восстанавливать исчезнувшие в процессе метаморфизма фазы, а они, как известно, исчезают; и др.) Во-вторых, вывод об инертном поведении кислорода в процессе метаморфизма сделан по конечному результату, минуя реконструкцию самого процесса; кроме того, в отсутствие геологических эталонов судить о поведении элементов на основании сопоставления петрохимических данных некорректно, поскольку, как уже отмечалось, химический состав пород относится к категории внешних, несущественных признаков: здесь Д.С. Коржинским, с одной стороны, нарушен принцип историзма геологической науки, а с другой, принцип субординации признаков — внешние/внутренние. В-третьих, априори принят противоречащий логике познания принцип изохимического характера метаморфизма: природа неоднородна и находится в состоянии непрерывного движения, изменения, развития. В-четвертых, в выводе об инертном поведении кислорода в про-

цессах метаморфизма Д.С. Коржинский, несомненно, опирался и на господствовавшие в 1930–1950-е годы представления о дометаморфической гидроксидной природе рудного вещества железистых кварцитов раннего докембрия.

Эти представления, помимо их априорности, опровергаются материалами проведенной автором данной статьи элементно-геохимической реконструкции железисто-кремнистых формаций раннего докембрия. Ну и еще раз напомним об отсутствии соответствующих геологических эталонов и методов контроля. К сожалению, исследователи не обращают, по-видимому, внимание на эти ошибки Д.С. Коржинского и воспринимают развиваемую им априорную модель метаморфизма как истину в последней инстанции.

Д.С. Коржинский в обосновании представлений о метаморфизме широко пользуется такими понятиями, как правило фаз Дж. Гиббса, как равновесность, на которой основано само это правило. Вопреки Д.С. Коржинскому, А.А. Маракушеву, В.А. Жарикову, Л.Л. Перчуку, С.П. Корицовскому, В.И. Фонареву и многим другим авторам, заметим: *доказательств равновесности природных процессов нет*. Дело в том, что самим мирозданием в природу заложена неравновесность. Как известно, наша Солнечная система, наша Вселенная образованы 92 *неравновесными* элементами периодической системы Д.И. Менделеева.

Для автора статьи, как геолога-геохимика, неравновесность элементов начинается с различия в числе протонов в их ядрах (в ядре водорода один протон, в ядре урана 92 протона), продолжается в различии их атомного строения, строения внешних электронных оболочек, управляющих поведением элементов в химических процессах, строения минералов и т.п. Если принять во внимание не только анизотропию элементов и их соединений, но и геологической среды — разрез, анизотропию метаморфизирующих агентов и т.п., то станет очевидным, что никакой равновесности в природе нет и быть не может! В основе материи лежит неоднородность, и материя ничего другого, кроме неоднородности, породить не может. Поясним сказанное на одном типичном примере. Д.С. Коржинский пишет [6]: «Анализ парагенезисов минералов метаморфических пород с точки зрения правила фаз показывает, что FeO и Fe_2O_3 в них самостоятельные компоненты, соотношение которых определяет число и характер минералов в породе; само это соотношение несомненно зависит от первичного состава исходной породы». В этом положении все надумано: 1) в правило фаз (Дж. Гиббса, В.М. Гольдшмидта, самого Д.С. Коржинского) не входит геологическое время; поэтому уже только по этой одной причине цитируемое правило не применимо к природным процессам; поэтому из него не может следовать, что FeO и Fe_2O_3 в метаморфических породах самостоятельные компоненты, соотношение которых якобы определяет число и характер минералов в породе; 2) то, что это соотношение (FeO и Fe_2O_3), несомненно, зависит от первичного состава исходной породы, также априори придумано Д.С. Коржинским (или основано на применении им к раннему докембрию порочного принципа актуализма).

В частности, из выполненной автором настоящей статьи реконструкции метаморфизма железисто-кремнистых формаций раннего докембрия [3] следует, что о подвижности элементов в процессах метаморфизма нужно судить на основании конкретных исследований конкретных объектов, что ко всякого рода глобальным закономерностям, в том числе подвижности элементов, выведенной без учета конкретной среды, нужно относиться с большой осторожностью, помня, что геология — наука историческая и в геологии все имеет смысл только во времени.

Возвращаясь к гипотезе В.И. Бгатова, заметим: из сопоставления химического состава базальтов/платобазальтов и кристаллических габброидов, минуя реконструкцию, делать вывод о том, что базальты, внедряясь в толщу литосферы или изливаясь на поверхности, сбрасывают содержащийся в них кислород, некорректно (см. выше). И эксперименты А.П. Виноградова по кристаллизации расплавленного базальта в вакууме, сопровождающиеся сбрасыванием кислорода с одновременным восстановлением железа вплоть до металлического, по той же причине не могут быть использованы в указанных целях. В.И. Бгатов действительно прав в том, что на контакте с диабазовыми дайками, внедряющимися в толщу пород, обогащенных восстановленными формами железа (сидеритом, пиритом и др.), в последних происходит окисление с образованием, в частности, магнетита. По существу к той же категории фактов можно отнести и кристаллизацию габброидов, в том числе содержащих магнетитовое, титан-магнетитовое оруденение. Дело, однако, в том, что В.И. Бгатов не учитывает флюидную компоненту, сопровождающую внедрение базальтовой магмы как в эффузивном, так и интрузивном вариантах.

Неизбежно возникает вопрос — откуда в базальтах кислород, превративший их в источник этого элемента? Вопрос не случаен: слагающие базальты силикаты недосыщены кислородом, нет и других минералов, которые могли бы явиться донорами кислорода. Следовательно, должен существовать другой источник кислорода, питающий этим элементом, в частности, базальты (в отличие от метеоритов, в которых железо находится в нулевой и/или двухвалентной формах, в базальтах железо находится в двух- и трехвалентной формах в примерном соотношении (в %): $3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ и 8 FeO (С.В. Ефремова, К.Г. Стафеев, 1985)), и что за склонность кислорода избирательно питать именно базальты?

Выполненная автором статьи реконструкция метаморфизма железисто-кремнистых формаций тем и важна, что она — вместе со сказанным выше — показывает, что где-то на глубине (в земной коре, верхней мантии?) существует источник кислорода. Таким источником, вероятнее всего, была и остается вода, захваченная в форме ледяных масс в процессе аккреции Земли, а механизмом выделения кислорода из воды — ее термическая диссоциация, предполагавшаяся многими исследователями. И кислород в процессах метаморфизма не инертен, а подвижен, и не выносятся из железистых кварцитов, а вносится в них флюидами и, реагируя с сидеритом, генерирует магнетит на

прогрессивной стадии метаморфизма и дисперсный гематит — на регрессивной; кроме того, с регрессивной стадией метаморфизма связано и образование мартита (псевдоморфного по магнетиту). Корректные признаки образования мушкетовита — магнетита, псевдоморфного по гематиту в железистых кварцитах раннего докембрия, автором статьи не обнаружены ни петрографическим, ни элементно-геохимическими методами.

Выводы

1. Кислород в атмосфере Земли появился не ранее 1,8 млрд. лет, а вероятнее всего, на рубеже 0,7 млрд. лет.

2. Окисление, сопровождавшее метаморфизм железисто-кремнистых формаций соответственно с образованием магнетита за счет сидерита в прогрессивную стадию и гематита за счет магнетита и остаточного сидерита в регрессивную стадию [3], является частным случаем глобальной гипогенной оксигенации земной коры.

3. Наиболее вероятным источником кислорода является вода, захваченная в форме ледяных масс в процессе аккреции Земли, а механизмом выделения — термическая диссоциация, предполагавшаяся ранее рядом исследователей.

4. Вопреки мнению Д.С. Коржинского и многих других исследователей, кислород не инертный, а подвижный компонент; именно благодаря этой его особенности произошла глобальная гипогенная оксигенация литосферы с последующим проникновением кислорода в гидро- и атмосферу; на это и «ушли» миллиарды лет. Одно из следствий глобальной гипогенной оксигенации — создание благоприятных условий для возникновения жизни на Земле и ее последующей эволюции. С появлением растительности основным источником кислорода атмосферы стал осуществляемый растениями фотосинтез.

5. Ошибочные представления Д.С. Коржинского об инертном поведении кислорода в процессах метаморфизма, в частности, являются следствием подмены реконструкции метаморфизованных пород Алданской плиты, изучавшихся этим автором, субъективными постулатами о господстве в раннем докембрии окислительной атмосферы, изохимическом характере метаморфизма, несуществующей в природе равновесности и др., а также игнорирования закономерностей эволюции химизма литосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд А.Д. Эксперимент «Гея»: проблема живой Земли. — М.: Сиринь садхана, 2001.
2. Бгатов В.И. История кислорода земной атмосферы. — М.: Недра, 1985.
3. Бергман И.А. Железисто-кремнистый рудогенез раннего докембрия. — М.: ВИМС, 2012.
4. Коржинский Д.С. Петрология архейского комплекса Алданской плиты // Тр. ЦНИГРИ. — 1936. — Вып. 86.
5. Коржинский Д.С. Подвижность и инертность компонентов при метасоматозе // Изв. Акад. Наук СССР. Сер. геол. — 1936. — № 1. — С. 35–58.
6. Коржинский Д.С. Факторы минеральных равновесий и минералогические фации глубинности // Тр. Ин-та геол. наук. Петрографич. сер. — 1940. — Вып. 12. — № 5.

© Бергман И.А., 2015

Бергман Иван Андреевич // vims@df.ru