

*АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О.Ю.ШМИДТА
1984 г.*

О.Ю.ШМИДТ И СОВЕТСКАЯ ГЕОФИЗИКА 80-Х ГОДОВ

РАЗВИТИЕ ПЛАНЕТОЛОГИИ В СССР

К.П.Флоренский, канд. геол.-мин. наук

*Институт геохимии, космохимии и аналитической химии
им. В.И.Вернадского АН СССР*

Мне хотелось бы для начала вспомнить одну встречу с Отто Юльевичем Шмидтом, которая не имеет никакого отношения к планетологии. Это было в 1940 г. В Академии Наук была выставка, посвященная работам нашего Института. Тогда я занимался изучением распространения тяжелой воды в природе и, в частности, во льдах и снегах. Оказалось, что по изотопному составу льдов можно судить о степени их замерзания или таяния. Эти работы я демонстрировал на выставке. Ко мне подошел Отто Юльевич, и мы очень долго разговаривали с ним о перспективности изотопического метода для определения генезиса морских льдов. Вскоре началась война, в это время Отто Юльевич занимался полярными делами. Позднее изотопия льдов начала изучаться на совершенно новом уровне. Но тогда меня поразили тот глубокий интерес, который проявил Отто Юльевич к работам такого рода. Дальше мне пришлось встречаться не лично с ним, а уже с его работами, и это было связано с изучением планет земной группы.

Говоря о развитии планетологии в послевоенный период, надо четко разделить два этапа, которые условно можно назвать «астрономическим» и «космическим» по ведущим методам исследования планет. В «астрономический» период были использованы методы небесной механики, возможности наблюдательной астрономии приближались к своему пределу, и крупных открытий не ожидалось. Успехи звездной астрономии отвлекали внимание исследователей. В 1958 г. В.В.Шаронов писал: «В настоящее время на земном шаре нет ни одной обсерватории, которая была бы предназначена специально для планетных исследований». По контрасту с точными данными небесной механики, представления о поверхности небесных тел оставались весьма смутными — каналы и астроботаника Марса, экзобиология Луны, полная загадок Венера, для которой допускались все крайности — от пустынь и тропических лесов до сплошного океана воды или нефти... В то же время росло сознание, что и Земля является одной из планет, и для решения планетологических задач необходимо объединить знание геологов о наиболее изученной планете и астрономов, которые имеют возможность сравнивать строение разных небесных тел.

Наиболее четко эти взгляды выразили В.И.Вернадский и О.Ю.Шмидт. В работе, написанной в 1938 г., но вышедшей из печати только в 1965 г. [1] В.И.Вернадский писал: «В своей работе геолог часто забывает, что он имеет дело не просто с Землей, а с одним из индивидуально-различных естественных тел — с одной из “земных планет” Солнечной системы...» «Выводы геологии не менее важны для планетной астрономии, чем выводы этой последней для геологии, ибо Земля есть единственная планета, которую мы можем изучать во всеоружии с той огромной мощностью, которой обладает методика современного естествознания. Астроном должен считаться с современными выводами геолога и вносить поправки в свои заключения, которые могут в целом ряде случаев менять коренным

образом выводы планетной астрономии». О.Ю.Шмидт в 1950 г. так формулировал сходные мысли: «Проблема происхождения планет находится на стыке астрономии и наук о Земле... Ее разработка должна внимательно учитывать факты обеих групп сопредельных наук, но ни одна из этих наук сама по себе не может диктовать ей направление работы. Необходимо в равной мере опираться на обе группы наук» [2].

И В.И.Вернадский, и О.Ю.Шмидт проявили полное единство взглядов на изначально-холодное состояние планет. О.Ю.Шмидт писал [3]: «В.И.Вернадский почти 40 лет боролся против представления о раскаленном начальном состоянии Земли, за признание радиоактивного происхождения современной теплоты земных недр. Но его борьба была безуспешной, потому что его взгляды находились в противоречии с космогоническими представлениями, господствовавшими в науке. Только после крушения гипотезы Джинса взгляды Вернадского получили признание. Мы надеемся, что развитая в предыдущих лекциях теория происхождения планет окажется не бесполезной при дальнейшем развитии геофизики и геотектоники на путях, указанных Ф.А.Бредихиным и В.И.Вернадским», а также: «Таким образом, с самого начала на поверхности Земли была вода и имелась атмосфера...» «Итак, выводы из нашей космогонической теории обосновывают у Земли с начала ее существования как раз тех условий, которые нужны для возникновения жизни».

Сущность этой теории о происхождении планет путем аккреции холодного облака твердых частиц сейчас принята во всем мире, а конкретные детали этого процесса рисуются по-разному и должны обсуждаться в других статьях, вероятно, в статье Р.С.Сафронова. В то же время, в геологии прояснились многие стороны строения и развития Земли. Среди наиболее важных результатов я бы назвал широкое развитие определений абсолютного возраста по радиоактивным изотопам, которое нашло применение к древнейшим земным породам,

метеоритам и лунным образцам. Благодаря им хронология событий, которая ранее исчерпывалась фанерозоем (600 млн. лет), в лучшем случае средним протерозоем (1,5–2 млрд. лет), сейчас дошла до 3,8 млрд. лет по отношению к образцам земных и лунных пород и до определения возраста Земли и Солнечной системы в целом. Мы получили хронологическую канву, на которую можем уже не гипотетически, а фактически нанизывать известные нам события.

Среди работ первого этапа необходимо отметить работу А.В.Хабакова, который у нас положил начало историческому анализу поверхности Луны геологическими методами. Он допустил ряд ошибок вследствие недостаточности фактического материала, но сама методология впоследствии нашла широкое применение.

В 1959 г. ситуация резко изменилась. Началось исследование Луны и планет космическими методами. Луна и планеты вместо едва различимых небесных тел «приблизились» и стали изучаться методами, разработанными в науках о Земле. Геология и геоморфология, геофизика и геохимия получили возможность сказать свое веское слово. Первой была сфотографирована обратная сторона Луны, что представляло неосуществимую мечту Вильяма Гершеля. Облет Луны, мягкая посадка и панорамы, доставка лунного грунта на Землю из морских и материковых районов,двигающиеся лаборатории — луноходы... Облет Марса, анализ атмосферы и посадка на Венеру. Советские и американские аппараты наперебой доставляли новые сведения. Большая роль в идеологическом направлении этих работ принадлежала академикам М.В.Келдышу и А.П.Виноградову.

Высадка человека на Луне, спутник и посадка «Викингов» на Марсе, получение изображений Фобоса и Деймоса, Меркурия, Юпитера и его спутников, Сатурна. Измерения силовых полей, космических частиц и межпланетной пыли... Как кратко изложить весь этот материал, который продолжает непрерывно обрабатываться? Попытаюсь все же

изложить основные для планетологии выводы, связанные с взглядами Шмидта, отвлекаясь от конкретных результатов экспериментов.

В эти годы работы велись большим коллективом сотрудников разных институтов в разных областях и космогонии, и техники, и геохимии, и геофизики. В пределах данного института работали по космогонии такие сотрудники как Б.Ю.Левин, Е.Л.Рускол, С.В.Маева, Е.А.Любимова, В.С.Сафронов, С.В.Козловская, В.Н.Жарков. Очень много дали работы М.А.Садовского в связи с изучением крупных взрывных и метеоритных кратеров. Наиболее изученным небесным телом после Земли оказалась Луна. На Луне внимание исследователей привлекла, прежде всего, многочисленность кратеров. После ряда споров, исследований было твердо установлено, что громадное, совершенно подавляющее число этих структур представляют собой ударные образования. По времени они захватывают самый конец процесса аккумуляции. Интенсивность кратерообразования резко падает в период после четырех млрд. лет примерно до 3,5 млрд. лет тому назад, после чего, грубо говоря, остается почти на одном уровне. По плотности и морфологии кратеров удалось произвести датировку геологических событий на поверхности Луны, и по аналогии на других планетах, а так как с Луны были доставлены образцы, которые позволили дать абсолютную датировку конкретных образований, определенных кратеров, то всю эту систему удалось использовать, как метод хронологии применительно к большинству планет. Оказалось, что процессы на поверхности Луны идут значительно медленнее, чем на Земле, примерно в тысячу раз. Это позволило изучать самые ранние стадии образования Луны и потом, сопоставляя эти процессы с тем, что мы видим на Меркурии, оказавшемся очень похожим на Луну; на Марсе, который уже несколько отличается; затем на таких телах, скорее астероидального типа, как спутники Марса Фобос и Деймос, мы можем говорить о самых ранних этапах существования планет и считать, что

процесс кратерообразования является действительно общепланетарным процессом, действительно «хвостом» аккумуляции, который подтверждает именно такое происхождение Земли. Часто в популярной литературе, когда начинают писать об ударных кратерах, противопоставляют им кратеры вулканические и даже принципиально сам вулканизм, начинают говорить, что раз это кратеры метеоритные, то на Луне вулканизма нет. Эта ошибка, распространенная в популярной литературе, требует разъяснения. На Луне кратерные формы оказались ударными, не вулканическими, это верно. Но вулканизм там был чрезвычайно широко развит. Там все лунные моря представляют собой продукт базальтовых излияний, т. е. вулканические извержения, но вулканизм там имеет совершенно другой характер — это были спокойные излияния дегазированных жидких лав, трещинные излияния, развитые на большом пространстве. Сам характер этих излияний принципиален, он говорит о том, что ко времени образования лунных морей (а после изучения лунных пород то же самое можно утверждать и о породах лунных материков), Луна уже была полностью дегазирована. Процесс потери летучих происходил где-то на самых ранних фазах развития планетного тела, 4 млрд. лет тому назад или ранее. К этому же времени уже существовало на Луне два типа коры, принципиально отличных друг от друга: это кора материкового, полево-шпатового типа и базальтовая кора, которая возникла позднее, чем материковая, и относится уже к периоду моложе четырех млрд. лет. Возраст ее образцов заключен от 3,8 до 3,5 млрд. лет. Базальты являются вторичным образованием по сравнению с первичной полево-шпатовой корой. То же самое наблюдается для Меркурия; я думаю, что это общее явление для планет. Базальты возникают в результате радиоактивного разогрева, в то время как первичная кора возникает за счет совершенно другого процесса, и очевидно растет вместе с ростом планеты. Это два типа исходной коры, из которых базальтовая хорошо прослеживается на

Марсе, за Меркурии, Луне, почти несомненно на Венере, а другая, полево-шпатная имеет более сложную историю, потому что на Луне она проявляется как анортозитовая, на Земле она выглядит как гранитная. Это те же алюмосиликаты, но в одном случае кальциевые, а в другом — калиево-натриевые, как на Земле, но сходство тут большое. Очевидно, этот тип образования связан с самыми ранними этапами существования планет, и поэтому очень важен. При анализе механики высокоскоростного удара в экспериментальных работах по изучению высокотемпературного испарения, которое возникает здесь, выяснился процесс неизохимичности удара, т. е. в процессе удара происходит разделение вещества на несколько фракций, прежде всего на летучую и нелетучую. При этом в летучую фракцию идут не только такие обычные соединения как вода и CO_2 — всем известные, но и то, что в обычных условиях рассматривается как нелетучее: кремний, щелочи, даже железо. По-видимому, образование первичной коры связано именно с процессами соударения. При этом выделяются два типа планет — малые планеты или те, которые росли с недостаточной скоростью — они теряют летучие с поверхности совсем, скажем, на Луне реголит существенно обеднен всеми летучими компонентами. На Земле, как вы знаете, мы видим процесс обогащения земной коры легколетучими веществами. Думаю, что это развитие одного и того же процесса, происходящего в разных гравитационных условиях. Здесь стоит сделать два пояснения, которые важны для общего понимания геохимической литературы. Дело в том, что определение коры Земли, коры планеты по Вернадскому и современное принципиально различны. Это не всегда учитывается читателем и приводит к ненужной путанице. Вернадский под корой подразумевал ту область Земли или планеты, где возможно существование вещества в трех фазах — наличие жидкой, твердой и газообразной систем. Он считал, что под корой находится вещество во внутрипланетном состоянии. Таким образом, в кору он включал и

атмосферу, и гидросферу, и литосферу примерно до уровня современной астеносферы. В понимании Вернадского существенная часть верхней мантии входила в земную кору. И когда он говорит о геохимических процессах в коре, это надо учитывать. Сейчас, как известно, под земной корой чаще всего подразумевают только литосферу до поверхности Мохоровичича, не считаясь с динамикой геохимических процессов. Называть можно как угодно, но надо четко понимать, о чем идет речь. Второе, само понятие планеты в течение истории менялось несколько раз. Но с точки зрения наук о Земле мы понимаем планетное тело как такое тело, в котором в результате внутрпланетарных сил развилось разделение на оболочки с приобретением округлых форм. С точки зрения геологической планетологии не важно, находится ли данное тело на орбите спутника или на орбите планеты, а важно, какую историю оно прошло. Б.М.Кедров в свое время такую историю назвал геологической или планетарной формой движения. С этой стороны мы, вероятно, должны относить к телам планетного типа Луну, но в то же время большинство астероидов не попадает в эту категорию. Может быть туда попадают только 2–3 астероида из наиболее крупных: это Церера, Паллада, Веста, чей диаметр больше 500 км и масса порядка 10^{24} г. На основе изучения планет и сравнения их между собой можно прийти к четкому выводу, что существовала и планетарная дифференциация вещества, которая привела к разделению на оболочки, и в то же время, было разделение вещества допланетное, которое привело к существованию поясов, расположенных на разных расстояниях от Солнца и имеющих разный состав. Рассматривая такое дифференцированное состояние допланетного облака, следует признать, что минимум летучих приходится как раз на планеты земной группы. Это четко наблюдается по направлению от Солнца. Но может быть окажется, что планеты, находящиеся ближе к Солнцу, чем Земля — Венера и Меркурий, в самом начале были обогащены летучими или

точнее говоря образовывали зоны более богатые летучими, чем непосредственно Земля. Мы приходим к твердому выводу о том, что по составу планеты не однородны и поэтому прямое сопоставление разных планет не слишком законно. Надо учитывать условия их развития и образования. Одновременно приходится говорить и об изменении состава облака в процессе аккумуляции тел. Детали изменения соотношения этого состава облака и очередности в образовании планет, которые очевидно образовались не одновременно, их скорости представляют сейчас одну из важнейших задач. Упомянутое выше современное представление о начале планет привело к изменению представления о начале геохимического цикла. Геохимический цикл развивается не так последовательно, как это представлялось в классических работах: сначала мол образуются изверженные породы, потом они разрушаются на поверхности, переходят в осадочные, потом погружаются в глубину, там плавятся и становятся магматическими и вот образуется цикл. Сейчас мы достаточно уверенно можем говорить, что начало геохимического цикла в ударном процессе идет иначе. Начинается весь цикл сразу в едином процессе удара. В едином процессе образуется и ударный расплав и первоначальная осадочная порода в виде реголита (с явлениями ударного метаморфизма), и первоначальное выделение легколетучих. Это привело параллельно о ростом Земли к формированию океанов и атмосферы. Так в одном ударе происходят сразу три процесса, возникает замкнутый цикл, который может вести как в одну сторону, так и в другую.

Еще необходимо остановиться на важнейшем вопросе, о котором сейчас много говорят — о первичной атмосфере Земли, упоминая метан, аммиак и другие высоковосстановленные соединения. В пределах планет земной группы нигде таких соединений не найдено. И при анализе атмосфер, и при анализе горных пород господствуют гораздо более окисленные системы, везде преобладает углекислота, а не аммиак,

это и на Венере, и на Марсе. Аммиак и водород свойственны совершенно другим телам солнечной системы — самым окраинным, т. е. планетам-гигантам и кометам. Очевидно, их образование отлично от образования планет земной группы.

В заключение следует заметить, что наличие и объем атмосферы не являются мерой дегазации планеты, как иногда упрощенно принимают. Тут необходимо учитывать и исходный состав протопланетного вещества, и возможный отлет, и всю историю.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В.И.Вернадский*. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., Наука, 1965, 374.
2. *О.Ю.Шмидт*. Возникновение планет и их спутников. Изв. АН СССР, сер. физ., 1950, 14, №1, 29–45.
3. *О.Ю.Шмидт*. Четыре лекции о теории происхождения Земли. 1957, Изд-во АН СССР, 140.