

О причинах и условиях проявления минерагенических процессов в докембрии и в последующее время

Лихачев А.П.

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) МПРиЭ РФ, г. Москва, e-mail: alexanderlikhachev@rambler.ru

Под минерагеническими понимаются процессы химического и минерального разделения природных веществ и предпочтительного концентрирования рудообразующих компонентов, приводящие к образованию месторождений полезных ископаемых. Проявление минерагенических процессов определяется энергетическими свойствами химических элементов и общими закономерностями формирования и эволюции Земли и ее коры.

Ранее было показано, что основная роль в формировании и эволюции Земли и ее коры, как и в образовании месторождений полезных ископаемых, принадлежит воде, в отличие от других планет земной группы и Луны, на которых вода практически отсутствует [7–9].

Допускается, что **на безводных планетах и Луне** активные эндогенные процессы в основном осуществлялись на стадии их гравитационного разогрева и общего плавления, вызывающих гомогенизацию исходного материала и препятствующих скоплению рудных веществ. С наступлением стадии охлаждения эндогенная активность безводных планет и Луны практически прекратилась. Они перешли в сравнительно пассивное состояние: испытывали дифференциацию и уменьшение объема за счет кристаллизации расплавленных масс и ударное воздействие падающих космических тел. Сокращение объема планет приводило к провалам и «гофрированию» их поверхности, а падение космических тел вызывало образование ударных кратеров и проявление импактного магматизма. В результате сформировался наблюдаемый в настоящее время пустынный и «мертвый» облик безводных планет и Луны. При этом проявляются две важные закономерности: 1) с увеличением массы планетных тел уменьшается количество ударных кратеров на их поверхности и 2) большинство ударных кратеров имеет форму правильного круга. Первая закономерность могла быть связана с тем, что масса планет влияет на скорость и время притяжения окружающих их космических тел. Наиболее крупные планеты (Земля и Венера), обладающие относительно большой массой и гравитационной силой, очищали окружающее пространство от космических тел раньше и быстрее, в основном еще на стадии своего формирования (коллапса). Поэтому на поверхности Земли и Венеры ударные кратеры сравнительно редки. Изометричная форма ударных кратеров свидетельствует о вертикальном падении космических тел, что могло быть обусловлено последовательным и постепенным притяжением планетой окружающих ее тел, находящихся в том же, что и планета, аккреционном диске и перемещающихся по своим параллельным орбитам. Иначе говоря, планеты не обстреливались случайно проходящими космическими телами, а притягивали тела, «снимая» их с орбит собственного аккреционного диска. На основании этих фактов делается важный для рассматриваемой темы и в практическом отношении вывод, состоящий в том, что импактные процессы и космическое (метеоритное) вещество не играли существенной роли в образовании земной коры. Подтверждением служат небольшое количество реально наблюдаемых на Земле и Венере ударных кратеров, отсутствие признаков существенного участия импактных процессов и метеоритного вещества в формировании обнаженных архейских и протерозойских образований Земли, преимущественно кислый (некосмический) состав коры и ее закономерно стратифицированное строение.

Земля, в отличие от безводных планет и благодаря наличию воды, имела возможность осуществлять эндогенную геодинамическую активность и на стадии ее охлаждения. И в основном на стадии охлаждения и благодаря воде на Земле происходили геологические и, в том числе, минерагенические процессы.

Основные свойства воды, оказывающие наибольшее влияние на проявление геологических процессов, состоят в следующем.

1. Снижение температуры плавления (солидуса) веществ, в частности, перидотита на величину до 550°C и более. Это свойство воды, в случае ее проникновения в сухую и горячую мантию,

может обеспечить зарождение магм при относительно низких температурах и проявление мафит-ультрамафитового магматизма без каких-либо дополнительных энергетических затрат, т.е. на стадии охлаждения планеты.

2. От наличия и воздействия воды зависят состав и рудоносность зарождающихся в мантии магм. Особенно важным является эффект перемещения под влиянием воды линии солидуса пиролита в более низкотемпературную область по отношению к солидусу сульфидов. Это делает возможным опережающее зарождение бессульфидных мафических (преимущественно толеитовых) магм ($MgO \leq 8$ мас.%) по сравнению с сульфидоносными мезомафическими ($MgO 8-33$ мас.%) магмами, формирующими платино-медно-никелевые месторождения. Опережающий вынос бессульфидных магм из горизонта магмообразования приводит к увеличению содержания рудных веществ в остающемся в твердом состоянии (реститовом) материале. При дальнейшем плавлении этого материала сначала зарождаются сульфидоносные мезомафические магмы (с $MgO 8-33$ мас.%), формирующие платино-медно-никелевые месторождения, а затем бессульфидные ультрамафические продукты (с $MgO > 33$ мас.%), обогащенные магнием, хромом, силикатным никелем и тугоплавкими металлами платиновой группы. Именно такая последовательность зарождения в мантии и внедрения в земную кору магм наблюдается во всех регионах проявления рудоносного мафит-ультрамафитового магматизма [8]. Положение сухого солидуса перидотита в исключительно высокотемпературной области ($1500-2000^\circ C$) делает практически невозможным проявление мантийного магматизма в случае отсутствия воды. При наличии воды резко расширяется температурный интервал между солидусом и ликвидусом перидотита, что позволяет осуществляться глубокой дифференциации веществ в ходе их парциального плавления и фракционной кристаллизации.

3. Гидратация и дегидратация породообразующих минералов, которые уменьшают или увеличивают плотность пород на величину до единицы и более и повышают или снижают их объем до 28% и более. Гидратация вещества мантии в срединно-океанических зонах приводит к подъему (всплытию) мантийных масс и проявлению (за счет выделяемого при реакции гидратации тепла) рудообразующих гидротермальных процессов в виде черных курильщиков, как это, например, в реальности наблюдается в поле Рейнбоу и других полях Срединно-Атлантического хребта [3, 5]. Одновременно она же (гидратация), вызывая всплытие мантийных масс, обеспечивает декомпрессию нижележащих толщ мантии, приводящую к их плавлению, магмообразованию и проявлению мафит-ультрамафитового магматизма. Тем самым гидратация вовлекает в движение огромные массы мантийного материала, движение, которое обуславливает спрединг и субдукцию океанического дна, как и раздвижение континентальных плит.

4. Вода, с ее возможностью проникать в мантию, снижать температуру плавления веществ и увеличивать их объем, является причиной проявления различных видов континентального магматизма и образования рудоносных осадочно-вулканогенных депрессионных структур, к которым относятся зеленокаменные и другие подвижные пояса и наложенные прогибы.

5. Вода способна обеспечивать достижение высоких давлений и осуществлять глубокий метаморфизм пород и руд. При этом существует большая зависимость давления воды от коэффициента заполнения вмещающего ее пространства. Этот эффект обычно не учитывается в геологических построениях, однако в большинстве случаев в толщах земной коры и мантии вода находится в условиях 100%-ного заполнения свободного пространства и может создавать высокие давления при сравнительно низких температурах и на относительно небольших глубинах. Особенно большие давления достигаются при резком воздействии на воду высоких температур. Подобное наблюдалось нами в экспериментах по воздействию сфокусированного лазерного луча на образцы пород, руд и минералов, погруженных в воду [6]. В них, благодаря проявлению так называемого светогидравлического эффекта [2], достигались температуры до $5000^\circ C$, а давления до 100 кбар и более. Среди продуктов этих экспериментов рентгеновским методом фиксировались линии алмаза. На основании полученных данных был сделан вывод, что образование алмазов может происходить в пределах водосодержащей земной коры в случае резкого проникновения в нее высокотемпературных мантийных магм [4].

6. Вода и водные растворы являются основным растворителем, дезинтегратором и транспортером материалов земной коры и мантии, обуславливающими дифференциацию веществ и образование рудных и нерудных месторождений.

Приведенные и другие известные данные позволяют допускать, что вода способна обеспечить эндогенную активность Земли на стадии охлаждения планеты и является основной причиной формирования земной коры и проявления геологических, и в том числе минерагенических, процессов.

Наличие воды на Земле объясняется особым положением ее исходного материала в около-солнечной туманности и аккреционном диске [7–9]. Он находился в области температур, благоприятных для гидратации минеральных фаз протопланетного вещества (350–500°C), что обеспечило предотвращение значительной части воды от диссипации под воздействием солнечного нагрева. В более близких к Солнцу областях температуры были более высокими, превышали возможности проявления процессов гидратации, вследствие чего вода в них подверглась диссипации, а из оставшегося там вещества сформировались безводные планеты – Меркурий и Венера. В ходе последующего гравитационного уплотнения и нагрева вещества протоземли происходила его дегидратация и дифференциация планеты на ядро, мантию и первичную кору. За счет освобождающейся воды сформировалась и первичная гидросфера.

Проявление минерагенических процессов и образование месторождений полезных ископаемых осуществлялись на следующей стадии эволюции Земли – на стадии ее охлаждения и формирования земной коры. В истории формирования и эволюции земной коры выделяются два основных этапа – ранний сравнительно кратковременный и последующий, более длительный.

Ранний (протоархейский) этап формирования и эволюции земной коры (до ~3800 млн. лет) был связан с завершающим периодом разогрева планеты, когда фронт общего плавления исходного вещества приближался к земной поверхности и приводил к излиянию на нее магм преимущественно мафического состава. При этом происходил также «сгон» к поверхности Земли наиболее легкоплавкой (кислой) составляющей и летучих компонентов, участвовавших в образовании первичной коры. Достигая земной поверхности, летучие компоненты (в основном вода) формировали первичную гидросферу и соответствующую ей атмосферу. В это же время создавались первичные осадочные бассейны, заполнявшиеся вулканогенными, терригенными и хемогенными материалами. В предельном приближении фронта общего плавления исходного вещества к земной поверхности первичная кора вместе с породами первичных осадочных бассейнов претерпели частичное или полное плавление и глубокий метаморфизм. Температура поверхности Земли в это время могла достигать высоких значений (до ~600°C), что вызвало переход воды первичной гидросферы в газообразное состояние – в атмосферу. Существовавшие в это время условия всеобъемлющего метаморфизма приводили к гомогенизации корового материала и к рассеиванию (к сравнительно равномерному распределению) рудных компонентов. По этой причине наиболее ранние образования земной коры (в том числе серые гнейсы) не несут в себе существенных скоплений первичных рудных веществ и являются малоперспективными в отношении обнаружения рудных месторождений. Формирование месторождений полезных ископаемых происходило в последующее время эволюции Земли и проявления геологических процессов.

Последующий (основной) период формирования и эволюции земной коры наступил с началом охлаждения планеты и перехода воды из атмосферы в гидросферу. Протекавшие в это время геологические процессы в основном обуславливались наличием воды и ее воздействием на земное вещество. В отсутствии воды планета, находясь в состоянии остывающего тела, не имеет каких-либо существенных возможностей для проявления геодинамических и других геологических преобразований, что хорошо видно на примере Венеры, Меркурия и Луны.

С первым появлением воды (после снижения температуры атмосферы до критической точки воды – 373°C и ниже, до ~200°C) на поверхности планеты стали формироваться супракристалльные образования. Началось это ~3800 млн. лет назад, судя по возрасту самых древних пород данного типа (~3760 млн. лет), проявленных в поясе Исуа центральной части западной Гренландии [1]. Проникновение опустившейся на земную поверхность воды сначала в кору, а затем и в мантию следовало за изотермой 500°C по мере ее перемещения вниз вследствие общего охлаждения планеты.

В дальнейшем вода обеспечивала гидратацию мантийного вещества, его подъем, декомпрессию, плавление и дифференциацию; проявление различных видов магматизма; раздвижение океанического дна и литосферных плит; образование депрессионных осадочно-вулканогенных структур

и подвижных поясов со свойственными им магматическими комплексами; экстракцию и концентрацию веществ с формированием рудных и нерудных месторождений; метаморфизм пород коры и мантии; эрозию обнаженных толщ и перенос веществ в бассейны седиментации и др.

На всем протяжении формирования и эволюции земной коры основным местом рудогенерации являлись водонасыщенные депрессионные структуры (прогибы, рифты, трог и др.), выполненные осадочными и магматическими породами, в разной степени преобразованными в последующее время (со структурами данного типа связано более 90% известных в докембрии месторождений).

Литература

1. Аллорт Я. Древние супракрустальные породы с возрастом свыше 3760 млн. лет и ассоциирующиеся с ними полосчатые железистые кварциты, район Исуа, центральная часть западной Гренландии / Ранняя история Земли. М. Мир. 1980. С. 188–201.
2. Аскаръян Г.А., Прохоров А.М., Шипуло Г.П. Светогидравлический эффект. Авт. свид. № 65 // Бюл. изобрет. 1969. № 19. С. 3.
3. Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Викентьев И.В. и др. Новый тип современной минералообразующей системы: "черные курильщики" гидротермального поля 14°45' с.ш., Срединно-Атлантический хребет // Геол. рудн. месторожд. 1997. Т. 39. № 1. С. 68–90.
4. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Условия образования и эволюции рудогенных ультраосновных магм // ЗВМО. 1981. Вып. 6. С. 646–655.
5. Леин А.Ю., Сагалевич А.М. Курильщики поля Рейнбоу – район масштабного абиогенного синтеза метана // Природа. 2000. № 8. С. 44–53.
6. Лихачев А.П. Лазерный способ исследования веществ при сверхвысоких температурах и давлениях // Геохимия. 1978. № 10. С. 1554–1557.
7. Лихачев А.П. Определяющая роль воды в формировании и эволюции Земли // Отечественная геология. 2006. № 1. С. 53–63.
8. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М. Эслан. 2006. 496 с.
9. Likhachev A.P. The crucial role of water in the formation and evolution of the Earth // Abstract. 32nd IGC. Italy. 2004.

Особенности минерагении Вишняковского поля комплексных петалитовых пегматитов (Восточно-Саянский пегматитовый пояс)

Макагон В.М.

Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, e-mail: vmak@igc.irk.ru

По классификации, предложенной В.Е.Загорским с соавторами [2], формация редкометалльных гранитных пегматитов подразделяется на сподуменовую и петалитовую подформации. Классификационное различие этих подформаций заключается в различном начальном давлении минералообразования в пегматитах, так сподуменовая подформация характеризуется начальным давлением 5 - 3 кбар, а петалитовая – 3,5 - 2 кбар. В Восточно-Саянском поясе, протянувшемся почти на 500 км по южной и юго-западной окраине Сибирского кратона, сподуменовые пегматиты приурочены к Урикско-Ийскому грабену, расположенному на юго-востоке этого пояса, и представлены Гольцовым, Урикским, Белореченским, Бельским, Белотагинским и Малореченским полями, а пегматиты петалитовой подформации находятся в Елашском грабене, расположенном на северо-западе того же пояса, и включают Александровское и Вишняковское пегматитовые поля. В последнем расположено Вишняковское редкометалльное месторождение (Ta, Li, Rb, Cs, Be, Nb, Sn), относимое к наиболее перспективным для освоения месторождениям тантала на территории России [3].

Вишняковское пегматитовое поле расположено в Елашском грабене Тагул-Туманшетской подвижной зоны [1], который сложен нижнепротерозойскими осадочно-вулканогенными породами, метаморфизованными в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма андалузит-силлиманитового типа. В этой структуре находится также Елашско-Тенишетский массив