

Биогеохимические системы и рудообразование

М.М.Константинов, А.А.Сидоров

В 1929 г. друзья и соратники московского профессора Я.В.Самойлова издали сборник его статей под общим названием «Биолиты». Так было положено начало новому научному направлению, исследовавшему роль биосистем в формировании земной коры. Наша задача более локальна, но в то же время и более сложна — показать значение биогенного фактора в концентрировании металлов в масштабах рудных месторождений.

Руда как скопление минералов, рентабельное для промышленного освоения, обычно включает концентрации металлов, значительно превышающие их рассеянные (фоновые, или кларковые) содержания в земной коре.

Л.Н.Овчинников (1988) провел специализированный анализ этой проблемы для основной группы металлов, характеризующих рудные месторождения. По его данным, концентрации Mn в 50 раз превышают его средние содержания в земной коре (0.10%); Cu — в 43 раза ($4.7 \cdot 10^{-3}$); Pb — в 188 раз ($1.6 \cdot 10^{-3}$); Mo — в 46 раз ($1.1 \cdot 10^{-6}$); Ag — в 288 раз ($7.0 \cdot 10^{-6}$); Au — в 285 раз ($4.3 \cdot 10^{-7}$); Pt — в 400 раз ($7.0 \cdot 10^{-7}$). Заметим, что достижение промышленных концентраций для благородных металлов требует значительно большего их концентрирования по сравнению с «фоном» — на порядок выше, чем для цветных.

© Константинов М.М., Сидоров А.А., 2008



Михаил Михайлович Константинов, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института Министерства природных ресурсов России. Область научных интересов — месторождения золота и других благородных металлов. Лауреат премии им. академика В.А.Обручева. Наш постоянный автор.



Анатолий Алексеевич Сидоров, член корреспондент РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник РАН. Круг научных интересов охватывает условия формирования рудных месторождений. Лауреат премии им. академика В.А.Обручева.

Учение о месторождениях полезных ископаемых как фундаментальная и в то же время сугубо прикладная область научных знаний на протяжении столетий всем комплексом геологических наблюдений, исследований, экспериментов, решает по существу один вопрос: в чем состоят механизмы, приводящие в конечном итоге к феноменальным концентрациям металлов в локальных участках земной коры. В этой связи различными исследователями затрагивался вопрос о роли биогенного фактора в накоплении металлов.

Тем не менее мы, видимо, впервые выполнили общий обзор этой проблемы. При этом несомненно, что ряд ценных исследований мог быть и упущен. Однако и те данные, которые нам удалось собрать и проанализировать, позволяют выдвинуть принципиально новое положение: биогеохимические процессы — необходимый глобальный фактор, определяющий стадийное концентрирование металлов в земной коре, приводящий на конечных стадиях к формированию рудных месторождений.

Первые признаки биогенеза в земной коре датируются 4–4.4 млрд лет (И.А.Резанов, 2002). Очень важны в этом плане доказательства биогенного происхождения огромных скоплений графита в Алданском районе, возраст которых определяется интервалом 3.5–4 млрд лет.

Первые несомненные признаки участия биогенных факторов в образовании рудных месторождений установлены в гигантской золото-урановой провинции Витватерсранд в Южной Африке. Р.Хатчинсон [1] опубликовал материал о наличии нитевидных выделений золота, которые образовались путем замещения древних водорослей. Этими данными также обосновывается предположение о присутствии кислорода в архее. Большинство современных исследователей предполагает, что развитие жизни определило увеличение удельного веса кислорода в атмосфере и усиление его активности в геологических процессах в целом и в рудообразовании в частности.

Железорудные формации

Принципиальное значение для рассматриваемой проблемы имеет исследование Дж.Л.Ла-Бержа [2], обосновавшее биогенное происхождение докембрийских железорудных формаций (которые общепринято называть железистыми кварцитами).

Верхний временной интервал их образования — 1800 млн лет. На всех таких месторождениях широко распространены сфероидальные кремнистые и сидеритовые (FeCO_3) выделения размером 20–30 мкм. Сфероидальные же образования диаметром 20–35 мм, выполненные желтовато-бурым (до черного) органическим веществом, установлены на многих месторождениях Канады и Австралии. В них присутствуют также тонкозернистый пирит (FeS_2) и карбонаты, частично замещающие органическое вещество. Яшмы с водорослями некоторых железорудных формаций содержат нитчатые и шаровидные образования, подобные сфероидальным формам из органического вещества в черных строматолитовых* кремнистых породах.

Органическое вещество часто замещается сидеритом и пиритом, а последние — гематитом.

Как полагает Ла-Берж, «в пользу общего (биогенного, а не коллоидного) происхождения сфероидальных образований свидетельствует нахождение их во многих районах и породах, сформировавшихся в различных гидродинамических условиях; присутствие в одном шлифе многих тысяч однородных по размеру образований; сходство размеров сфероидальных образований и известных биологических видов» [2].

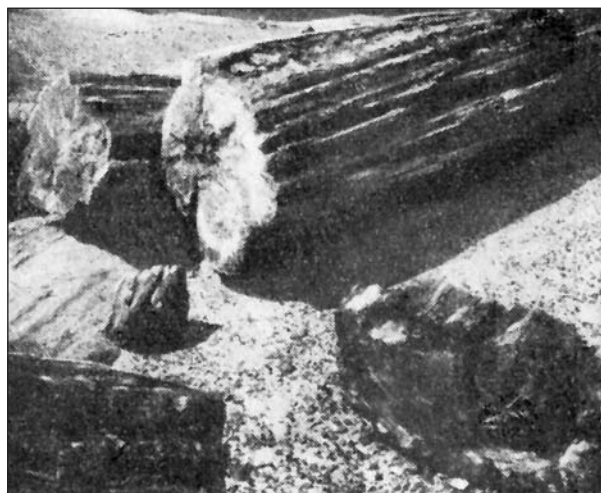
* Строматолиты — наросты на дне мелких водоемов, образованные низшими водорослями с примесью карбоната кальция.

Следует отметить постоянную повышенную «фоновую» золотоносность железистых кварцитов. В.И.Старостин и Г.А.Пельмский, специально исследовавшие эту проблему (2006), показали, что во многих участках содержание золота достигает 0.1–1.0 г/т, т.е. приближается к промышленным. Н.А.Быховер (1984) оценил общие мировые ресурсы железа в железистых кварцитах в 3 трлн т при средних содержаниях 28%. Объемы таких руд составляют около 11 трлн т. Приняв условно среднее содержание в них золота за 0.01 г/т, получим ресурсы этого металла в железистых кварцитах в 110 тыс. т, что примерно сопоставимо со всем добытым в мире золотом.

Накопление урана

Судьба концентрирования урана в связи с развитием жизни рассмотрена в работах С.Г.Неручева [3]. Он полагает, что в истории Земли периодически наблюдались кратковременные эпохи, «во время которых оживлялся рифтогенез, проявлялся интенсивный базальтовый вулканизм, накапливались богатые планктонным органическим веществом морские радиоактивные осадки с аномально повышенными концентрациями U, P, S, Fe, Mo, V, Ni, Cu, Zn, Cr, Co, Ag, Au, As, Ir, Os и редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Yb)». В частности, он отмечает и глобальные циклы рудообразования.

Существуют и весьма эффективные «зримые» свидетельства биогенного концентрирования урана. В пермско-юрских пологозалегающих осадочных толщах плато Колорадо в Америке, представленных чередующимися песчаниками и глинистыми сланцами, обнаружены стволы деревьев, целиком замещенные минералами урана (настураном и уранинитом) и ванадия.



Окаменелые стволы деревьев, замещенные минералами урана, в породах формации Чинл (плато Колорадо, США).

Месторождения урана имеют вкрапленный характер и связаны с пластами песчаников, сформировавшихся в условиях, приближенных к континентальным. Носителями растворенного урана (а также ванадия и небольших количеств свинца и цинка) были грунтовые воды, частично подогретые за счет температурного градиента и фильтровавшиеся по захороненным русловым каналам. В палеобассейн, где отлагались песчано-глинистые толщи с большим количеством органики, уран поступал из обрамлявших его более древних plutonic и вулканических пород.

Месторождения фосфора

Убедительные данные о роли биогенного фактора в формировании месторождений фосфора приводит В.Н.Холодов. В разрезе докембрия и фанерозоя им выделяются две глобальные эпохи фосфоритообразования — вендско-кембрийская и мел-палеогеновая. В вендско-кембрийское время широкое распространение получают пластовые и пластово-линзовидные залежи фосфоритов, переслаивающиеся с карбонатными, кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами. Для них типичны строматолитовые макротекстуры и постоянное присутствие окремнелых и органостенных микрофоссилий. Фосфатные залежи обычно ассоциируются с железомарганцевыми рудами, углеродсодержащими черными сланцами и фтаунитами, содержащими повышенные количества V, U, Co, Ni, Ti, Cr, Mo, Se, Re и других металлов, а также пластовыми доломитами.

Меловое и палеогеновое время характеризуется обилием зернистых и желваковых фосфоритов. Мелкие (1–10 мм) рассеянные зерна фосфоритов, заключенные в карбонатном и глинистом материале, сопровождаются обломками фосфатизированных зубов акул, губок, раковин пелеципод и гастропод. Фосфориты ассоциируются с карбонатными отложениями, оолитовыми железняками и марганцевыми карбонатными рудами.

При поступлении фосфора с речными стоками в морские бассейны огромную роль, как отмечает Холодов, играет биота. Многие планктонные организмы, в том числе диатомеи, способны извлекать фосфор даже из силикатной взвеси. В эстуариях рек, на границе река—море, количество извлекаемого планктоном фосфора в 15 раз превышает его количество, привносимое в растворенной форме. На стадии диагенеза в верхней части полужидких илов, захороняемых на дне морских бассейнов, протекает процесс сульфат-редукции, способствующий возникновению H_2S и CO_2 , подкислению иловых растворов и растворению в них огромного количества P_2O_5 . Иловые растворы и генетически связанные с ними наддонные сероводородные воды — главные источники фосфора в процессах фосфогенеза. А окисление сероводо-

рода и подщелачивание иловых или наддонных сероводородных вод карбонатами — основная причина выпадения фосфора в осадок и образования фосфатных пеллет, зерен и конкреций [4].

В целом фосфоритообразование зависит от гармонического сочетания многих литологических факторов, проявляющихся на стадиях седиментации, диагенеза и катагенеза. Дисгармония этих факторов гасит фосфогенез.

Металлы платиновой группы

Интенсивные исследования по поискам нетрадиционных месторождений элементов платиновой группы позволили получить новые данные о стабильно повышенных концентрациях металлов в глинистых сланцах и углях. Литература по этому вопросу весьма обширна. Отметим только некоторые принципиально важные работы. Так, В.В.Середин и М.Ю.Поваренных (1995) установили минералы платины — платина самородная, изоферроплатина, куперит $[Pb, Pd, Ni]S$ и фаза 62.3% Pb, 22.6% S и 15.1% Sn — в углях Павловского месторождения в Приморье. Платиновые угли включают кластогенные (обломочные) и аутигенные (образовавшиеся на месте нахождения) минеральные ассоциации. В кластогенную ассоциацию входят кварц, ильменит, циркон и другие обломочные минералы. Аутигенная ассоциация включает мельчайшие (1–10 мкм) выделения минералов чешуйчатой, почковидной и округлой формы. Среди них барит, фосфаты и фторкарбонаты, формировавшиеся в окислительных условиях, а также сульфиды, самородные металлы и интерметаллические соединения Fe, Ni, Co, Cu, Zn, Sn, Bi, Ag, Au и Pt, образовавшиеся в восстановленной обстановке. Наиболее широко распространены в углях и ископаемой древесине фромбоидальный пирит, барит и галенит.

Как полагают эти авторы, формирование аутигенных минералов происходило в основном из хлоридно-сульфатных вод, поступающих в бассейн на стадии торфонакопления и диагенетических преобразований органического вещества. Доказательством этого служат минералы платины, обнаруженные на значительном (до 1 м) удалении от контактов пластов, куда, учитывая отсутствие деформаций, после завершения процессов углефикации минерализованные воды проникнуть не могли.

Г.Куха [5] в меденосных отложениях верхней перми в Нижней Силезии обнаружил горизонт сланцев мощностью в несколько сантиметров (иногда до 10 см), содержащий металлы группы платины и золото. Их концентрация составляет (г/т): Au — 10–3000; Pt — 10–370; Pd — 10–120 (до 1000). Кроме того, присутствуют (г/т) Bi — 100–2000, Hg — 200–1500, Ag — 2–1100, Mo — 260–4800, V — 10–5200. Куха предполагает, что

благородные металлы входили в состав металло-органических соединений, а их высвобождение в самостоятельные формы произошло при процессах автоокисления.

В протерозойских «черных сланцах» Северного Прибайкалья А.С.Ященко с коллегами (1996) выявил комплексную геохимическую аномалию Pt, Pd, Au, U, Ni, Cu и Zn. Содержание Pt составляло 0.05–0.5 г/т, Pd — 0.05–1.0 г/т.

Мы в 60 пробах глинистосланцевых толщ среднеюрского возраста Северного Кавказа обнаружили устойчивые высокие содержания Pd (0.01–1 г/т), а в линзах бурых углей и литифицированных древесных остатков установлено — 0.4–1.3 г/т, и, кроме того, Pt — 0.2–0.6 г/т и Rh — 0.03 г/т [6, 7].

Таким образом, можно достаточно определенно говорить о закономерном концентрировании платины в песчано-глинистых осадках, обогащенных органическим веществом.

Концентрирование золота

Весьма эффективные наблюдения биогенного концентрирования золота выполнили Р.А.Амосов и С.В.Васин. Они провели массовое электронно-микроскопическое изучение образцов самородного золота из руд и россыпей и установили многочисленные микрофоссилии, представляющие собой полные псевдоморфозы золота по цианобактериям, диатомовым водорослям и некоторым другим микроорганизмам. В слабо деформированных образцах из россыпи удавалось распознать зональное строение, с чередованием от периферии к центру: прерывистые полосы массивного сложения; тонковолокнистые зоны, в которых золотые трихомы вытянуты в радиальном направлении; ядра, состоящие из золотых кокков и вибрионов. Проба золота в микрофоссилиях колебалась от 650 до 750. Обнаружить биогенное

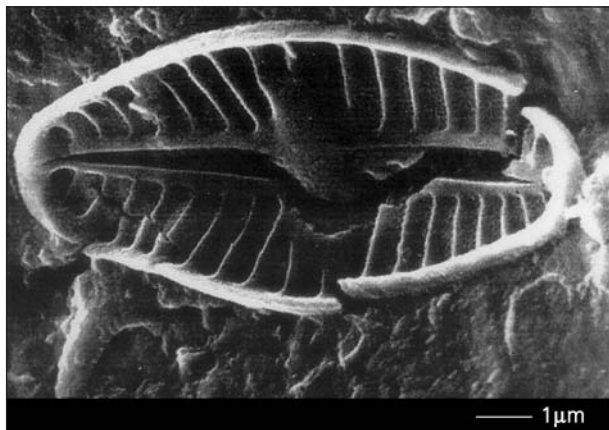
золото довольно трудно. Оно обладает высокой диффузионной подвижностью в твердом состоянии, при этом биогенные формы легко трансформируются в обычные кристаллические.

Н.Г.Куимова обобщила результаты многолетних экспериментальных исследований по аккумуляции и кристаллизации золота бактериями и микроскопическими грибами. Ею установлено, что наиболее активные биосорбенты — граммположительные бактерии рода *Bacillus*, а среди грибов — представители рода *Penicillium*. В результате биосорбции происходит восстановление ионной формы золота и дальнейшая иммобилизация его на биомассе. В процессе кристаллизации образуются пластинки и коллоидные пленки.

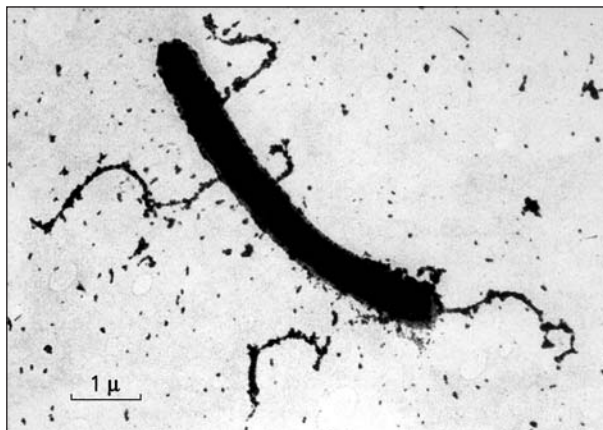
Процесс кристаллизации коллоидного золота имеет полистадийный характер. Сначала происходит биосорбция — быстрый процесс связывания металла клеточной стенкой. На этой стадии возникают координационные связи частиц коллоидного золота с функциональными группами структурных компонентов клеточной стенки. Далее — медленный процесс конденсации металла в центрах кристаллизации, в результате которого образуются ажурные, сетчатые структуры золота на поверхности мицелия. Затем — трансформация полученных золотоорганических структур и дальнейшая кристаллизация. В результате золото постепенно освобождается от биофильных элементов, образуя рыхлые губчатые биогенные агрегаты [8].

Устойчивая ассоциация месторождений золота с углисто-терригенными толщами особенно четко прослеживается вдоль западной окраины американской части Тихоокеанского пояса (Аляско-Джунго на Аляске и Мазер Лоуд в Калифорнии), где развиты толщи аспидной формации.

Возможно, именно эта толща простирается к западу, на территорию Чукотки, где локализовано крупное Майское месторождение. В пределах рудного узла удалось наблюдать корреляцию зо-



Скелет диатомеи, замещенный золотом (Р.А.Амосов, 1996).



Бактерия из рода *Tetanus* с адсорбированными частицами коллоидного золота. Увел. 9000.

лота и $C_{орг}$ в рудах с низким содержанием кремнезема и полное исчезновение этой корреляции в окварцованных породах. Однако следует отметить, что сам факт корреляции золота и углерода не может служить доказательством биогенного происхождения металла.

Устойчивая связь месторождений золота с турбидитовой формацией установлена для ряда регионов, в том числе она детально изучалась нами в Южном Верхоянье, где развиты стратиформные залежи золото-кварцевых руд, и в пределах пермских терригенных толщ Колымского региона. Содержание золота в ритмичных песчано-алевролит-сланцевых толщах Южного Верхоянья в два—пять раз превышает его фоновые значения. Гидротермально-осадочная модель формирования месторождений золота предполагает поступление части металлосодержащих растворов в воды придонной части морского бассейна и биогенное концентрирование золота [6].

Ф.Д.Овчаренко с коллегами (1985) разработал гипотезу биоминерализации, из которой следует, что микроорганизмы аккумулируют коллоидное золото, поставляемое в морской бассейн гидротермальными растворами, и обогащают им реликтовые осадки. Моделирование биогеохимической системы организм—металл и процессов эволюции тонкодисперсного золота в осадке осуществлялось на клетках *Bacillus subtilis*, а также на споровых культурах, выделенных из природных взвесей в морской бухте с известными металлоносными осадками. Исследования показали, что живые клетки способны взаимодействовать с золотом. Они притягивают к своей поверхности и прикрепляют коллоидные частицы и их агрегаты. Впоследствии происходит растворение, перекристаллизация и формирование более крупных час-

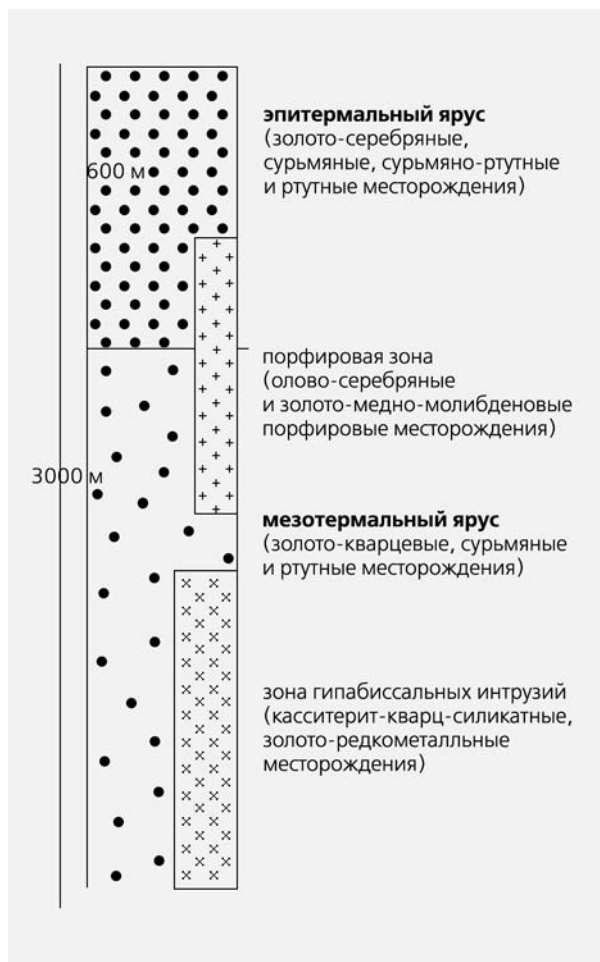
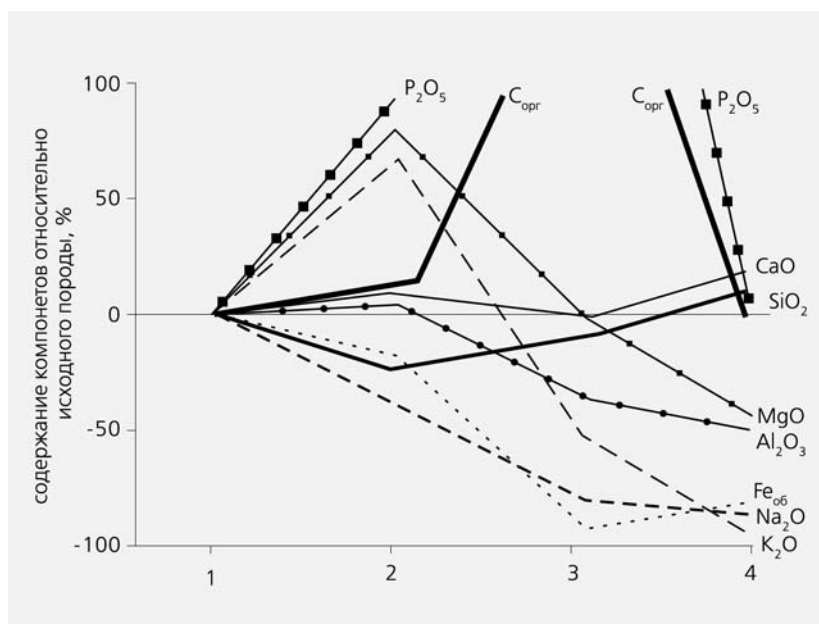


Схема ярусного оруденения в зоне сульфидизации триасовых черносланцевых толщ Майского рудного района (Чукотка).

Изменения химического состава глинистых сланцев и алевролитов в золотоносной зоне сульфидизации Майского месторождения (Чукотка). По горизонтали (в скобках даны средние содержания золота в г/т): 1 — слабо сульфидизированный алевролит (12); 2 — алевролит из зоны смятия и тонкой сульфидизации (10); 3 — глинистый сланец с гнездами углистого вещества (10—20); 4 — окварцованная и сульфидизированная порода (до 100).



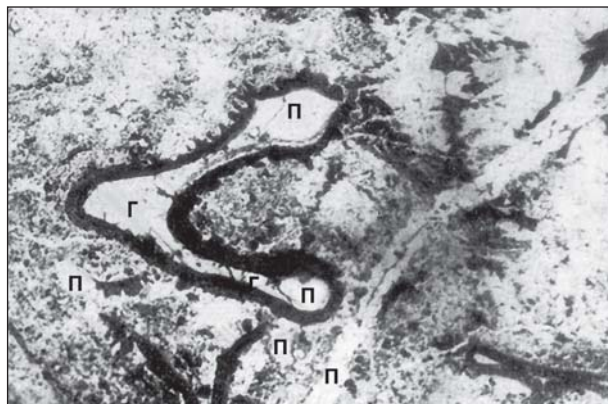
тиц. С течением времени клетка освобождается от золота. В ассоциациях клеток частицы стягиваются в места контакта и укрупняются. Для одиночных клеток более характерно увеличение размера частиц без предварительного агрегирования. При длительном контакте на поверхности клеток образуются крупные изометричные или дендритовидные кристаллы [9].

В целом выделяются два основных способа биогенного концентрирования золота: бактериальный метаболизм и замещение водорослей и других растительных остатков. Детальные исследования процессов растворения и миграции золота в почвах позволили установить, что оба эффекта биоконцентрирования задействованы в единой системе. Микробы почв поглощают около 95 вес.% золота, растворенного в форме $AuCl_4$. Происходит формирование золотосодержащих аминокислот, из которых со временем металл высвобождается и сорбируется твердыми частицами почвы [10].

Полиметаллические руды

Биогенное концентрирование меди, свинца и цинка установлено многими детальными исследованиями.

Геохимическое и микробиологическое изучение образцов воды и минералов медно-порфиrowого месторождения Моренси в Аризоне (США) показало, что окисляющие железо бактерии (*thiobacilli*) и сульфатредуцирующие бактерии участвуют в выщелачивании и отчасти обогащении медью зоны гипергенеза [11]. Полоса выщелачивания с содержанием Cu и S по 0.06% имеет ширину 200 м, а перекрываемая ею полоса обогащения (0.42% Cu и 0.39% S) — 180 м. Образцы из зоны выветривания содержат большое количество *thiobacilli*, которые интенсивно размножаются в период дождей. Их популяция (при нормальном рН) достигает более $>10^7$ бактерий на квадратный



Центральная часть микроспоры выполнена галенитом (Г) и пиритом (П). Увел. 110. Волгинское месторождение (Подмосковная котловина).

миллиметр. В засушливые периоды популяция резко уменьшается. При этом сульфиды растворяются и переходят в сульфаты (халькантит). На участке площадью около 1.5 км² производится несколько килограмм бактерий, способных ежегодно выщелачивать от 0.14 до 0.87 т меди.

Биогенное концентрирование свинца и цинка установлено в бурогольных бассейнах Подмосковной котловины, где широко развиты галенит и сфалерит (PbS и ZnS). Так, на Волгинском угольном месторождении встречаются мельчайшие рассеянные вкрапленности и тончайшие пластинки галенита, а также агрегаты более крупных кристаллов в центральных частях округлых пиритовых стяжений и в пиритизированных стволах растений. В последнем случае отмечается и сфалерит, содержащий более 1% железа и около 0.1% кадмия. Галенит, как и пирит, выполняет ядра клетчатки, а сфалерит, как правило, замещает вещество, обволакивающее эти ядра. Нередко галенит наблюдается и внутри микроспор. Встречаются тончайшие мелкие прожилки галенита и сфалерита, секущие более ранние их выделения. Наличие таких прожилков, по нашему мнению, свидетельствует о более поздней перегруппировке вещества пиритовых конкреций.

Цветные металлы

Максимальные концентрации олова, молибдена и вольфрама в углях, горючих сланцах и углеродисто-кремнистых образованиях в сотни и тысячи раз превышают кларковые. При этом отмечаются следующие закономерности [12]:

- максимальные содержания нередко приурочены не к залежам углей, а к песчано-глинистым отложениям угленосных формаций, обогащенных органическим веществом;
- наиболее высокие концентрации элементов обычно наблюдаются в слабометаморфизованных бурых углях;
- молибден обнаруживает устойчивую геохимическую ассоциацию с ванадием, а вольфрам — с золотом;
- выделяется венд-кембрийская эпоха образования углеродисто-кремнисто-сланцевых формаций, перспективных на выявление молибден-ванадиевых и вольфрамовых месторождений.

В подтверждение своего положения о существовании глобальной эпохи биогенной концентрации молибдена в раннем палеозое В.К.Денисенко с соавторами указывают на то, что в Западной Европе широко развиты нижнепалеозойские (V — E и O — S) ванадиеносные черные сланцы и фтаниты с повышенными концентрациями молибдена. В этих отложениях в северо-восточной части Верхнесилезского угольного бассейна Польши в последние годы выявлено молибденовое оруденение стратиформного типа.

Молибденоносные сланцы развиты в геосинклинальных отложениях среднеордовикско-раннесилурийского возраста, слагающих складчатый фундамент мезозойского платформенного чехла. В металлогеническом отношении данный район характеризуется проявлением разнотипной минерализации (пиритово-медной, молибденовой и медно-молибденовой порфировой, свинцово-цинковой и др.). При этом молибденовая минерализация развивается как в метаморфических сланцах, так и в прорывающих их гранитоидных порфириновых интрузивах.

Молибденовое оруденение преимущественно локализовано в пачке черных кремнисто-илистых пелитовых сланцев мощностью в несколько сотен метров. В пределах этой пачки выделяются продуктивные горизонты с содержанием молибдена до 0.19% и меди до 0.6%. В отдельных случаях фиксируются также цинк (до 0.05%), свинец (до 0.04%), вольфрам (до 0.1% WO₃). Молибденит (MoS₂) в виде рассеянной вкрапленности с размерами зерен от ультрамикроскопических до 0.4 мм встречается по всей толще пелитовых сланцев. Он часто присутствует и в секущих кварц-карбонатных и кварц-полевошпатовых прожилках.

В гидротермальных измененных породах содержания молибдена и меди резко уменьшаются, вплоть до почти полного их отсутствия.

Близкая геологическая ситуация проявления стратиформной молибденовой и сопутствующей минерализации наблюдается в штатах Иллинойс и Индиана (США), где в черных сланцах карбонового возраста установлены повышенные содержания Мо (0.1%), Zn (0.9%), Pb (0.03%), Se (0.02%), Cu (0.4%), Ni (0.04%), W (0.06%) и др. Максимальные концентрации молибдена (до 0.25%) и ванадия (до 1.0%) отмечаются в органогенном материале.

Однако наибольшее практическое значение имеют концентрации молибдена в Южном Китае, где в раннекембрийских черносланцевых толщах выявлен ряд объектов, на которых осуществляется промышленная отработка комплексных руд, содержащих Мо, Pd, Ni и ряд других компонентов. Средние содержания металлов в концентрате (в %): Мо — 4, Ni — 4, Zn — 2; (в г/т): Au — 0.7; Ag — 50; Pt — 0.3; Pd — 9.4; Ir — 0.03. Оруденение приурочено к нижнекембрийской флишоидной черносланцевой толще чехла Южно-Китайской платформы, которая фиксирует протерозой-кембрийское несогласие [13], а также к базальным горизонтам, перекрывающим погребенную рифтогенную структуру. Рудовмещающие толщи прослежены в целом на 2000 м. Однако в их пределах минерализация локализована в горизонте мощностью около 10 м. Он представлен чередованием слоев, обогащенных сульфидами фосфатных черных сланцев, углеродистых аргиллитов и мелкозернистых песчаников.

Месторождения ртути

Как отмечает Н.А.Озерова с коллегами, ртутные (впоследствии было доказано, что они комплексные золото-ртутные) месторождения Калифорнии характеризуются тесной ассоциацией ртути с жидкими, твердыми и газообразными битумами, нефтью и углеводородами из семейства асфальтидов. На одном из месторождений установлены жильные образования, состоящие из сферических скорлупок опала, заполненных нефтью с газовыми пузырьками, внутри которых отмечается киноварь (HgS). На юго-восточном продолжении ртутного пояса Калифорнии в природном газе и нефтях выявлена самородная ртуть [14].

Детально изучив современные термальные источники Камчатки, Озерова с соавторами установила отложение киновари на водорослевых скоплениях. Так, в грифоне Апанельских источников киноварь образуется на колониях водорослей. Значения δ³⁴S в киновари — -9.6‰, тогда как в сульфате термальных вод — +11.7‰. Разница в 20‰ между составом сульфатной и сульфидной серы соответствует разделению изотопов серы при бактериальном восстановлении сульфата. Грифоны избилуют остатками растительности, а в самих растворах обнаружено высокое содержание органического вещества (72 мг/л).

Н.Д.Турдукеев (1981) выделяет в Южном Тянь-Шане слабоуглеродистую-карбонатную (известняково-доломитовую битуминозную) формацию (D₂₋₃-C₁) с ртутным оруденением. Она представляет собой широтную, выдержанную по мощности полосу, распространенную на всем протяжении северных склонов Туркестано-Алайской горной системы. Общая мощность этих отложений достигает 2500—3000 м. В них располагается подавляющее большинство ртутных месторождений и рудопроявлений. Выделяется три стратифицированных рудоносных уровня. Типоморфные элементы формации — ртуть, селен, магний, кальций, стронций, барий, фтор. Содержание S_{орг} — 0.2—3.8%. Рудоносные горизонты образовались в достаточно восстановленных зонах морского мелководья. Геохимический фон ртути в этой формации около 30 кларков. Однако отдельные узко стратифицированные горизонты битуминозных магнезиально-карбонатных пород характеризуются аномально повышенными концентрациями ртути (0.01—0.001%).

* * *

Наряду с описанными нами элементами-«биофилами» существуют и элементы-«биофобы». К ним можно отнести олово. Как отмечает Е.Т.Бубнов (1981), в процессе миграции со стороны континента в морской бассейн оно проходит транзитом через шельфовую, богатую органическим веществом зону и сорбируется глубоководными

глинистыми осадками. Последующим плавлением и гидротермальной конвекцией этих осадков обусловлена повышенная оловоносность провинций с мощными накоплениями глинистых толщ (Якутия, Боливия и др.).

Проведенный нами по необходимости лаконичный и далеко не полный обзор позволяет высказать некоторые соображения общего порядка.

Области биогенного концентрирования металлов далеко не ограничиваются углеродистой формацией. Они включают турбидитовую формацию континентального склона, формирующуюся в надрифтовых зонах; глинисто-карбонатную формацию шельфовой зоны континентов (пассивной континентальной окраины); формацию органогенных доломитов и известняков мелководных морских бассейнов и лагун; континен-

тальные, в том числе угленосные молассы; аспидные сланцы троговых прогибов.

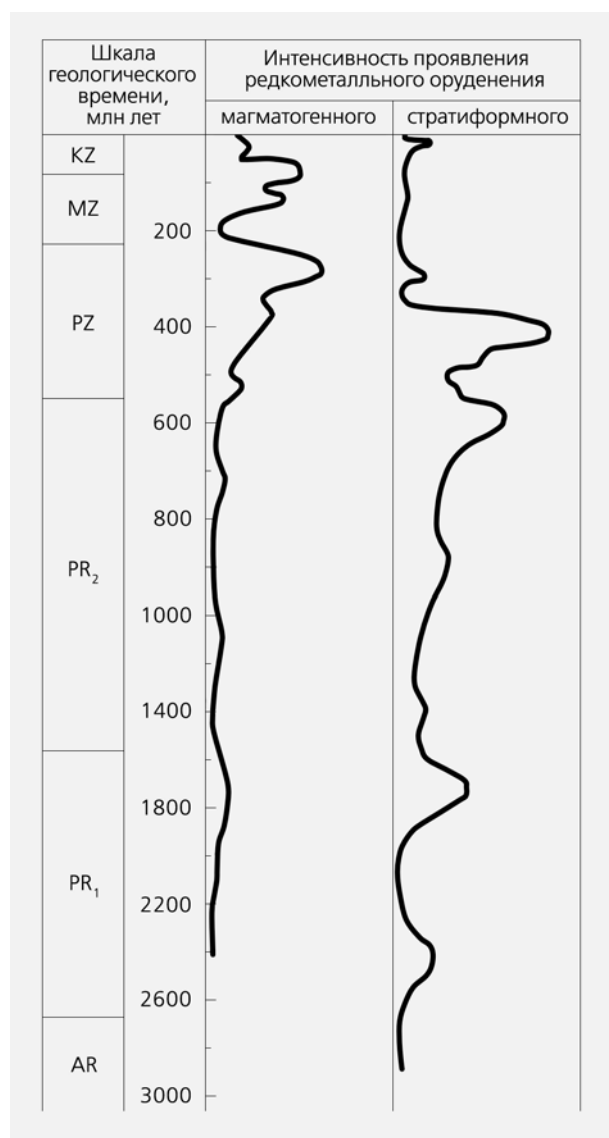
Агентами концентрирования металлов служат бактериальные сообщества, водорослевые скопления и генерируемые ими гуминовые кислоты, древесные и другие растительные остатки, кремнистые организмы, биогермы, битумы и асфальтиты. Дж.Левенталь [15] обобщает участие органического вещества в концентрировании металлов. Накопление металлов может происходить путем ионного обмена или хелатообразования; при восстановлении в нерастворимые формы путем окисления спиртов (гидроксильные группы) до альдегидов; при бактериальном ($T > 90^\circ\text{C}$) или небактериальном ($T > 100^\circ\text{C}$) восстановлении сульфатов до сульфидов за счет окисления органического вещества.

Время начала процессов биогенного концентрирования металлов близко к оценкам возраста Земли.

Все новые исследования подтверждают справедливость высказывания В.И.Вернадского о том, что «в данных современной минералогии мы не имеем ни одного факта, который бы указывал на изменение в составе атмосферы в ее современном состоянии, поэтому мы можем считать, что в пределах геологических эпох состав воздуха был в общих чертах тем, каким мы его наблюдаем ныне».

На фоне общей «космической» длительности рудоконцентрирования несомненна его цикличность, отмечаемая многими исследователями. Особенно интересно, что за глобальными циклами развития жизни и синхронного рудообразования следует глобальные циклы магматизма и рудообразования. Один из наиболее крупных циклов развития жизни связан с ранним палеозоем, а глобальный цикл магматизма — с поздним палеозоем (C_3-P_1). Второй подобный цикл намечается в мезозое. В триасовое время образуются многие крупнообъемные месторождения свинцово-цинковых и благороднометаллических руд, связанных с биогеохимическими процессами, а в позднем мезозое (J_3-K_2) — гидротермальные месторождения. Взаимосвязь циклов стратиформного рудообразования вольфрама и его постмагматических месторождений ярко показана В.К.Денисенко с соавторами [12]. Смена циклов развития жизни и магматизма, возможно, — одна из фундаментальных закономерностей развития Земли, понять которую можно только на основе широкого синтеза тектоники, магматизма, литологии, исторической геологии и других областей знаний.

Биогенные концентрации металлов приобретают все большее значение как непосредственные объекты промышленного освоения. В связи со стремительным ростом цены на золото и элементы платиновой группы вполне реально не только выявление новых объектов с рассеянным золотом, но и переоценка ранее неосвоенных месторождений в старых горнорудных районах. ■



Периоды проявления редкометалльного оруденения магматогенного и стратиформного типов [12].

Литература

1. *Hutchinson R.W., Viljoen R.P.* // S. Afr. Geol. 1988. V.91. №2. P.157—173.
2. *Ла-Берж Дж.Л.* О биогенном происхождении докембрийских железорудных формаций // Докембрийские железорудные формации мира. М., 1975. С.248—262.
3. *Неручев Г.Г.* Уран и жизнь в истории Земли. Л., 1982.
4. *Холодов В.Н.* // Литол. и полезн. ископ. 1997. 36. С.563—576.
5. *Кисча Н.* // Trans. Inst. Mining and Met. 1983. V.B92. P.72—79.
6. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. М., 2006.
7. *Сидоров А.А., Томсон И.Н.* О рудоносности черносланцевых толщ // Дегазация Земли: Геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы международной конференции памяти П.Н.Кропоткина. 20—24 мая 2002 г., Москва, 2002. С.246—249.
8. *Куимова Н.Г.* Аккумуляция и кристаллизация золота микроорганизмами. Владивосток, 2004.
9. *Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Гарбар С.В.* // Докл. АН СССР. 1985. Т.283. №3. С.711—713.
10. *Reith F., McPhail D.C.* // *Geochemica et Cosmochimica Acta.* 2006. V. 70. P.1421—1438.
11. *Stephen E.M., Knickerbocker Ch. et al.* // *Econ. Geol.* 2006. V.101. P.59—70.
12. *Денисенко В.К., Лобков В.Л., Гапошин И.Г. и др.* Стратиформные редкометалльные месторождения. М., 1986.
13. *Chen Nanshenf and Raymond M.* Ores in Metal-Rich Shale of Southern China // *US Geol. Surv. Circ.* 1989. №1037. P.7—8.
14. *Озерова Н.А., Лебедев Л.М., Виноградов В.Н. и др.* Некоторые минералого-геохимические особенности современного ртутно-сурьмяного рудообразования // Очерки геохимии отдельных элементов М., 1973. С.93.
15. *Leventhal J.S.* Roles of organic matter in ore deposits. Organic and ore deposits // *Proceed. Denver region exploration geol. soc. Symposium.* 1986. P.7—20.

Канадские ученые пришли к заключению, что наступившее потепление климата заставляет иннуитов северной части провинции Квебек вернуться от использования снегоходов к традиционному транспорту — собачьим упряжкам. Собаки прекрасно определяют состояние льда — насколько он тонок или неустойчив, а в тумане ведут хозяина в нужном направлении.

Sciences et Avenir. 2007. №727. P.39 (Франция).

Специалисты Центра прогнозирования климата при Национальном управлении США по изучению океана и атмосферы в своих еженедельных сводках отметили быстрое снижение температуры поверхностных и подповерхностных вод океана, вызванное затуханием Эль-Ниньо 2006—2007 гг. Более низкие температуры по сравнению со статистической нормой распространились на вос-

токе центрально-экваториальной области Тихого океана, что указало на переход к условиям Ла-Нинья. Обычно Ла-Нинья на протяжении весенних и летних месяцев в США оказывает несущественное воздействие на температурный режим и характер осадков на суше, однако часто сказывается на активности циклонов в Атлантическом и Тихом океанах.

Hydro International. 2007. V.11. №5. P.13 (Нидерланды).

В.К.Агарвал — индийский инженер — разработал способ разведения кремационных костров, уменьшающий на 60% эмиссию CO₂ для сожжения одного тела способом «зеленой кремации» необходимо в среднем 100 кг древесины, тогда как похоронные бюро расходуют до 450 кг из-за неэффективности традиционных способов сожжения. Сейчас Агарвал борется за официальную регистрацию своего изобретения,

рассматривая его как вклад в Киотский протокол.

В настоящее время в Индии ежегодно вырубает 50 млн деревьев для кремации около 10 млн покойников, в результате в атмосферу поступает 50 тыс. т твердого вещества и 8 млн т CO₂. www.mokshda.org

Из списка Всемирного наследия ЮНЕСКО исключен резерват сернобыков (*Oryx gazella*) в султанате Оман на Аравийском п-ове. Площадь этого резервата, созданного в 1994 г. по королевскому декрету, сокращена ныне на 90% ради нефтеразведки. В результате создавалась угроза жизни нескольким десяткам сернобыков. Это первый случай изъятия объекта из списка Всемирного природного наследия со времени принятия соответствующей конвенции в 1972 г.

Sciences et Avenir. 2007. №726. P.33 (Франция).