

О. Ю. Шмидт и космогония

В. С. Сафронов

О жизни и творчестве Отто Юльевича Шмидта уже много писалось в различных изданиях. Но о нем будет написано еще больше. О. Ю. Шмидт оставил глубокий след в ряде областей деятельности нашего общества. С течением времени все четче выявляется главный вклад, внесенный этим замечательным человеком, все ярче вырисовывается идущее в ногу с жизнью объективное и все мельче становится оставшееся в прошлом субъективное. Пожалуй, в наибольшей степени это относится к деятельности О. Ю. Шмидта в космогонии. Сейчас эта область исследования быстро развивается и сказанное вчера нередко уже непригодно сегодня. В таких условиях 15 лет без О. Ю. Шмидта — достаточно большой срок, чтобы проверить, как его теория выдержала испытание временем.

Как получилось, что выдающийся ученый в одной из наиболее отвлеченных областей математики вдруг взялся за исследование сложнейшего физического процесса происхождения Земли и планет? Столь смелое решение О. Ю. Шмидта отнюдь не было случайным. Его широкая, жаждавшая деятельности натура, не могла уместиться в рамках кабинетного ученого. Неповторимая эпоха — годы становления и первых шагов молодого советского государства — открывала исключительные возможности для раскрытия всех творческих способностей высокообразованного, талантливого и деятельного патриота. Отсюда яркая биография О. Ю. Шмидта: государственный деятель, организатор и главный редактор Большой Советской Энциклопедии, легендарный покоритель Арктики («ледовый комиссар»), организатор и директор Института теоретической геофизики, вице-президент Академии наук СССР и, наконец, создатель теории происхождения Земли... В 1918 году О. Ю. Шмидт стал коммунистом. Жизнь требовала активной практической деятельности. И он увлекся ею, обнаружив замечательные организаторские способности. Но, что самое главное, он при этом всегда оставался ученым. Потребности освоения природных богатств страны столкнули О. Ю. Шмидта с геофизическими проблемами. В 20-х гг. он вошел в созданную по указанию В. И. Ленина «Особую комиссию по Курской магнитной аномалии». Это привело к решению им обратной задачи теории гравитационного потенциала, что позволило, наконец, правильно истолковать магнитные наблюдения и оценить богатейшие запасы железа в этом районе. Бурение подтвердило правильность предсказаний. Арктические экспедиции довершили превращение О. Ю. Шмидта в геофизика широкого профиля. В 1935 г. по его настоянию создается геофизическая секция при Институте географии АН СССР, а в 1937 г. создается Институт теоретической геофизики, директором которого он оставался до 1948 г. Стремясь осмыслить важнейшие проблемы геофизики, О. Ю. Шмидт убедился, что все они упираются в «причину причин» — проблему происхождения Земли. Таким образом, вся деятельность О. Ю. Шмидта подвела его вплотную к кос-

могонию. Ему оставалось только решиться на штурм этой труднейшей проблемы. И он решился...

До О. Ю. Шмидта планетная космогония рассматривалась как чисто астрономическая проблема. Круг фактических данных, на которые она опиралась, ограничивался, в основном, закономерностями движений планет и их состава (состав атмосфер и средние плотности планет). О. Ю. Шмидт осуществил методологически очень важный, подлинно революционный шаг. Он показал, что планетная космогония — комплексная астрономо-геолого-геофизическая проблема и должна опираться, помимо астрономии, на данные всех наук о Земле. Это был первый существенный шаг в создании для планетной космогонии надежной базы фактических данных, обеспечивший ее успешное дальнейшее развитие.

Первые результаты работы О. Ю. Шмидта по космогонии были им доложены в 1943 г. в Казани, куда были эвакуированы некоторые институты Академии наук СССР. В 1944 г. последовали доклады в Московском Доме ученых и Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга (ГАИШ). В этом же году были опубликованы в Докладах АН СССР первые две статьи, в 1945—1946 гг. — еще шесть. Первое систематизированное изложение основ теории было дано в «Четырех лекциях о теории происхождения Земли», опубликованных в 1949 г. Но уже в 1950 г. вышло второе издание книги, значительно расширенное и переработанное. В 1957 г., через год после смерти О. Ю. Шмидта, вышло третье издание, переработанное в соответствии с сохранившимся авторским планом и с использованием рукописных материалов. Начав работать один, О. Ю. Шмидт постепенно создал в Институте теоретической геофизики Отдел эволюции Земли. К 1945 г. в него вошли Г. Ф. Хильми, С. В. Козловская, Б. Ю. Левин, а к 1949—1950 гг. — В. С. Сафронов, Е. А. Любимова, С. В. Маева, Е. Л. Рускол.

Когда О. Ю. Шмидт начал работу над этой проблемой, в планетной космогонии не было установившихся взглядов. После крушения гипотезы Джинса (в результате критики Г. Ресселом в 1937 г., подтвержденной расчетами Н. Н. Парийского в 1943 г.) начали появляться одна за другой новые гипотезы. Но они были скороспелы и недолговечны. Годы войны оказались более плодотворными. Независимо и почти одновременно появились три гипотезы — немецкого физика К. Вейцекера, шведского физика Х. Альвена и О. Ю. Шмидта, оказавшие значительное влияние на дальнейшее развитие космогонии. Крупный специалист по теории турбулентности К. Вейцекер внес большой вклад в астрофизику, показав, что турбулентность должна быть универсальным явлением в космосе. Он предположил также, что все структурные единицы во Вселенной возникли из турбулентных вихрей соответствующего масштаба. Один из таких вихрей породил солнечную систему, в которой развилась система вихрей меньшего масштаба, породивших планеты. Несколько лет гипотеза была весьма популярной на Западе, но в начале 50-х гг. ее сменила гипотеза американского астронома Дж. Кейпера об образовании планет из массивных газовых протопланет. Дж. Кейпер сохранил идею о турбулентном начальном состоянии облака и дополнил ее идеей о возникновении в облаке гравитационной неустойчивости. Эта гипотеза была построена на чисто астрономических данных и просуществовала до 1958 г.

Благодаря Х. Альвену, создателю новой науки — космической электродинамики, в астрофизику широко вошла магнитная гидродинамика. На основе электродинамики он стал строить и свою космогоническую гипотезу. Согласно Х. Альвену, с помощью электромагнитных сил Солнце захватило из межзвездного пространства вещество в виде плазмы, из которой затем сконденсировались твердые частицы, а из частиц затем образовались планеты и спутники. Х. Альвен продолжает активно работать и получает ряд интересных результатов. Но в целом его гипотеза не получила распространения. Попытка автора объяснить все многообразие процесса образования планет, преимущественно электромагнитными силами, делает гипо-

тезу односторонней и вынуждает прибегать к сложным искусственным построениям, далеким от реальной действительности.

Методологическая основа теории О. Ю. Шмидта оказалась более широкой и надежной. Как уже было отмечено выше, он обратил самое серьезное внимание на комплексность проблемы, на необходимость использовать для построения теории все имеющиеся факты в различных областях науки.

О. Ю. Шмидт разделил проблему планетной космогонии на три части (задачи): а) происхождение околосолнечного допланетного облака (туманности); б) образование в этом облаке планет; в) эволюция планет, в первую очередь Земли, от их начального состояния до современного с тем, чтобы вывести геофизические, геохимические и геологические следствия теории образования планет и связать космогонию с данными наук о Земле.

Первая часть должна решаться вместе с астрономами, а третья — вместе с геофизиками, геохимиками, геологами. Вторая часть полностью относится к планетной космогонии и может быть названа центральной задачей планетной космогонии. О. Ю. Шмидт подчеркивал, что ...«центральная задача может быть поставлена и решена до некоторой степени независимо от решения первой задачи (а). Эта относительная независимость очень важна. Дело в том, что чем дальше мы удаляемся в прошлое, в глубь времен, тем меньше фактов в нашем распоряжении, тем менее уверенны могут быть наши суждения, тем больше в них гипотетического».* В те годы это разделение второй и первой частей проблемы было действительно очень важным в методологическом отношении. Оно позволило начать разработку теории образования планет в околосолнечном допланетном облаке, не дожидаясь решения вопроса, как возникло само это облако. Тогда он не мог быть решен, так как для этого необходимо знание основных закономерностей процесса образования звезд. Сейчас разумность такого подхода очевидна, но в то время нередко утверждалось, что проблема происхождения солнечной системы в настоящее время не может быть решена или, что ее решение следует отложить до того времени, когда будет решена проблема происхождения звезд.

Наиболее важные результаты, представляющие крупный вклад в планетную космогонию, были получены во второй и третьей части проблемы. Они и составляют основное содержание теории О. Ю. Шмидта. Для решения на современном научном уровне первой части проблемы имевшихся фактических данных было слишком мало. Но О. Ю. Шмидт считал необходимым показать, что главная трудность проблемы, связанная с аномальным распределением момента количества движения в солнечной системе, может быть устранена. Кроме того, с чисто популяризаторской точки зрения было желательно дать единую картину происхождения солнечной системы. О. Ю. Шмидт выдвинул гипотезу о захвате вещества допланетного облака Солнцем во время его встречи на своем пути в Галактике с состоящей из пыли или метеоритов темной туманностью. Одновременно он начал разрабатывать гипотезу образования двойных звезд путем захвата.

Остановимся отдельно и более подробно на каждой из трех частей проблемы.

а) Происхождение допланетного облака. Объяснение большого момента количества движения планет при малом моменте количества движения Солнца с помощью гипотезы захвата Солнцем вещества планет логически представляется наиболее простым. Но ни откуда не следует, что именно таким должен был быть естественный физический процесс. Наши астрономы, в большинстве придерживавшиеся классического представления о совместном образовании Солнца и облака, встретили гипотезу захвата отрицательно и подвергли ее суровой критике. Специалисты в области небесной механики, основываясь на результатах Шази,

* О. Ю. Ш м и д т. Четыре лекции о теории происхождения Земли, Изд. 3-е, Изд-во АН СССР, 1957, стр. 28.

считали гравитационный захват в системе трех тел невозможным. Астрофизики допускали возможность захвата, но считали его крайне маловероятным. Развернулась острая дискуссия. Первый упрощенный вариант схемы захвата, предложенный О. Ю. Шмидтом (захват при сближении двух тел в поле тяготения Галактики), оказался неправильным. Тогда О. Ю. Шмидт предложил захват в системе трех гравитирующих тел и доказал его возможность. Были предложены и другие механизмы захвата (Т. А. Агекян, В. В. Радзиевский). Для решения проблемы происхождения допланетного облака эта полемика принесла мало пользы — гипотеза захвата не была опровергнута, но и не была принята. Однако для небесной механики установление возможности захвата в классической задаче трех тел было существенно новым и важным результатом. Обладая замечательной математической интуицией, Э. Ю. Шмидт построил конкретный пример движения, приводящего к захвату. Численное интегрирование подтвердило, что захват действительно осуществляется. Тем самым была доказана ошибочность второй теоремы Шази для случая положительной полной энергии системы (1932 г.), в которой утверждалось, что захват невозможен. Позднее сотрудники Института теоретической астрономии АН СССР в Ленинграде Ю. Л. Газарян, а затем Г. А. Мерман проделали критический анализ этой теоремы и показали, что О. Ю. Шмидт был прав. Основываясь на численном примере О. Ю. Шмидта и используя свойство непрерывности уравнений движения, Г. Ф. Хильми показал, что мера множества точек в фазовом пространстве, представляющих начальные движения, ведущие к захвату, не равна нулю. Следовательно, и вероятность захвата тоже не равна нулю. В дальнейшем О. Ю. Шмидт произвел количественную оценку вероятности захвата. Этот расчет опубликован в томе «Геофизика и космогония» его избранных трудов.

К сожалению, часто обсуждение теории О. Ю. Шмидта, особенно среди астрономов, сводилось к критике его гипотезы захвата. Иногда оценка этой гипотезы представлялась как оценка всей его теории. Отчасти в этом виноват был сам О. Ю. Шмидт, так как в первые годы своей работы в области космогонии он считал идею захвата наиболее оригинальной идеей своей теории. Несмотря на приверженность астрономов к классическому канто-лапласовскому представлению о совместном образовании Солнца и допланетного облака из единой туманности, при жизни О. Ю. Шмидта не было выдвинуто ни одной конкретной гипотезы совместного образования. Эти гипотезы появились лишь позднее, когда стали складываться более определенные представления об основных чертах процесса образования звезд. В гипотезе английского астрофизика Ф. Хойла (1960 г.) предполагается, что сжимающееся центральное сгущение (протосолнце) передало свой момент количества движения отделившемуся от него диску (допланетному облаку) благодаря магнитному сцеплению, установившемуся между сгущением и диском. В гипотезе американского физика А. Камерона (1962—1968 гг.) сжимающаяся туманность первоначально имела массу вдвое больше солнечной. Образование центрального сгущения — Солнца — с медленным вращением происходило в результате выброса в окружающее пространство с помощью не вполне ясного механизма турбулентности и конвекции массы порядка солнечной. В небулярной гипотезе французского астронома Э. Шацмана (1967 г.), наиболее близкой к гипотезе Лапласа, момент количества движения формирующегося Солнца эффективно уносился заряженными частицами, выбрасывавшимися активными областями и двигавшимися в магнитном поле Солнца до больших расстояний с угловой скоростью вращения Солнца. Пока еще нельзя сделать окончательного выбора между этими гипотезами, и ни одна из них не может быть принята без существенной ревизии. Но в целом гипотезы совместного образования Солнца и допланетного облака представляются сейчас более перспективными, чем гипотезы захвата. Они теснее связываются с проблемой происхождения звезд, интенсивнее разрабатываются и, вероятно, имеют больше возможностей для преодоления возникающих трудностей.

б) Образование планет. В основу теории Шмидта была положена кардинальная идея об образовании планет путем объединения твердых тел и частиц («метеоритная» или «планетезимальная» теория). Эта идея определила успех и перспективность дальнейшего развития теории. В то время она представляла подлинно революционный шаг в планетной космогонии, так как в течение длительного времени в ней господствовали представления об образовании планет из газовых сгустков. Лишь в самом конце XIX века метеоритную гипотезу развивал бельгийский ученый Лигондес, а в начале XX века (1904—1905 гг.) появилась планетезимальная гипотеза американских ученых Мультона и Чемберлина. Но эти гипотезы не получили дальнейшего развития и были вскоре оставлены. Необходимость повернуть космогонию на этот путь в 40-х годах была отнюдь не очевидной и решение О. Ю. Шмидта в значительной степени определялось его богатой интуицией. Его не могло удовлетворить огненно-жидкое начальное состояние Земли, образовавшейся из газового сгустка. Постепенно появлялись новые убедительные доводы против образования планет из газа. Оказалось, что при таком образовании невозможно объяснить химический состав планет земной группы и его отличие от состава планет-гигантов. Предполагали, что оно связано с малой массой планет земной группы и потерей ими летучих элементов. Но в работе И. С. Шкловского (1951 г.) была показана невозможность такой отсортировки летучих элементов. На спутнике Сатурна Титане, масса которого всего лишь вдвое больше массы Луны, была обнаружена мощная метановая атмосфера, которая давно рассеялась бы, если бы Титан нагрелся хотя бы до 0°C . Был обнаружен большой дефицит на Земле инертных газов по сравнению с их содержанием в звездах и туманностях. Содержание криптона составляет 10^{-8} , а ксенона — 10^{-5} от космического, хотя их атомы много тяжелее атомов азота и кислорода и не могли диссипировать из земной атмосферы. Теория Шмидта очень просто объясняет этот дефицит: в состав Земли вошли только вещества, находившиеся в допланетном облаке в твердом состоянии. Инертные газы оставались всегда газообразными и не попали на Землю. Лишь ничтожно малое количество атомов этих газов адсорбировалось на поверхности твердых частиц.

В теории Шмидта получило естественное объяснение деление планет на две группы (Б. Ю. Левин). Вследствие более низкой температуры в области планет-гигантов там происходила конденсация в твердые частицы, имевшиеся в облаке в большом количестве, летучих соединений CH_4 , NH_3 , CO_2 и др. Планеты земной группы, в области которых эти вещества оставались газообразными, их не содержат и состоят в основном из силикатов и металлов.

Наконец, еще один веский довод в пользу теории образования планет из твердого вещества следует из существования у планет спутников. Сходство основных закономерностей систем спутников Юпитера, Сатурна и Урана с закономерностями планетной системы указывает на сходство их процесса образования. Но спутники, вследствие их малой массы, никак не могли образоваться из газовых сгустков.

О. Ю. Шмидт дал объяснение основных закономерностей планетной системы. Наиболее простое и естественное объяснение получило движение планет по почти круговым орбитам, почти в одной плоскости и в одном направлении. Оно является результатом осреднения элементов орбит отдельных частиц. Частицы первоначально двигались по разнообразным эллиптическим и наклонным орбитам. Но при объединении большого числа частиц в одну планету эксцентриситет и наклон ее орбиты к центральной плоскости должны стать очень малыми.

В 1945 г. в работе «Астрономический возраст Земли» О. Ю. Шмидт вывел формулу для скорости роста планеты, вычерпывающей вещество, находящееся в ее зоне. При выводе предполагалось, что каждое тело, двигаясь по наклонной орбите вокруг Солнца, за время своего обращения дважды пересекало плоскость орбиты планеты и при этом имело возможность упасть на планету с вероятностью, равной отношению геометрического се-

чения планеты к площади зоны планеты. Формула дает экспоненциальное убывание со временем количества вещества в зоне, еще не вычерпанного планетой. Предполагая, что выпадающее в настоящее время на Землю метеоритное и метеорное вещество является остатком первичного вещества зоны, О. Ю. Шмидт нашел по этой формуле возраст Земли (время роста), равным 7,6 млрд. лет. Эта оценка вскоре подверглась критике. Указывалось, что метеориты и метеоры представляют собой продукт распада астероидов и комет, а не первичное вещество зоны Земли. В дальнейшем формула О. Ю. Шмидта стала одним из важнейших соотношений количественной теории роста планет. Она была выведена автором данной статьи другим, более строгим методом (1954 г.). Скорость роста планет оказалась в 15—20 раз больше, оцененной О. Ю. Шмидтом, — в два раза больше из-за того, что он фактически рассматривал только движение тел перпендикулярно плоскости орбиты планет и еще в 7—10 раз больше из-за того, что в формуле надо брать эффективное сечение столкновения с гравитирующей планетой, которое существенно больше ее геометрического сечения. Земля успела сформироваться за 10^8 лет и уже в первые 1—2 млрд. лет вычерпала все первичное вещество своей зоны.

О. Ю. Шмидт дал объяснение закона планетных расстояний. Согласно известному закону Тициуса — Бодэ расстояния планет от Солнца меняются приблизительно в геометрической прогрессии. О. Ю. Шмидт обнаружил, что удельные моменты планет (квадратные корни из их расстояний от Солнца) составляют арифметическую прогрессию, точнее сказать две — одну для планет земной группы и другую для планет-гигантов. Деление на две последовательности он считал естественным ввиду резкого различия всех характеристик двух групп планет. Но многие астрономы относили его к числу недостатков закона планетных расстояний, поскольку оно вносит в закон два дополнительных свободных параметра.

Рассмотрение проблемы вращения планет проведено О. Ю. Шмидтом при весьма общей постановке задачи, до него никем не применявшейся. Он написал условия сохранения момента количества движения и энергии при переходе от начального состояния вещества в зоне данной планеты — облака частиц, движущихся вокруг Солнца, — к конечному состоянию, т. е. к готовой планете. Начальный момент количества движения относительно Солнца перешел в орбитальный момент количества движения планеты и в ее вращательный момент. Чем меньше орбитальный момент, т. е. чем меньше радиус орбиты планеты, тем больше должен быть вращательный момент. Но чем меньше радиус орбиты, тем меньше орбитальная энергия планеты и, как считал О. Ю. Шмидт, тем больше тепловые потери энергии в процессе ее образования. Отсюда основной вывод О. Ю. Шмидта: так как потери энергии в этом процессе велики, то вращение планет должно быть прямым (в направлении орбитального движения). Аналогично этому О. Ю. Шмидт считал, что обратное движение далеких спутников Юпитера связано с малыми тепловыми потерями при образовании спутников на больших расстояниях от планеты.

Однако дальнейший анализ уравнений сохранения не подтвердил прямой зависимости вращения планеты от тепловых потерь (В. С. Сафронов, 1962 г.). И вращение и потери определялись конкретными условиями объединения тел в планету. Оказалось, что облако частиц, движущихся первоначально по круговым кеплеровым орбитам в зоне планеты, не могло объединиться в одну планету — такое объединение привело бы к скорости вращения, превышающей на два порядка наибольшую возможную скорость для ротационно устойчивой планеты. Следовательно, зона планеты не могла быть замкнутой. Частицы с избыточным моментом должны были уйти из нее в соседнюю наружную зону (далее от Солнца), а частицы с избыточной отрицательной энергией — в соседнюю внутреннюю зону. Соответственно отпало и объяснение О. Ю. Шмидтом обратного движения внешних спутников Юпитера.

В число основных задач теории образования планет входит также объяснение образования спутников планет. Важность этой задачи особенно подчеркивается в связи со сходством систем спутников с планетной системой. О. Ю. Шмидт наметил путь решения и этой проблемы. Его идея сводится к следующему. Спутники образовались в едином процессе с планетами. Тела, пролетавшие вблизи растущей планеты, иногда сталкивались друг с другом в ее окрестности. Вследствие неупругого характера столкновений тела теряли заметную часть своей скорости и захватывались гравитационным полем планеты. В результате образовался рой частиц, движущихся вокруг планеты. В нем, в уменьшенном масштабе, протекали те же процессы, что и при образовании планет. Частицы сталкивались и эксцентриситеты их орбит уменьшались. Многие частицы выпали на планету, а оставшиеся объединились в спутники планеты.

Эта идея полностью подтвердилась. В дальнейшем на ее основе была развита теория образования околоземного спутникового роя и формирования в нем Луны (Е. Л. Рускол). Была показана несостоятельность других гипотез образования Луны — отделение от Земли, захват Землей готовой Луны. Сейчас явное предпочтение отдается гипотезе образования Луны в окрестности Земли из вещества околоземного роя.

Возможность слипания малых сталкивающихся тел ставилась под сомнение. Поэтому О. Ю. Шмидт первоначально считал, что в допланетном рое с самого начала присутствовали достаточно крупные тела, которые своим тяготением удерживали падавшие на них другие тела и частицы. В 1950 г. в работе Л. Э. Гуревича и А. И. Лебединского была исследована эволюция околосолнечного пылевого облака (слоя), не содержавшего крупных тел. Вследствие неупругих столкновений частиц облако превратилось в тонкий диск. Достигнув критической плотности, диск стал гравитационно неустойчивым и распался на множество сгущений. Объединение этих сгущений завершилось образованием роя тел, принимавшегося ранее О. Ю. Шмидтом в качестве исходного состояния облака. Эта работа представляла существенный шаг в изучении ранней стадии эволюции допланетного облака и стала одним из важных звеньев теории Шмидта. Роль, придававшаяся неупругим столкновениям частиц в процессе образования планет, еще более возросла. В дальнейшем было показано, что пылевой слой, принятый Л. Э. Гуревичем и А. И. Лебединским за исходное состояние, образовался в результате естественной эволюции околосолнечного газо-пылевого облака космического состава — вследствие затухания неупорядоченных движений в газе и оседания пылевых частиц к центральной плоскости облака.

В зарубежной космогонии переход к новым представлениям произошел значительно позднее. В 1949 г. К. Эджворт произвел схематическое рассмотрение распада пылевого диска на сгущения. В 1951 г. известный американский физико-химик, лауреат Нобелевской премии Г. Юри начал физико-химические исследования структуры и состава метеоритов и на их основе определил условия, при которых могло происходить образование планет. Независимо от О. Ю. Шмидта, Г. Юри пришел к тому же решающему выводу об аккумуляции планет из твердого вещества (из тел астероидных размеров). Исследования Г. Юри явились следующей, после работ О. Ю. Шмидта, крупной вехой в планетной космогонии. Они открыли для космогонии новый богатый источник фактических данных. Теория образования планет путем объединения твердого вещества получила более прочную и широкую основу. В настоящее время среди специалистов практически нет разногласий в отношении главной идеи и основных выводов теории.

в) **Н а ч а л ь н о е с о с т о я н и е и э в о л ю ц и я З е м л и и п л а н е т.** Начальное состояние Земли определялось в первую очередь ее температурой. Если бы вся гравитационная энергия, выделившаяся при образовании Земли, осталась в ее недрах, то Земля нагрелась бы до 40000° . В действительности доля энергии, оставшаяся в недрах Земли, должна была существенно зависеть от способа ее образования. Так, например, при мед-

ленном сжатии газового сгустка половина энергии излучается в пространство, а половина идет на его нагревание. Значительно большая часть энергии излучается при образовании планеты путем объединения твердого вещества.

Отправным пунктом для рассмотрения третьей части проблемы планетной космогонии явилась важная идея О. Ю. Шмидта о том, что Земля сформировалась в виде относительно холодного твердого тела и затем постепенно разогревалась теплом, выделявшимся при распаде радиоактивных элементов. В то время в науках о Земле было общепринятым представление о горячем, расплавленном начальном состоянии Земли, опиравшееся исключительно на взгляды, господствовавшие в космогонии. Только В. И. Вернадский, благодаря его огромной научной эрудиции, смог освободиться от этих взглядов, внесенных в науку о Земле извне. С 1908 г. он отказался от представления о первоначально горячей Земле и считал, что все внутреннее тепло имеет радиоактивную природу.

Идея О. Ю. Шмидта о первоначально холодной Земле, высказанная уже в космогоническом плане, переворачивала существовавшие представления об эволюции Земли и имела исключительное значение для всех наук о Земле. Некоторые ученые сразу поняли ее перспективность, другие, наоборот, вначале считали ее подрывом всех основ геологии и геофизики и лишь постепенно переходили на эту точку зрения. За рубежом она распространилась позднее. Но уже в 1950 г. конференция геологов и геохимиков в Санта-Фе высказалась в пользу большей вероятности холодного начального состояния Земли.

Одной из первых задач, поставленных О. Ю. Шмидтом с целью исследования эволюции Земли, было изучение ее термической истории. Оно было начато в созданном О. Ю. Шмидтом Отделе эволюции Земли в 1950 г. (Е. А. Любимова, затем С. В. Маева). Было показано, что радиоактивное тепло, выделившееся за время существования Земли, должно было расплавить наружную область металлического ядра и привести в состояние частичного расплавления слой верхней мантии на глубине от 150—200 до 400 км. О. Ю. Шмидт был убежден, что Земля нагревается, а не остывает, и потому считал что контракционная гипотеза, связывающая горообразование с охлаждением и сморщиванием Земли, должна быть отвергнута. Если бы Земля была первоначально расплавленной, в ней быстро произошла бы гравитационная дифференциация вещества по плотности. Тяжелые вещества опустились бы вниз, легкие поднялись бы вверх, и Земля давно перестала бы быть тектонически и сейсмически активной. Но в Земле, постепенно разогреваемой радиоактивными элементами, гравитационная дифференциация происходит очень медленно и продолжается до сих пор. С нею связана современная внутренняя активность Земли — горообразование, сейсмичность и т. д.

Весьма существенным для исследования состава и эволюции Земли и других планет земной группы является выяснение природы ядра Земли. Сначала О. Ю. Шмидт придерживался общепринятой точки зрения о том, что ядро Земли состоит из железа. После работы Рамзея (1949 г.) он принял гипотезу Лодочникова — Рамзея о том, что ядро состоит из силикатов, перешедших в металлизированное состояние под действием высокого давления. Но и при этом он полагал, что в ядре может быть некоторая концентрация железа вследствие гравитационной дифференциации. Природа земного ядра до сих пор не установлена. Гипотеза железного ядра встретила ряд трудностей. Одна из наиболее серьезных состоит в том, что неясно, где и как могло произойти восстановление железа, находившегося в облаке скорее всего в окисленном состоянии. Серьезные трудности возникли и перед гипотезой силикатного ядра. Фазовый переход силикатов в металлическое состояние не удалось обнаружить в экспериментах по ударному сжатию до давления 4 млн. атмосфер. Возможность перехода ставится также под

сомнение и с чисто теоретической точки зрения. Сейчас большее предпочтение отдается гипотезе железного ядра Земли.

В 1951 г. в Москве было проведено Первое совещание по космогонии, на котором состоялось широкое обсуждение теории О. Ю. Шмидта советскими учеными. После большого доклада О. Ю. Шмидта было заслушано более 40 выступлений астрономов, геологов, геофизиков, геохимиков. Совещание вынесло решение, которое, несмотря на исключительную остроту дискуссии, было на редкость объективным. Совещание одобрило в целом работу О. Ю. Шмидта, отметило ее недостатки, а также вопросы, на которые теория не дала ответа. Совещание призвало к объединению усилий научных учреждений в различных областях знания и наметило ряд первоочередных задач, выполнение которых представлялось особенно важным для построения более полной космогонической теории.

О. Ю. Шмидт продолжал работу над теорией. Это были годы не только научного подвига, но и повседневного героизма в борьбе с прогрессирующей болезнью. Начиная с 1945 г., повторяющиеся обострения туберкулеза неутомимо разрушали его организм. После тяжелейшего обострения в декабре 1953 г. О. Ю. Шмидт уже не смог подняться и работал в постели в течение почти 3-х лет, до самых последних дней его жизни. 7 сентября 1956 года его не стало. Его последняя статья, посвященная роли твердых частиц в космогонии, была опубликована в Трудах Льежского симпозиума в 1955 году.

Развитие теории О. Ю. Шмидта продолжается в Отделе эволюции Земли Института физики Земли АН СССР и после его ухода. Значительно расширились исследования термической истории Земли и других планет (С. В. Маева), изучение строения и эволюции Луны (Б. Ю. Левин), исследование происхождения Луны и эволюции системы Земля — Луна (Е. Л. Рускол), изучение внутреннего строения планет земной группы (С. В. Козловская). Выявлена важная роль сравнительного изучения строения и состава различных планет. Проведено исследование различных этапов эволюции допланетного облака и процесса образования планет (В. С. Сафронов). Ведется изучение функции распределения допланетных тел по размерам (Е. В. Звягина). Новые данные, полученные недавно путем прямого исследования образцов лунной поверхности, находятся в хорошем согласии с нашими представлениями об эволюции Луны.

В последние годы была выяснена значительная роль крупных тел в процессе образования планет. По наклонам осей вращения планет были найдены размеры наибольших падавших на них тел. Наибольшие тела, падавшие на Землю, достигали тысячной доли ее массы (В. С. Сафронов, 1965 г.). Вывод был подтвержден теоретическим рассмотрением процесса роста зародышей планет. Этот результат приводит к важным геофизическим следствиям. При падении крупных тел в недрах Земли оставалась значительно большая часть энергии удара, чем при падении мелких тел. В результате слой верхней мантии на глубине около 500 км. мог иметь начальную температуру выше 1500° К. Удары самых крупных тел создали значительные температурные неоднородности в верхней мантии. В обширных избыточно нагретых областях с поперечниками свыше тысячи километров раньше начались процессы расплавления и выделения вещества коры. Естественно считать, что именно с их существованием было связано последующее образование континентов. В этих областях гравитационная дифференциация протекала быстрее и в большем масштабе, чем вне их.

Продолжающееся развитие теории происхождения солнечной системы, столь же успешно как и при жизни О. Ю. Шмидта, является, пожалуй, наиболее убедительным и ярким доказательством плодотворности и перспективности идей, положенных О. Ю. Шмидтом в ее основу.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Ю. Ш м и д т, Четыре лекции о теории происхождения Земли, Изд. 3-е, Изд-во АН СССР, М., 1957.
2. О. Ю. Ш м и д т, Избранные труды. Геофизика и космогония, Изд-во АН СССР, М., 1960.
3. Труды Первого совещания по вопросам космогонии, Изд-во АН СССР, М., 1951.
4. Отто Юльевич Шмидт, Жизнь и деятельность (Отв. ред. П. С. Александров), Изд-во АН СССР, М., 1959.
5. Б. Ю. Л е в и н, Происхождение Земли и планет, Изд. 4-е, «Наука», М., 1964.
6. В. С. С а ф р о н о в, Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет, «Наука», М., 1969.

Поступила 4.V 1971 г.

Институт физики Земли АН СССР