

И. А. РЕЗАНОВ

ИСТОРИЯ КОСМОГОНИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ О. Ю. ШМИДТА

В 2001 г. исполнилось 110 лет со дня рождения О. Ю. Шмидта (1891–1956). Научная и организационная деятельность его была исключительно многоплановой. Математик по образованию, он стал основателем московской алгебраической школы. Был одним из создателей многотомной советской энциклопедии. Шмидт возглавлял ряд полярных экспедиций, прокладывая Северный морской путь. Он — инициатор организации научной дрейфующей станции «Северный полюс». Велика роль Шмидта в консолидации геофизической науки в нашей стране: по его инициативе создан комплексный геофизический институт, ядро которого — нынешний Объединенный институт физики Земли — носит его имя.

Последние 12 лет своей жизни О. Ю. Шмидт посвятил разработке космогонической концепции. Журнал «Земля и Вселенная» в № 2 за 2002 г. опубликовал серию статей, посвященных О. Ю. Шмидту. Директор Объединенного института физики Земли РАН В. Н. Страхов писал: «Комплексные исследования физики Земли закономерно привели О. Ю. Шмидта к разработке космогонической гипотезы, которой занялась созданная им лаборатория эволюции Земли. Эти работы составили целую эпоху в науке» [1, с.25]. Шмидтовской космогонии посвящены статьи Е. Л. Рускол [2] и Ф. А. Цицина [3]. Однако Е. Л. Рускол история этой эпохи не раскрыта, а Ф. А. Цицин, специалист в области истории астрономии, в первой половине статьи строит предположения по поводу того, почему Шмидт решил заняться планетной космогонией, а во второй пытается показать, что развитие науки в таких областях, как эволюция Земли, происхождение комет и спутников планет, звездные расположения, проблема экзопланет, идет сейчас в соответствии со шмидтовской космогонией. Истории шмидтовской космогонии до начала 1980-х гг. посвящена статья В. С. Сафронова [4]. Она освещает в основном лишь историю взглядов на эволюцию газопылевого облака, не рассматривая других направлений, например изучения метеоритов.

За последние 20 лет в космогонии Солнечной системы возникло много новых острых проблем, в частности в связи с развитием изотопной геохимии. Всесторонний исторический анализ 60-летнего развития шмидтовской космогонии крайне важен для современного естествознания. На его примере можно увидеть как сильные, так и слабые стороны научного процесса при решении крупной естественно-научной проблемы.

Что послужило толчком к созданию обсуждаемой гипотезы

После открытия И. Кеплером законов движения планет вокруг Солнца и разработки И. Ньютоном закона всемирного тяготения, определившего особенности их движения, закономерно встал вопрос о происхождении Солнечной системы. Первой попыткой решить его была гипотеза Ж. Л. Бюффона, выдвинутая в 1745 г. Приняв во внимание, что сумма масс всех планет в 745 раз меньше массы Солнца, он решил, что такое соотношение получилось в результате отрыва от Солнца части его массы, вызванного ударом космического тела. Благодаря этому планеты вращаются вокруг Солнца в том же на-

правлении, в каком вращается и само Солнце. В 1755 г. И. Кант предложил гипотезу совместного образования Солнца и планет из холодного вещества различной плотности, представлявшего собой хаос. Центральное сгущение дало начало Солнцу, а меньшие массы превратились в планеты. П. С. Лаплас, не зная о гипотезе Канта, высказал в 1796 г. идею образования Солнечной системы из сжимающегося раскаленного газа, который, уплотняясь, превратился в «сплюснутую чечевицу». Благодаря центробежной силе из вращающейся туманности отделилось кольцо, разделившееся впоследствии на отдельные планеты. В XIX в. высказано несколько гипотез совместного образования Солнца и планет из небулярной туманности или из метеоритов. В начале XX в. Дж. Джинс предположил, что планеты отделились от центрального тела — Солнца — вследствие катастрофического явления. Он думал, что однажды вблизи Солнца пролетела массивная звезда, оказавшая на него столь сильное приливное действие, что оно выбросило часть материи в окружающее пространство. И из этой материи впоследствии возникли планеты. Гипотеза Джинса безраздельно господствовала в течение ряда лет, причем утверждалось, что, в отличие от гипотезы Лапласа, она объясняет наличие большого вращательного момента в орбитальном движении больших планет. Однако Н. Н. Парийский в 1943–1944 гг. показал, что гипотеза Джинса накладывает такие ограничения на значения вращательного момента в движении планет, которые противоречат наблюдениям.

Что же было отправной точкой, побудившей О. Ю. Шмидта заняться разработкой новой гипотезы происхождения Земли и Солнечной системы? Ответ мы находим в его «Четырех лекциях» [5]. Шмидт подразделил высказанные ранее космогонические гипотезы «на три класса по тому, откуда берется материал для планет» [5, с. 7]. В первом Солнце и планеты возникают из общей массы. Во втором — материя планет выделилась из уже существующего Солнца. В третьем — «материя планет получается из межзвездной материи уже после образования Солнца» [5, с. 8]. О. Ю. Шмидт делает вывод: «Оказывается, что, кроме индивидуальных недостатков, все гипотезы первых двух указанных мною групп не могут быть согласованы с законом сохранения момента количества движения. <...> Как известно, Солнце содержит более 99% общей массы системы и только 2% момента количества движения, тогда как на планеты падает около 1/700 массы, но 98% момента количества движения» [5, с. 9]. И добавляет: «Крушение теории Джинса на этом же вопросе о распределении момента последовало после работ Рассела и Н. Н. Парийского. <...> И ротационная гипотеза В. Г. Фесенкова, относящаяся к этой же группе, как признает сам автор, не объясняет распределение момента количества движения» [5, с. 11]. Из этих высказываний видно, что исходным толчком, побудившим О. Ю. Шмидта обратиться к построению космогонической гипотезы, было стремление объяснить существующее в Солнечной системе распределение момента количества движения, что его предшественникам не удавалось сделать.

Ф. А. Цицин, восстанавливая историю анализируемой гипотезы, полагал, что идея родилась у Шмидта в апреле-мае 1942 г., когда он, будучи в эвакуации в Казани, мог ознакомиться с двумя публикациями: «Теория конденсации метеорной материи и ее космогоническое значение» (В. Lindblad, 1935) и «Определение галактической орбиты Солнца» (П. П. Паренаго, 1939). Линдблад рассмотрел рост межзвездных частиц в темных облаках от мелких «пылевых» до метеоритных и более. Паренаго, найдя эллиптическую наклонную к плоскости Галактики орбиту Солнца, пришел к выводу о периодическом пересечении Солнцем этой плоскости. Эти два астронома, а также Н. Н. Парийский, считал Ф. А. Цицин, подтолкнули О. Ю. Шмидта заняться разработкой космогонической гипотезы (см. [6]).

От первых публикаций 1944 г. до космогонического совещания 1951 г.

В 1944 г. выходят две статьи О. Ю. Шмидта, положившие начало его гипотезе. В первой статье изложена теория образования визуально-двойных звезд путем захвата в условиях вращающейся Галактики [7]. Вторая статья называется «Метеоритная теория происхождения Земли и планет» [8]. «В основе теории, — писал Шмидт, — лежит следующая концепция: Солнце, в своем галактическом пути, некогда пересекало облако темной материи (пыли, метеоритов) и захватило часть этой материи, заставляя захваченные частицы вращаться около себя; в дальнейшем эти частицы объединились в более крупные образования — планеты» [8, с. 245].

Что же было еще нового в «теории» О. Ю. Шмидта, кроме введенных постулатов о захвате? Новым является его объяснение генезиса метеоритов и комет. Он писал: «Мы говорим о метеоритах и пыли. Между ними нет принципиальной разницы» [8, с. 247]. А в следующей статье: «...кометы, как и новые наблюдаемые метеориты, — остатки метеоритного роя, образовавшегося вокруг Солнца при захвате темной материи во время прохождения Солнца через облако в центральной области Галактики. Основная масса этого слоя пошла на образование планет, часть сохранилась, продолжая обращение вокруг Солнца» [9, с. 413]. В этом определении отметим: а) общность происхождения метеоритов и комет; б) отсутствие генетической связи с Солнцем у тех и других — они образовались в далекой Галактике. Оба эти представления впоследствии оказались роковыми для обсуждаемой гипотезы. Следующим шагом стало математическое обоснование идеи «захвата». О. Ю. Шмидт признавал, что при двух телах захват невозможен, но в задаче трех тел он считал захват возможным [10], а Г. Ф. Хильми показал положительную вероятность захвата [11].

В 1948 г. О. Ю. Шмидт прочитал цикл лекций о своей теории в Геофизическом институте АН СССР, в 1949 г. они вышли отдельной книгой, а в следующем были переизданы с некоторыми добавлениями [5]. Это было первое обобщение результатов исследований Шмидта и его сотрудников по разработке выдвинутой им концепции. В первой лекции говорится о крушении теорий Дж. Джинса и Г. Джеффриса и гипотезы В. Г. Фесенкова, не объясняющих распределение момента количества движения, и ставится задача объяснить следующие основные черты Солнечной системы: 1) закономерности орбит; 2) закономерности планетных расстояний; 3) разделение планет на две группы; 4) распределение момента количества движения. Вторая лекция посвящена теории захвата и эволюции протопланетного роя. Третья касается закономерностей планетной системы, и прежде всего закона планетных расстояний Тициуса-Бодде. Шмидт предложил свое объяснение увеличению расстояний между планетами по мере их удаления от Солнца, связав это с распределением момента количества движения. Мы остановимся на этом ниже в связи с критической публикацией Г. М. Идлisa [12]. Наконец, четвертая лекция посвящена образованию и эволюции Земли. Оценивая продолжительность развития нашей планеты (7,6 млрд лет), ее тепловую историю и вещественный состав, Шмидт писал: «Теперь уже можно считать вполне установленным фактом тождественность состава Земли с составом метеоритов» [5, с. 77]. И далее: «Метеориты, выпадающие в наши дни на поверхность Земли, не являются, конечно, неизменными представителями первоначального населения роя, из которого образовались планеты. Структура этих метеоритов — начиная от хондр и кончая крупными обломками, из которых состоят многие из них, — говорит о том, что они прошли сложный и длительный путь развития, путь, на котором процессы объединения и процессы дробления многократно сменяли друг друга. Выдающийся исследователь метеоритов академик А. Н. Заварицкий считает несомненным, что они образовались путем аккумуляции мелких частиц, и в то же время полагает, что они произошли из недр распавшей-

ся планеты. Эти два положения трудно совместить. Мне лично кажется мало вероятным, чтобы планеты когда-либо взрывались или распадались, но столкновение и дробление метеоритов и малых астероидов, несомненно, происходило не раз, как и новое образование их из более мелких частей» [5, с. 81]. Этим высказыванием положено начало продолжавшейся 50 лет нестыковке двух противоборствующих концепций о природе метеоритов: 1) концепции петрографов, считающих метеориты обломками распавшейся планеты и 2) представлений О. Ю. Шмидта и его исследователей, рассматривающих метеориты как первичный материал, пошедший на образование Земли и других планет.

В 1949 г. О. Ю. Шмидт попытался связать свои представления о начальных условиях на Земле с тем, что свидетельствует об этом геология. С этой целью сотрудник Геофизического института геолог А. Б. Ронов проводил наблюдения на Балтийском щите. Но они не дали результатов. Эта плодотворная идея смогла реализоваться лишь 30 лет спустя, когда Л. И. Салопом и другими докембристами была разработана стратиграфия древнейших пород Земли.

Космогоническое совещание 1951 г.

В апреле 1951 г. в Геофизическом институте АН СССР состоялось совещание, посвященное обсуждению космогонической гипотезы О. Ю. Шмидта. В присутствии более 330 участников выступило около 40 ведущих ученых в области астрономии, геофизики, геохимии и геологии. Хотя это совещание проходило в последние годы «сталинской эры», в выступлениях не было заметно идеологического давления. Более того, в решении совещания отмечено, что «несмотря на большое идеологическое значение вопросов космогонии, Институт философии АН СССР не принял в его работе активное участие» [13, с. 368].

В настоящей статье нет возможности дать обзор всех выступлений. Остановимся на двух — академика В. Г. Фесенкова и академика А. Н. Заварицкого, поскольку в них в концентрированной форме рассмотрены как астрономические, так и геологические проблемы планетной космогонии. В. Г. Фесенкова не было на совещании. Доклад его был зачитан. На первой же странице своего выступления В. Г. Фесенков пишет: «Главным недостатком в работе О. Ю. Шмидта в области космогонии является узость его космогонической концепции» [13, с. 15]. «О. Ю. Шмидт ставит проблему очень узко, не интересуясь эволюцией Солнца и звезд, физической природой планет Солнечной системы, мелких тел и даже природой и происхождением самих метеоритов, которые, однако, служат ему для его космогонических построений» [13, с. 41].

В. Г. Фесенков критикует концепцию Шмидта по нескольким направлениям. Во-первых, представление о «захвате» и его математических доказательствах, показывая, что «О. Ю. Шмидт не определяет область начальных условий, приводящих к распаду или, что аналогично, к захвату, даже в своем единственном примере, так что судить... об этой вероятности не представляется возможным. Еще более неудовлетворительное положение для теории захвата представляют двойные звезды... Образование спектрально-двойной звезды путем захвата так же невозможно, как невозможен разрыв существующей звезды на одинаковые части под действием посторонней звезды» [13, с. 44, 45].

Столь же резко возражал В. Г. Фесенков и в отношении «захвата» протопланетного облака: «Итак, о захвате Солнцем части темного пылевого облака вообще не может быть никакой речи... Вообще можно удивляться тому, что О. Ю. Шмидт, в гипотезе которого идея захвата является единственной оригинальной идеей, уделил так мало труда для ее обоснования... При одновременном прохождении двух звезд через одно и то же

пылевое облако гравитационный захват невозможен, так как само облако не может, как совершенно очевидно, играть роль третьего тела» [13, с. 48].

Единственной возможностью возникновения Солнечной системы В. Г. Фесенков считал совместное образование и эволюцию как Солнца, так и планет. Он писал: «О. Ю. Шмидт, пренебрегая вопросами происхождения и эволюции звезд, в том числе и Солнца, считал необходимым объяснить вращение Солнца падением на его поверхность метеоритов из захваченного метеоритного облака. Это странное объяснение представляется совершенно ненужным, если учесть ход эволюции Солнца, т.е. тот факт, что наше Солнце должно было представлять в прошлом весьма быстро вращающуюся звезду...» [13, с. 51].

В. Г. Фесенков возражал и против метеоритного состава первоначального облака, но о природе метеоритов лучше привести высказывания авторитета в этой области А. Н. Заварицкого. Не вступая в прямую полемику со Шмидтом, Заварицкий, на протяжении многих лет занимавшийся изучением метеоритов, дал развернутое объяснение их генезиса, не устаревшее до сих пор (см. «Закключение»). «Исключительное значение метеоритов, — писал он, — определяется тем, что это — единственный документ, попадающий извне к нам на Землю» [13, с. 191]. Он подразделил метеориты на три группы: эвкриты, хондриты и железные. «Эвкриты — то же самое, что наши горные породы и, следовательно, они образовались также в коре какой-то планеты» [13, с. 198]. «Состав хондритов близок к составу горных пород. Но они имеют структуру, которая горным породам не свойственна... эти метеориты существенно состоят из хондр — быстро застывавших капель» [13, с. 195]. Он считал, что при образовании хондритов «происходили не взрывы, "где все перемешивается", но что это был какой-то процесс, при котором материал распада не разлетался, ... потому что метеоритов смешанного состава мы не знаем» [13, с. 195]. В отношении железных метеоритов он писал: «Во всяком случае, трудно думать, что железо таких метеоритов собиралось из частичек, значительно рассеянных в пространстве. Вероятно, и эти метеориты образовались из каких-то больших масс... Таким образом, мы приходим к заключению, что вещество метеоритов обособилось на какой-то планете или планетах» [13, с. 198]. Свое выступление А. Н. Заварицкий заключает следующими словами: «Мне бы хотелось только, чтобы из моего доклада было ясно, что к предположению о родоначальной планете, из которой образовались метеориты, мы обращаемся не как к постулату, а к нему нас приводит ряд фактических наблюдений...» [13, с. 203].

Критические замечания других выступающих были направлены против: а) неучета огромной роли водорода в протопланетном облаке и участия его в процессе образования планет (А. Г. Масевич, Н. А. Козырев); б) идеи раздельного образования Солнца и планет (Б. В. Кукарин); в) идеи «захвата» двух, трех тел и протопланетного облака (В. А. Крат, С. К. Всехсвятский, И. С. Шкловский, Г. Н. Дубинин, М. Ф. Субботин и др.).

В заключение приведем цитату из выступления В. А. Амбарцумяна: «Разрешите откровенно сказать свое мнение и по следующему вопросу: свободная критика одного из двух основных положений концепции О. Ю. Шмидта — положения о захвате — показала, что до сих пор не удалось доказать реальную (не математически только, а реальную) возможность захвата звездой пылевого облака, возникшего в Галактике независимо от нее» [13, с. 327].

В поддержку концепции О. Ю. Шмидта выступили его сотрудники (Г. Ф. Хильми, Б. Ю. Левин, Е. Н. Люстих, Н. Н. Парийский), а также Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский.

Огромное значение космогонического совещания 1951 г. заключалось не только в критическом анализе обсуждавшейся концепции, но прежде всего в том, что оно четко определило основные дискуссионные проблемы космогонии Солнечной системы, проблемы, обсуждавшиеся на протяжении последующих пятидесяти лет:

— возможен ли теоретически захват при взаимодействии двух или трех тел и, в частности, захват межзвездной туманности?

— можно ли обсуждать механизм образования планет, не рассматривая эволюцию Солнца, и не происходило ли совместное образование Солнца и планет?

— происходило ли образование планет с участием водорода и других летучих веществ или только за счет твердых тел?

— что такое метеориты — обломки ранее существовавшей планеты или строительный материал для планет?

— была ли Земля холодной в начале ее истории и за счет чего она нагревалась (радиоактивный распад, гравитационная энергия, тепло, выделившееся при ударах крупных тел, химическая энергия)?

Эти проблемы и сопутствующие им вопросы стали предметом многолетних последующих исследований, но главными, суммирующими проблемами оставались две: 1) раздельное или совместное образование Солнца и планет; 2) природа метеоритов, астероидов, комет.

От космогонического совещания до последней публикации О. Ю. Шмидта

Следующий этап в развитии концепции О. Ю. Шмидта составляет шесть лет. Он охватывает последние годы его жизни и завершается посмертной публикацией третьего издания его «Четырех лекций», вышедшего в 1957 г. [14]. В этот период исследовательская группа Шмидта расширилась. Кроме сотрудничавших с ним ранее С. В. Козловской, Б. Ю. Левина и Г. Ф. Хильми, в ней еще до космогонического совещания стали работать Е. А. Любимова, В. С. Сафронов, С. В. Маева, Е. Л. Рускол и др. Исследования сотрудники Шмидта вели по нескольким направлениям. Но сначала остановимся на его личных исследованиях.

Среди работ самого О. Ю. Шмидта наибольший интерес представляют последний доклад, сделанный им на Международном астрофизическом симпозиуме в Бельгии в 1954 г. [15], и подготовленное С. В. Козловской посмертное, третье, издание его «Четырех лекций» [14]. В докладе Шмидт настойчиво проводит мысль, что Земля и другие планеты образовались только из твердых частиц при полном отсутствии газовой составляющей, в том числе и водорода: «Но если в отношении планет-гигантов есть основание допускать их рост за счет пыли и газа, то в отношении планет земной группы есть основание настойчиво отвергать эту возможность» [15, с. 126]. И далее: «Двум группам планет, резко различающимся по химическому составу, соответствуют две группы малых тел — кометы, образовавшиеся в холодной внешней зоне облака, и астероиды, образовавшиеся на границе внутренней и внешней зон. Ледяные ядра комет помогают нам понять состав зародышей планет-гигантов и их спутников. В то же время обломки астероидов — метеориты с их хондровой, а зачастую и брекчиевой структурой помогают нам понять процессы многократного дробления и объединения твердых тел и частиц, которые происходили на ранних стадиях эволюции облака» [15, с. 129]. Из этих цитат видно, что Шмидт: а) исключал участие газовой составляющей (водорода) в процессе образования планет земной группы; б) допускал одинаковые условия происхождения комет и астероидов. Но из этих же цитат видно, что автор «метеоритной» гипотезы к концу своей жизни выступил за «кометное» происхождение внешних планет, т.е. сделал шаг в пользу кометной гипотезы происхождения планетной системы, сформулированной тридцать лет спустя А. А. Маракушевым [16].

Обратимся к посмертному изданию «Четырех лекций». На последней его странице читаем: «Рассматривая связь Солнца с Галактикой, мы изложили гипотезу возникновения газопылевого допланетного облака путем захвата его Солнцем из галактического

материала. Мы теоретически обосновали возможность захвата и его положительную вероятность [14, с. 123]. И еще резче: «...я все же не колеблясь утверждаю, что только захват галактической материи мог обеспечить Солнце допланетным облаком такого протяжения и с таким громадным моментом количества движения» [14, с. 99]. Справедливости ради отметим, что в книге 1957 г. [14] О. Ю. Шмидт не исключал, «что при образовании звезд существовали и условия, которые давали и другие, кроме захвата, способы возникновения облака... Сегодня еще нет достаточных данных для того, чтобы окончательно сказать, произошла ли именно наша планетная система из облака, возникшего путем захвата или иным, еще неизвестным путем» [14, с. 94, 95]. В этих словах чувствуется потребность Шмидта пересмотреть свою первоначальную позицию о природе протопланетного облака, на что сам он так и не решился, но это вскоре сделали его последователи.

В последние годы своей жизни О. Ю. Шмидт осознал необходимость разработки физических основ своей концепции и стал приглашать к сотрудничеству физиков. Выпускнице физфака МГУ Е. А. Любимовой была поставлена задача: произвести расчет внутренней температуры и тепловой энергии Земли под действием собственного внутреннего источника тепла, рассеянного в Земле. Но главным было привлечение к решению космогонических проблем крупного физика-теоретика Бориса Иосифовича Давыдова. Хотя Давыдов недолго проработал в Отделе эволюции Земли и планет до своей кончины, влияние его на дальнейшее развитие шмидтовской космогонии было огромным. Е. А. Любимова писала: «Он (Давыдов. — *И. Р.*) привлек внимание геофизиков к рассмотрению уравнения состояния вещества в условиях высокого давления в недрах Земли. Фактически это давало ключ к выводам о составе Земли. Была опубликована работа Б. И. Давыдова «Об условиях состояния твердых тел с ионной связью». Впоследствии на эту тему была написана книга В. Н. Жаркова и В. А. Калинина «Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях» (1968). Большой знаток в области статистической физики и, в частности, уравнения Больцмана, Б. И. Давыдов посоветовал аспиранту отдела Шмидта С. В. Пшенай-Северину рассмотреть количественно взаимодействие и рост частиц в протопланетном облаке с применением кинетической теории коагуляции коллоидов, основы которой были заложены М. Смолуховским. Впоследствии эта идея получила развитие в работах В. С. Сафронова, Е. В. Звягиной, Г. В. Печерниковой» [17, с. 199].

По инициативе О. Ю. Шмидта Е. А. Любимова рассчитала термическую историю Земли, исходя из предположения, что первоначально Земля была холодной, а затем разогревалась теплом радиоактивного распада U, Th и K. Кривая распределения начальной температуры вдоль распада имела максимум порядка 1500–2000 К на глубине 2500–3000 км, спадая до температуры 300–400 К к центру и поверхности [18]. В. С. Сафронов [19; 20] принял время роста Земли в 100 млн лет (10^8 лет). В начале аккреции температура была 0 °С (270 К). Нагревание поверхности растущей Земли ударами падающих тел было небольшим: «минимальную температуру порядка 350–400 К имели слои, находящиеся сейчас на глубине около 2000 км» [20, с. 142]. За время аккреции за счет радиогенного тепла температура в центре планеты достигала 1000 К (700 °С).

При жизни О. Ю. Шмидта его концепция была известна лишь в нашей стране. Спустя 5–6 лет после космологического совещания появились как положительные, так и критические отклики на нее. П. Н. Кропоткин писал: «В результате исследований О. Ю. Шмидта и других космогонистов выяснилось, что Земля и другие планеты сформировались лишь как холодные твердые тела при очень низкой температуре из космической пыли и газа, а лишь в дальнейшем температура Земли постепенно повышалась благодаря распаду радиоактивных элементов. Однако, как показывают расчеты, верхние слои земной оболочки не были расплавлены целиком [21, с. 32].

Иначе оценивал концепцию О. Ю. Шмидта В. Г. Фесенков [22]. Он не соглашался с расчетами термической истории Земли В. С. Сафронова и Е. А. Любимовой, принявших в соответствии с позицией их учителя допущение, что первоначально Земля была холодной и постепенно разогревалась радиоактивностью. Фесенков указывал на недоучет других источников энергии, и прежде всего энергии, выделившейся при агломерации планетного тела. Он возражал против принятой В. С. Сафроновым и Е. А. Любимовой модели первоначально холодной Земли: «...ряд известных фактов, относящихся к внутреннему строению Земли, заставляет все более отходить от прежней концепции первоначально холодной Земли и вводить ряд новых факторов, которые могли бы обусловить достаточно значительный ее разогрев. Например, для объяснения того, что радиоактивные вещества фактически сосредоточены в таком поверхностном слое, нужно предполагать, что разогрев сначала произошел во всей Земле в целом, привел ее в пластическое состояние настолько, что сделалась возможной конвекция с выносом наружу радиоактивных элементов. Однако эта конвекция должна была наступить лишь после того, как центральное ядро уже полностью расплавилось, так как вследствие крайней медленности радиоактивного разогрева слишком быстрый перенос этих элементов в наружные слои позволил бы внутренним слоям получить необходимую высокую температуру. К таким искусственным построениям приходится прибегать только потому, что автор связан с концепцией О. Ю. Шмидта о происхождении Земли путем медленного слипания пылевидных частиц, что не позволяет с самого начала снабдить Землю необходимой ей тепловой энергией.

В действительности мы должны рассматривать происхождение Земли и планет не из пылевого квазиметеоритного облака, якобы захваченного Солнцем из гипотетической пылевой туманности, но из газовой-пылевой среды, окружавшей первоначальное Солнце и имеющей одинаковый с ним химический состав» [22, с. 411].

С кончиной О. Ю. Шмидта в 1956 г. разработка его концепции продолжалась. В ее дальнейшем развитии прослеживается несколько этапов. Первый охватывает вторую половину 1950-х гг. и 1960-е гг., т.е. до получения информации о строении и истории Луны. Второй включает 1970-е гг. (начало космической эры), когда начал поступать обильный материал о лунных породах, а также и о строении и составе других небесных тел. Последний этап приходится на 90-е гг. ушедшего века. Его можно рассматривать как своего рода подведение итогов полувековой эволюции рассматриваемой концепции.

После Шмидта — до начала космической эры

После кончины О. Ю. Шмидта заведовать Отделом эволюции Земли и планет в Институте физики Земли (бывшем Геофизическом институте) стал Б. Ю. Левин. О его взглядах на развитие рассматриваемой концепции в 1960-е гг. можно судить по научно-популярной книге, четвертое издание которой вышло в 1964 г. [23], и обзору о происхождении метеоритов, опубликованному годом позже [24]. Поражает неопределенность и противоречивость высказываний Левина по всем вопросам космогонии, поднятых О. Ю. Шмидтом. Складывается впечатление, что Левин видит шаткость концепции своего учителя, но решается указать на его неправоту лишь частично. Неопределенность у Б. Ю. Левина и по основному вопросу шмидтовской космогонии — о природе протопланетного облака. Он рассматривает аргументы за и против как совместного образования Солнца и облака, так и захвата Солнцем посторонней материи и ... не высказывает своего мнения о том, какая из этих двух позиций правильна. В завуалированной форме Левин пересматривает взгляды О. Ю. Шмидта на природу метеоритов: «Гипотезы, предполагающие, что планеты образовались из вещества, находящегося в твердом состоянии, называли обычно метеоритными гипотезами, независимо от того, имелись

ли в виду действительно метеориты, или мельчайшие пылевые частицы, или же те и другие вместе. Поэтому теорию О. Ю. Шмидта иногда называют метеоритной. Но это не значит, что первоначальные частицы околосолнечного облака имели такую же температуру и размеры, как те метеориты, которые в наше время выпадают на Землю» [23, с. 40]. После этих слов в сноске Б. Ю. Левин еще раз подчеркивает свое несогласие со взглядами Шмидта на природу метеоритов: «Смещение первоначальных частиц и метеоритов, выпадающих на поверхность Земли, которое допускалось 10–20 лет тому назад в некоторых изложениях теории, ошибочно» [23, с. 40]. Метеориты Б. Ю. Левин рассматривал как обломки астероидов: «Эволюция метеоритного вещества протекала в крупнейших “первоначальных” астероидах, поперечником в сотни км (а по мнению некоторых исследователей, в еще более крупных телах), недра которых разогревались до высоких температур радиоактивным теплом» [24, с. 65]. «Метеориты разных типов являются представителями разных слоев «родительских» астероидных тел. Железные и железо-каменные метеориты возникли в центральных частях этих тел — там, где температура одно время была около 1000°... Каменные метеориты — хондриты — являются, по-видимому, обломками промежуточных слоев родительского тела, в которых максимальная температура составляла 600–800 °С. Наконец, очень редкий тип метеоритов — углистые хондриты — являются обломками самых наружных слоев, никогда не прогревающихся» [23, с. 68]. Таким образом, Левин допускал огромные размеры астероидов, в которых благодаря разогреву произошла дифференциация вещества на железное ядро и хондритовую оболочку. Чем же эта его позиция отличается от концепции Г. Добре, Р. Дэли, А. Н. Заварицкого, В. Г. Фесенкова, писавших об образовании всех метеоритов в одной планете? Фактически ничем, кроме представления о размере родоначального тела. Но чем крупнее это тело, тем больше оснований ожидать, что оно разогрелось до состояния плавления и дифференциации на ядро и оболочку.

Допуская существование железного ядра в родительских телах метеоритов, Б. Ю. Левин, однако, категорически возражал против представлений о железном ядре Земли, развивая взгляды О. Ю. Шмидта, полагавшего, что ядро сложено «металлизированными силикатами». Приняв такой состав ядра для Земли, Венеры и Марса, Б. Ю. Левин был вынужден признать, что Меркурий, «как показывает его высокая плотность при малой массе», должен состоять из более тяжелого вещества, значительного количества железных частиц, которые затем вошли в состав Меркурия и определяют его высокую плотность [23, с. 61].

Если О. Ю. Шмидт рассматривал образование планет из первоначальной «темной материи», состоящей из твердых частиц (метеоритов и пыли), то Б. Ю. Левин принимает позицию В. Г. Фесенкова и большинства других астрономов по вопросу об идентичности состава первичного облака, из которого образовались как Солнце, так и планеты. Чтобы сохранить хотя бы видимость того, что он разделяет позицию Шмидта об образовании планет земной группы из «твердых частиц», Б. Ю. Левину пришлось придумать механизм, с помощью которого из зоны планет земной группы еще до их образования было удалено 99% вещества — газ, состоящий из водорода и гелия. Он писал: «Деление планет на группу планет земного типа и группу планет-гигантов объясняется следующим образом. Протопланетное облако, вследствие присутствия в нем пыли, было очень непрозрачным. Солнечные лучи не проникали в дальние от Солнца части облака, и температура частиц была там очень низкой, — вероятно, — ниже 250 °С, т.е. ниже 25 К. Но ближе к Солнцу части облака нагревались его лучами. Поэтому вблизи Солнца могли существовать только частички из тугоплавких каменных и металлических веществ. В то же время вдали от Солнца частички укрупнялись за счет обильного намораживания на них газов, присутствовавших в околосолнечном облаке» [23, с. 54].

Образование Юпитера и Сатурна, сложенных в основном водородом, Левин объяснял тем, что температура упала до 5 К, водород намерзал вокруг частиц и в твердом состоянии вошел в состав этих планет!

Итогом рассматриваемого этапа в развитии гипотезы была публикация книги В. С. Сафронова «Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет» [25]. Заявляя, что «в картине образования Солнца и допланетного облака из единой туманности еще много неясностей и неопределенности» [25, с. 17], В. С. Сафронов все же склонился к тому, что «идея о совместном образовании Солнца и облака представляется сейчас более перспективной и обещающей, чем идея о захвате облака Солнцем» [25, с. 17]. В докладе на заседании, посвященном 80-летию О. Ю. Шмидта, он говорит более определенно: «Вероятнее всего, протопланетное облако отделилось от сжимающегося протосолнца, когда последнее стало ротационно неустойчивым» [26, с. 7]. Таким образом, последователь Шмидта отказался от основной идеи рассматриваемой концепции. Если следовать предложенной О. Ю. Шмидтом классификации космогонических гипотез, Сафронов перевел гипотезу своего учителя из третьей группы во вторую, где «материя планет тем или иным процессом выделилась из уже существующего Солнца» [5, с. 3]. Концепция Шмидта перешла в один ряд с гипотезами Бюффона, Мультона-Чемберлена, Джинса, Фесенкова и др. Что же осталось от идей Шмидта у его последователя? Только одно — образование планет «путем объединения (аккумуляции) твердых тел и частиц» [26, с. 35]. Эту ошибочную позицию Шмидта В. С. Сафронов оставил в силе, но попал в расставленную им же самим ловушку. Шмидт мог говорить об образовании Земли путем объединения твердых тел и частиц по той причине, что они принадлежали «темной материи», захваченной Солнцем. Если Солнце и протопланетное облако образовались совместно, то последнее состояло на 99% из водорода, в котором остальные химические элементы составляли лишь ничтожную примесь. Возникла проблема: удалить из зоны планет земной группы весь водород! Как видно из дальнейшего, оптимальное ее решение не было найдено. Приняв концепцию совместного образования Солнца и планет, В. С. Сафронов, как и его учитель, не считает нужным рассматривать эволюцию Солнца. Не рассматривает он и происхождение метеоритов, т.е. тех «твердых тел», из которых аккумуляровались планеты. Книга посвящена эволюции уже существующего допланетного облака и аккумуляции из него (вследствие процессов, аналогичных коагуляции) планет. В отношении природы астероидов Сафронов повторяет версию Шмидта, что это зародыши планеты, образованию которых помешало гравитационное возмущение со стороны Юпитера. На основании своих расчетов В. С. Сафронов заключает, что формирование Земли из твердых частиц продолжалось примерно 100 млн лет и возникла она в результате соударения преимущественно крупных тел, которые по массе были сопоставимы с Луной. Отсюда последовал вывод, что нагревание Земли в процессе ее аккреции было вызвано теплом, выделившимся в процессе ударов крупных тел. Одним из следствий таких ударов В. С. Сафронов считал неоднородности в теле Земли. «На большие горизонтальные неоднородности указывает также существование океанов и континентов» [26, с. 233].

В рассматриваемый период вопросам термической истории Земли и Луны посвящен ряд работ Е. А. Любимовой, Б. Ю. Левина, С. В. Маевой и Е. Л. Рускол. Обсуждались все более сложные задачи с различными вариантами содержания радиоактивных элементов, учитывалась роль лучистой теплопроводности и величины теплового потока с континентов и океанов. Б. Ю. Левин и С. В. Маева рассматривали образование земной коры как длительный процесс, начавшийся $3 \cdot 10^9$ лет назад [27]. В 1968 г. опубликована монография Е. А. Любимовой, подводящая итог ее 20-летних исследований по геотермии планет [28]. Основным источником их разогрева она считала радиогенные элементы, отмечая большую неопределенность относительно их распределения из-за неясно-

сти химического состава мантии и ядра. Если ядро Земли в основном железное, то при его формировании должна была выделяться энергия, равноценная радиоактивному источнику. По ее расчетам разогрев под действием радиоактивного распада может происходить до сих пор в глубочайших недрах, а верхние слои мантии могут охлаждаться. Она считала, что «все другие источники тепла (приливное трение, «короткоживущие» изотопы, поглощение нейтрино и др.) имеют второстепенный характер и не определяют направление термической истории Земли и Луны» [28, с. 255].

Подводя итог первому десятилетию развития концепции Шмидта после его кончины, приходится констатировать, что его последователи отказались от большинства постулатов, положенных им в основу его «теории». Б. Ю. Левин оставил открытым вопрос о раздельном или совместном с Солнцем образовании протопланетного облака, а В. С. Сафронов однозначно встал на позиции совместного образования Солнца и планет из единой протосолнечной небулы. О. Ю. Шмидт не различал частицы и метеориты, рассматривая те и другие как первичный материал при образовании планет. Б. Ю. Левин такое смешение частиц и метеоритов признал ошибочным [23, с. 40]. О. Ю. Шмидт считал, что даже такая крупная планета, как Земля, образовалась в результате собирания холодных частиц и метеоритов, и сама первоначально была холодной. Б. Ю. Левин же пришел к заключению, что даже небольшие астероиды прошли состояние плавления.

Единственное, что сохранили последователи Шмидта от его концепции, было утверждение, что планеты земной группы образовались из твердых частиц. Но если для Шмидта такой тезис был закономерен (поскольку он предполагал образование планет из захваченной «темной материи»), то для его последователей, вставших на позиции совместного образования Солнца и планет из единой небулы, отстаивание такого тезиса было сопряжено с большими трудностями: куда девался водород?

Семидесятые годы: как встретили последователи Шмидта информацию об истории Луны?

В начале 1970-х впервые появились прямые данные о химическом составе внеземных пород и обширная информация о Луне, полученная по программам «Аполлон» и «Луна». Эти материалы стали проверкой сложившихся ранее космогонических концепций, и в том числе шмидтовской космогонии. Что касается Луны, то стало известно: 1) 4,6–4,5 млрд лет назад Луна была расплавлена, и на ней образовалась мощная анортозитовая кора; 2) поверхность ее подверглась метеоритной бомбардировке, в результате чего возник слой раздробленных пород — реголита; 3) примерно 4,0 млрд лет назад образовались гигантские ударные кольцевые бассейны, что свидетельствует о пике бомбардировки, названном лунным катаклизмом. В июне 1974 г. в Москве проходила советско-американская конференция по космохимии Луны и планет, на которой были суммированы результаты исследований по программам «Аполлон» и «Луна» и проведено широкое их обсуждение. В докладе Дж. Ф. Хейса и Д. Уолкера [29] показано, что частичное плавление полевошпатового материала лунной коры началось 4,6 млрд лет назад; плавление мантии на глубине примерно 100 км 3,8–3,6 млрд лет назад привело к излиянию богатых титаном базальтов; плавление на глубинах более 200 км 3,4–3,1 млрд лет назад породило излияние малотитановых базальтов.

Б. Ю. Левин и С. В. Маева были вынуждены признать, что на Луне «дифференциация произошла настолько рано, что она не может быть связанной с нагревом долгоживущими радиоактивными элементами, а указывает на высокую начальную температуру Луны. Причины высокой начальной температуры остаются непонятыми» [30, с. 283]. Информация, полученная при изучении Луны, нанесла сокрушительный

удар по концепции, предложенной О. Ю. Шмидтом. Основным источником энергии, определяющим эволюцию Земли и планет, Шмидт и его последователи (Е. А. Любимова, С. В. Маева, В. С. Сафронов, Б. Ю. Левин) считали радиоактивный распад U, Th, K. Из их расчетов получалось, что при начальной температуре около 0°C необходимы 1,5–2 млрд лет, чтобы в недрах планеты накопилось тепло, достаточное для плавления силикатов [27]. В более поздней работе Маева, пренебрегая выделением тепла при адиабатическом сжатии вещества (принята длительность аккумуляции 200 млн лет), оценила температуру в центре Луны в 500 K (около 200°C), а на поверхности еще ниже [31]. Е. А. Любимова также исходила в своих расчетах термической истории Луны из предположения, что начальная температура ее поверхности 0°C [28].

Чтобы объяснить столь ранний разогрев Луны, Е. Л. Рускол пришлось пересмотреть прежние представления и выдвинуть гипотезу «лобового» столкновения двух массивных спутников Земли: «Слияние двух спутников в одно тело представляет весьма быстрый процесс, длящийся около одного часа. Выделившейся энергии достаточно, чтобы нагреть всю массу в среднем на несколько сотен градусов сверх ее равновесной температуры...» [32, с. 643]. Столь экстравагантная гипотеза позволяла не пересматривать прежнее заключение В. С. Сафронова о крайне длительной (около 100 млн лет) аккумуляции Земли и Луны. Ведь если аккумуляция планеты происходит относительно быстро (примерно 10^4 лет), то энергии аккреции оказывалось достаточно, чтобы разогреть ее до состояния плавления. В. С. Сафронов [33] продолжал отстаивать прежнюю позицию, согласно которой время накопления составляет $6 \cdot 10^7$ – $6 \cdot 10^8$ лет. Критикуя концепции А. Рингвуда, Т. Хэнкса и Д. Андерсона, К. Турекьяна и С. Кларка, М. Халлама и А. Маркуса, А. Камерона, В. С. Сафронов упрекал своих противников в том, что они исходили только из геохимических соображений или же иначе, чем он, оценивали плотность протопланетного облака, или приняли слишком уплощенный его слой. Но ведь те параметры протопланетного облака, которые выбрал он сам и которые привели его к столь продолжительной аккреции, тоже остаются лишь вариантом предполагаемого процесса, доподлинно неизвестного. А вот то, что Луна при формировании оказалась разогрета, — это факт. Он «весит» куда больше, чем теоретические расчеты процесса аккреции.

Куда более осторожную позицию заняли Б. Ю. Левин и С. В. Маева [30]. Они рассмотрели все возможные варианты раннего разогрева Луны и пришли к неутешительному выводу, что происхождение спутника Земли остается неизвестным: «Как видно из сказанного выше, выяснение высокой начальной температуры Луны ничем не могло при выяснении ее происхождения. Наоборот, поиски объяснения новых данных о Луне приводят к новым серьезным затруднениям и загадкам. Многие из этих загадок усугубляются тем, что поиск решения лунных проблем должен быть увязан с выяснением других планетных тел Солнечной системы» [30, с. 295–296].

Как выше отмечалось, астронавтами, вернувшимися с Луны, установлена огромная роль ударных процессов в формировании ее рельефа. Последователи Шмидта, и прежде всего Е. Л. Рускол [32] и В. С. Сафронов [33], стали рассматривать это как подтверждение развиваемого ими представления об образовании планет и спутников в результате соударения крупных тел. Однако существует иная точка зрения: ударные кратеры и «бассейны» диаметром до 1000 км не имеют отношения к эпохе образования Луны, а связаны с более поздним «лунным катаклизмом» [34]. Если опираться на определения возраста пород Луны, то на ней обнаружены три одновременных события. Наиболее раннее (4,6–4,5 млрд лет) — кристаллизация анортозитов, образовавшихся из существовавшего на Луне расплава. Далее — перерыв около 500 млн лет. Второе событие — шквал метеоритов и астероидов, обрушившихся на Луну и образовавших ударные бас-

сейны диаметром до 1200 км. «Эти бассейны сильно различаются между собой по степени их сохранности, но абсолютный возраст прогрева пород при образовании этих бассейнов оказался в пределах ошибок метода почти одинаковым (около 4 млрд лет), что дало возможность говорить об одновременности крупнейших кратерных бассейнов Луны» [35, с. 63]. Третье событие — продолжавшееся с 3,8 до 3,1 млрд лет назад излияние базальтов.

Последователи Шмидта утверждали, что Луна подвергалась интенсивной метеоритной бомбардировке все время от стадии ее образования и до эпохи 4,0–3,9 млрд лет назад. Пробел же в шкале возрастов примерно в 500 млн лет Е. Л. Рускол объясняет следующим образом: «Это — свидетельство о крупных катастрофах в истории лунной поверхности — образовании морских впадин при ударах крупных тел, пришедших с геоцентрических орбит» [36, с. 22]. Нет, все наоборот — это свидетельство об отсутствии катастрофических падений на Луну в интервале от 4,5 до 4,0 млрд лет назад, ибо лунный катаклизм датирован примерно 4,0 млрд лет назад. Аналогичные гигантские кратеры известны на Меркурии, Марсе и предполагаются на Венере. Общность их морфологии указывает на то, что на всех планетах гигантские ударные кратеры возникли вследствие одной причины, и это событие не связано ни с эпохой образования планет, ни с формированием самой Луны. В американской научной литературе сложилось представление о «лунном катаклизме», имевшем место 4 млрд лет назад [34; 37] и сказавшемся на всех планетах Солнечной системы. Автор этих строк связывает его со взрывным распадом планеты, находившейся на орбите пояса астероидов [38; 39]. Обломками этой планеты являются астероиды и метеориты.

На конференции по космохимии Луны и планет (Москва, 1974) возникла полемика между последователями О. Ю. Шмидта. «В рамках гипотезы О. Ю. Шмидта о совместном образовании Земли и Луны, — писали Б. Ю. Левин и С. В. Маева, — естественно ожидать одинаковый состав Земли и Луны. Попытка Е. Л. Рускол показать, что эта гипотеза ведет к различному их составу, представляется сомнительной, как в отношении объяснения предполагаемого дефицита летучих в Луне, так и в объяснении отсутствия у Луны железного ядра. <...> Е. Л. Рускол исходит из физически неправильного предположения о линейном росте содержания железа, а вместе с тем и плотности... Поэтому ее объяснение различий в содержании железа на Земле и Луне является чисто формальным» [30, с. 295]. В. С. Сафронов писал: «Недавно Б. Ю. Левин предложил новую модель массивной солнечной туманности... Эта модель... встречается с той же серьезной трудностью, что и модель Камерона: неизвестен эффективный механизм переноса момента изнутри наружу, который привел бы к образованию Солнца. Кроме того, обладая большой протяженностью и меньшей концентрацией к центру, эта модель туманности еще менее устойчива по отношению к распаду на двойную систему, чем модель Камерона. Мы не можем также согласиться с мнением Б. Ю. Левина, что подобная модель массивной туманности необходима для решения проблемы роста Урана и Нептуна. Процесс аккумуляции планет-гигантов был очень сложным и требует более тщательного и всестороннего рассмотрения» [33, с. 626–627].

Итогом обсуждения поступившей информации по ранней истории Луны стало объяснение ее начального расплавления за счет энергии аккреции: «...Из уравнений (1) и (2) следует, что температура Луны никогда не достигала солидуса базальтов при времени аккреции, превышающем 1000 лет, при условии, что излучательная способность лунной поверхности была меньше теперешней», — подчеркивали М. Н. Токсоц и Д. Х. Джонсон [40, с. 212, 213]. Этот вывод независимо получен в работе Мицутани и др. [41] на основе более детального рассмотрения процесса аккреции [40, с. 213]. Такое заключение американских космогонистов оказалось в вопиющем противоречии с позицией В. С. Сафронова [33], продолжавшего утверждать, что формирование Земли и

Луны продолжалось около 100 млн лет: «Но, принимая, что Луна формировалась в околоземном рое из частиц, захваченных Землей в течение всего времени ее роста, мы должны сделать вывод, что время пополнения роя и время аккумуляции Луны 10^7 – 10^8 лет» [33, с. 626]. А как же с разогревом Луны в самом начале ее истории? Сафронов писал: «Попытки объяснить этот разогрев образованием Луны на более близком расстоянии от Солнца или ее крайне быстрой аккумуляцией явно необоснованны» [33, с. 628]. Он объяснял разогрев Луны энергией ударов за счет тел, «прилетающих из области астероидов и даже планет-гигантов» [33, с. 628]. Выходит, околоземная Луна образовалась из материала Юпитера?

Концепция О. Ю. Шмидта и геология

Когда О. Ю. Шмидт в начале 40-х гг. XX в. приступил к разработке космогонической концепции, геологических данных о ранней истории нашей планеты еще не существовало. Сам автор гипотезы, да и многие ученые, занимавшиеся изучением Земли, полагали, что разработка космогонической концепции прояснит начальные стадии ее эволюции, о которых геология ничего не может сказать. Последующие 3–4 десятилетия коренным образом изменили ситуацию — геологическое картирование древнейших толщ, петрографическое изучение условий их образования, гигантские достижения в области изотопных методов определения абсолютного возраста пород позволили расшифровать раннюю историю нашей планеты. Ситуация стала диаметрально противоположной — теперь геология выступает в качестве арбитра, проверяющего правильность космогонических построений. Напомним, что О. Ю. Шмидт полагал, что в начале своей истории Земля была холодной. Его позицию поддержал О. Г. Сорохтин [42]. Рассчитав скорость выделения земного ядра, он пришел к выводу, что наружная часть планеты должна была разогреться лишь через 500 млн лет. В. С. Сафронов первоначально также считал раннюю Землю холодной, поскольку предполагал ее аккрецию за счет малых тел [19; 20]. Позже он стал отводить основную роль в образовании Земли крупным телам, и это привело его к заключению, что еще при аккреции в мантии Земли формировались как плотностные, так и термические неоднородности. «Области ударов немногих самых больших тел, имеющих размеры до 1000 км, получили дополнительное нагревание в сотни градусов, особенно большое в их центральной части. Именно в этих областях в относительно раннюю эпоху впервые начались все процессы, связанные с частичным расплавлением вещества и с его последующей гравитационной дифференциацией» [26, с. 38]. Выплавившиеся тяжелые вещества спускались в нижнюю мантию, а легкие поднялись в верхнюю. «В результате возник длительный глобальный процесс, охватывавший все больший объем вещества вокруг первичной расплавленной области. Естественно считать, что именно над такими избыточно нагретыми областями началось образование континентов» [26, с. 38]. А. В. Витязев, Г. В. Печерникова и В. С. Сафронов утверждали, что газообразный водород с Земли и с других ближайших планет был удален еще до завершения аккреции [43].

Названные представления о характере процессов на ранней Земле, вытекающие из анализируемой космогонической концепции, не подтвердились при расшифровке каменной летописи нашей планеты. Современные представления о ранней геологической истории Земли заложены Л. И. Салопом [44]. Он показал, что древнейшими породами планеты являются метаморфизованные в гранулитовой фации (давление 6–10 кбар, температура 700–1000 °C) базальты, отложившиеся в интервале 4,4–4,0 млрд лет назад и подвергшиеся гранитизации. Недавно это подтверждено австралийскими геохимиками, обнаружившими в граните циркон возраста 4,4 млрд лет. Интерпретация данных о ранней истории Земли [45] приводит к следующим выводам. Интенсивная вулканическая

деятельность на планете началась с окончанием аккреции. За 4,5–4,0 млрд лет на Земле повсеместно сформировалась однородная по составу кора из базальтов мощностью около 10 км, которые метаморфизованы в гранулитовой фации ($P = 6\text{--}10$ кбар, $t = 700\text{--}1000^\circ$). Метаморфизм вызван давлением сохранившейся после аккреции водородной атмосферы, масса которой составляет примерно 0,5% от массы Земли. В древнейших породах нет следов ударов астероидов, аналогичных тем, что установлены на Луне: падавшие обломки разрушались сверхплотной атмосферой. Геология не подтвердила вывод В. С. Сафронова о существовании на ранней Земле термальных неоднородностей, якобы возникших вследствие падения крупных планетообразующих тел — геологический разрез древнейших пород везде одинаков, свидетельствуя об однородности физической обстановки в пределах всей планеты. То, что Земля сохранила после аккреции часть водородной оболочки, подтверждается продолжающимся до сих пор мощным истечением водорода из недр планеты [46]. Резко восстановительная обстановка минералообразования в метеоритах (присутствие самородных кремния и алюминия) свидетельствует, что и их материнская планета формировалась в окружении водорода [16]. Таким образом, есть основания считать, что в пределах всего пространства от Земли до Юпитера водород к концу аккреции планет в том или ином количестве сохранился.

Удар по шмидтовской космогонии нанесло и прямое фотографирование астероидов с космических аппаратов: все сфотографированные астероиды имеют не обломочное строение, а представляют округлые каплевидные тела, что указывает на их образование из жидкого расплавленного вещества разрушившейся планеты [47]. Так, астероид Матильда имеет скругленную форму и огромную вмятину на поверхности, что, однако, не привело к его разрушению. Такое могло произойти лишь при столкновении двух вязких (расплавленных) объектов. Разрушение Фазтона, разумеется, сопровождалось образованием мелких обломков, которые сфотографированы на поверхности некоторых астероидов. Они были и причиной возникновения небольших ударных кратеров на астероидах.

Последний этап эволюции шмидтовской космогонии

Обобщающая работа продолжателей О. Ю. Шмидта опубликована в 1990 г. [43]. В ней впервые заходит речь об эволюции Солнца в связи с образованием окружающих его планет. При этом используется теория гравитационной неустойчивости, разработанная Дж. Джинсом — тем самым английским астрономом, с критики космогонической гипотезы которого и началась метеоритная «теория» О. Ю. Шмидта. Далее приводятся теоретические расчеты динамической эволюции допланетного облака. В предложенные формулы вводятся различные параметры физического состояния протопланетного вещества и время тех или иных процессов. Большая часть численных характеристик эволюции протовещества не более чем предположения авторов, опирающиеся на исходные постулаты. Изменение даже некоторых из них коренным образом повлияет на конечный результат. Примеров таких изменений за 50-летнюю историю рассматриваемой концепции было много (изменения в оценке роли различных источников энергии, изменение начальной температуры Земли, изменение времени аккреции, изменение представлений о строении ядра Земли и т.д.).

Поскольку авторы книги излагают «теорию» образования планет путем аккумуляции твердого вещества [43, с. 2], им необходимо объяснить, «как и когда из зоны планет земной группы было потеряно более 99% вещества» [43, с. 77]. Привлекается солнечный ветер на стадии Т-Тельца. «Однако наблюдения показывают, что длительность активной стадии звезд типа Т-Тельца $10^6\text{--}10^7$ лет, и если бы на этой стадии был удален весь газ, возникают трудности с объяснением формирования Юпитера и Сатурна» [43, с. 80]. Авторы заключают: «К моменту окончания стадии Т-Тельца из околосол-

нечного диска была потеряна лишь часть газа» [43, с. 80]. Поэтому А. В. Витязев и его коллеги прибегают к термической диссипации газа, считая, «что диссипация газа из вращающегося допланетного диска является много более эффективным процессом, чем удаление массивных атмосфер с медленно вращающихся планет...» [43, с. 86]. Единственным аргументом в пользу гипотезы, что водород протосолнечной небулы был унесен за пределы планет земной группы до начала их аккреции, служат треки на зернах оливина в хондритах, которые они считают образованными космическими лучами в отсутствие газа. Но здесь все зависит от принятой ими гипотезы генезиса метеоритов. Приступая к интерпретации метеоритных данных, А. В. Витязев и др. [43] так обосновывают свой подход: «Космогоническая модель, претендующая на правильность своих динамических основ, должна пытаться объяснить и цепочку ключевых проблем космохимии: происхождение метеоритов — происхождение хондритов — происхождение хондр» [43, с. 106]. Итак, не из наблюдений строится теория, а наоборот, теоретическая модель истолковывает материал наблюдений! Их представления о генезисе метеоритов противоречивы. Они пишут: «Согласно излагаемой ниже концепции хондры образовались в результате дробления вещества, разбрызгивания расплава и последующей агрегации реконденсатов, образовавшихся при высокоскоростных соударениях тел» [43, с. 118]. И далее: «Представляется, что все известные классы метеоритного вещества возникли в результате столкновительной эволюции роя тел, первоначально состоящих из примитивного первичного вещества, сходного по нормативному составу с веществом углистых хондритов С 1» [43, с. 127]. Но этому противоречат их же слова: «В работах Витязева (1982), Витязева, Маевой (1981) приведены дополнительные доводы в пользу того, что образование железных метеоритов происходило в результате плавления и дифференциации в родительских телах, а не путем «аккумуляции металлических зерен» в допланетном диске» [43, с. 125]. На следующей странице они пишут, что вещество обыкновенных и энстатитовых хондритов «подвергалось частичной магматической дифференциации». И тут же отмечают, что при таком подходе «не удастся найти механизм для решения важнейшей проблемы: по любой модели хондрообразования Fe, Ni, S должны быть удалены каким-то образом, поскольку первый элемент обеднен в хондрах относительно общего состава хондрита, а второй и третий элементы практически отсутствуют в большинстве хондр» [43, с. 126]. Таким образом, с одной стороны структура и состав метеоритов определяются ударными процессами, с другой — магматической дифференциацией в материнском теле. А каковы их размеры? Ведь материнским телом может быть и распавшаяся планета?

Заключение

Независимые источники информации — данные по Луне, астероидам, метеоритам, ранней истории Земли — не стыкуются с положениями и теоретическими расчетами концепции О. Ю. Шмидта и его последователей. Метеориты нельзя рассматривать как исходный материал при образовании планет Солнечной системы. Они сами обломки одной из ее планет. Недавно это подтвердилось находками в углистых хондритах остатков цианобактерий [48]. Для возникновения жизни необходимы гидросфера и атмосфера, которые могут существовать лишь на большой планете [38; 39].

Оценивая 60-летний путь гипотезы О. Ю. Шмидта, приходится констатировать, что практически все входящие в нее положения оказались ошибочными. В отношении астрономической ее части это недавно подчеркнул Г. М. Идлис: «Что касается космогонической концепции О. Ю. Шмидта, то со временем пришлось фактически отказаться не только от его первоначальной «захватной» гипотезы, но и от предложенного им объяснения закона планетных расстояний, которое оказалось (в отличие от сопутствующего

закона, полученного В. Г. Фесенковым, исходя из критерия приливной устойчивости) несовместимым с распределением планет и их спутников по массам» [49, с. 250]. Ф. А. Цидин писал: «Гипотеза Шмидта стала затем законом его теории, а через нее всей мировой планетной космогонии, уже давно развивающейся практически в шмидтовском русле и при ведущей роли космогонистов его школы, начиная с В. С. Сафронова. Тем интереснее (и парадоксальнее) то, что практически все наиболее яркие элементы этой гипотезы, как выяснилось еще в 40-х гг., были ошибочными!» [6, с. 427].

Неверно исходное положение О. Ю. Шмидта о первоначально «холодном» образовании планет: внешняя зона Земли была разогрета до состояния частичного плавления ($1200\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) в первые 100 млн лет после ее образования, а внешняя зона Луны — до полного плавления 4,6–4,5 млрд лет назад. Высокая температура Земли и Луны после аккреции объяснима, если аккреция происходила быстро ($10^3\text{--}10^5$ лет), т.е. в тысячи раз быстрее, чем по расчетам В. С. Сафронова.

Неверно относить падение тел, оставивших гигантские кратеры на Луне, к эпохе ее аккреции — кратерные бассейны появились спустя 500 млн лет после возникновения Луны, и образованы они обломками распавшейся планеты. Следовательно, нет оснований связывать начальный разогрев Луны и планет с энергией ударов крупных тел.

Неверен тезис О. Ю. Шмидта и его последователей об образовании планет путем аккумуляции твердого вещества. Не только флюидные планеты, но и планеты земной группы формировались в условиях гигантского давления водорода и других летучих веществ, и эти летучие вещества в значительном количестве вошли в состав всех планет. Для Земли это доказывается существованием до 4,0 млрд лет назад высокоплотной водородной атмосферы и продолжающимся обильным выделением водорода, а для разрушавшейся планеты — резко восстановительным характером происходивших в ее недрах химических процессов. Заметим, что, согласно «модели Киото», предложенной японскими космохимиками [50], на ранней Земле сохранялась водородная атмосфера с массой 10^{26} г .

Последователи Шмидта, желая сохранить его постулат об образовании планет из «твердого вещества», столкнулись с двумя непреодолимыми трудностями. Попытка решить их красной нитью проходит через все работы, опубликованные за 50 лет: 1) как удалить водород из зоны планет земной группы; 2) как объяснить природу метеоритов. Б. Ю. Левин объяснял отсутствие водорода в зоне земных планет тем, что непрозрачное пылевое облако нагревалось Солнцем, и потому сохранились только тугоплавкие частицы, а в области больших планет при крайне низкой температуре (5 К) водород замерзал на твердые частицы. А. В. Витязев и др. [43] объясняют удаление водорода частично солнечным вектором на стадии звезды типа Т-Тельца, частично термической диссипацией. Однако сами они задаются вопросом: «...почему ко времени аккреции газа в зоне Юпитера и Сатурна его уже не было в ближней и дальней областях Солнечной системы» [43, с. 80]. Неудачны попытки последователей Шмидта уложить в рамки его «теории» лавинообразно нарастающую информацию по петрологии и геохимии метеоритного вещества, прошедшего магматическую дифференциацию.

Продолжатели О. Ю. Шмидта, с одной стороны, отказались от ряда сформулированных им постулатов, с другой — пытались сохранить видимость преемственности от своего учителя, защищая его тезис об образовании планет из твердого вещества. Тем самым они связали себе руки и вынуждены были отстаивать заведомо ошибочное представление о раннем удалении водорода из зоны планет земной группы, об ударном генезисе всех процессов в метеоритах, о различных механизмах формирования ближних и дальних планет. Если бы они нашли мужество отказаться и от тезиса Шмидта об образовании планет из пыли и метеоритов, то их успехи в развитии космогонических идей были бы существеннее. Сказанная А. В. Витязевым и его соавторами фраза, что кометы —

побочный продукт процесса формирования планет-гигантов [43, с. 282], открывает принципиально иной путь в планетной космогонии. Кометы, рассматриваемые сейчас как продукт конденсации межзвездных молекулярных облаков, могли стать материалом не только для образования Плутона, Харона и больших планет, но и планет земной группы, первоначально окруженных водородным одеялом. Т.е. при образовании планет Солнечной системы можно было обойтись без материала метеоритов. Именно так и поступил А. А. Маракушев, предложив кометную гипотезу образования Солнечной системы [16]. В этом случае расчеты В. С. Сафронова и коллег об эволюции протопланетного облака, опиравшиеся на теорию коагуляции, нашли бы свое место, а метеориты рассматривались бы как продукт взорвавшейся планеты, ранее возникшей из кометного материала.

Гипотеза О. Ю. Шмидта оказалась ошибочной. Но поставленная им научная проблема — всесторонний комплексный подход к изучению происхождения Земли — должна быть оценена высоко. Шмидт не только высказал гипотезу, но и создал коллектив единомышленников и тем стимулировал широкий круг исследований по изучению внутреннего строения планет, их термической истории, приливных взаимодействий Земля—Луна и т.д. При постановке такой крупной задачи выдвижение постулатов было допустимо, но последователи Шмидта должны были вовремя отказаться от них, если поступающая информация им противоречила.

О причине неудачи гипотезы О. Ю. Шмидта точнее всего сказал В. Г. Фесенков еще в 1951 г.: «О. Ю. Шмидт считает, что согласие выводов, сделанных частично дедуктивно из принятого произвольно исходного положения, с современными основными свойствами Солнечной системы может служить достаточным доказательством правильности исходного положения. Это может быть правильно в математике, но это совершенно не достаточно в естествознании и особенно в космогонии, где выводы из теории образования Солнечной системы приходится по необходимости сравнивать с современным состоянием Солнечной системы в предположении, что последняя за несколько миллиардов лет своего существования не изменилась. Вообще же доказательство апостериори в естествознании не есть достаточное доказательство справедливости исходных положений» [13, с. 41]. И еще два высказывания В. Г. Фесенкова: «О. Ю. Шмидт, не будучи астрономом, интересовался не обширным наблюдательным материалом, а исходил из ограниченного числа общих положений, которые представлялись ему правдоподобными» [13, с. 42]; «О. Ю. Шмидт не считает необходимым обосновать свои исходные положения данными наблюдений, а принимает их более или менее произвольно. Между тем проблему космогонии необходимо рассматривать как одну из проблем естествознания и применять для ее разрешения как индуктивный, так и дедуктивный методы» [13, с. 38].

Концепция О. Ю. Шмидта была построена преимущественно дедуктивным путем: попыткой объяснить удивительное распределение момента количества движения в Солнечной системе и априори высказанным убеждением, что планеты возникли из твердых частиц (пыли, метеоритов, астероидов). Он писал: «В свете развиваемой нами теории происхождения планет отпадает необходимость в каких бы то ни было специальных гипотезах о происхождении астероидов, так как их своеобразие вытекает из установленных теорией общих закономерностей» [13, с. 69].

В эмпирических науках, в том числе в науках о Земле, построение обобщающей теории еще преждевременно — накопленные знания, увы, невелики. Речь может идти лишь о формулировании гипотезы, которая должна разрабатываться путем обобщения эмпирического материала. Попытка пойти обратным путем — сформулировать теоретическую схему эволюции объекта и на ее основе интерпретировать эмпирические данные — приводит лишь к нагромождению ошибок.

Литература

1. *Страхов В. Н.* Слово об ученом, именем которого назван Институт физики Земли РАН // Земля и Вселенная. 2002. № 2.
2. *Рускол Е. Л.* Происхождение планет и спутников // Земля и Вселенная. 2002. № 2.
3. *Цицин Ф. А.* Истоки и перспективы шмидтовской планетной космогонии // Земля и Вселенная. 2002. № 2.
4. *Сафронов В. С.* Развитие отечественной планетной космогонии // О. Ю. Шмидт и советская геофизика 80-х годов. М., 1984.
5. *Шмидт О. Ю.* Четыре лекции о теории происхождения Земли. 2-е изд. М., 1950.
6. *Цицин Ф. А.* Рождение шмидтовской космогонии // Астрономия на крутых поворотах XX века. Дубна, 1997.
7. *Шмидт О. Ю.* О происхождении визуально-двойных звезд и особенностей их орбит // Докл. АН СССР. Т. 44. 1944. № 1.
8. *Шмидт О. Ю.* Метеоритная теория происхождения Земли и планет // Докл. АН СССР. Т. 45. 1944. № 6.
9. *Шмидт О. Ю.* О происхождении комет // Докл. АН СССР. Т. 49. 1945. № 6.
10. *Шмидт О. Ю.* О возможности захвата в небесной механике // Докл. АН СССР. Т. 58. 1947. № 2.
11. *Хильми Г. Ф.* О возможности захвата в проблеме трех тел // Докл. АН СССР. Т. 62. 1948. № 1.
12. *Идлис Г. М.* К вопросу о законе планетных расстояний. Астрономический журнал. Т. 29. 1952. № 6.
13. Труды первого совещания по вопросам космогонии. М., 1951.
14. *Шмидт О. Ю.* Четыре лекции о теории происхождения Земли. 3-е изд. М., 1957.
15. *Шмидт О. Ю.* Роль твердых частиц в планетной космогонии // Происхождение Земли и планет. М., 1962.
16. *Маракушев А. А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М., 1999.
17. *Любимова Е. А.* Термическая история Земли // О. Ю. Шмидт и советская геофизика 80-х годов. М., 1984.
18. *Любимова Е. А.* О нагревании земных недр в процессе образования Земли // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1955. № 3.
19. *Сафронов В. С.* О росте планет в протопланетном облаке // Астрономический журнал. Т. 31. 1954. № 6.
20. *Сафронов В. С.* О первоначальной температуре Земли // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1959. № 1.
21. *Кропоткин П. Н.* Происхождение материков и океанов // Природа. 1956. № 4.
22. *Фесенков В. Г.* К вопросу о ранней термической истории Земли // Астрономический журнал. Т. 34. 1957. Вып. 1. См. также: *Фесенков В. Г.* Избр. тр. М., 1976.
23. *Левин Б. Ю.* Происхождение Земли и планет. М., 1964.
24. *Левин Б. Ю.* Происхождение метеоритов // Успехи физических наук. Т. 86. 1965. Вып. 1.
25. *Сафронов В. С.* Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М., 1969.
26. *Сафронов В. С.* Начальное состояние Земли и некоторые черты ее эволюции // Физика Земли. 1972. № 7.
27. *Левин Б. Ю., Маева С. В.* О термической истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1960. № 2.
28. *Любимова Е. А.* Термика Земли и Луны. М., 1968.
29. *Хейс Дж. Ф., Уолкер Д.* Изверженные лунные породы и природа недр Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975.
30. *Левин Б. Ю., Маева С. В.* Загадки происхождения и термической истории Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975.
31. *Маева С. В.* О тепловой истории Луны // Физика Земли. 1971. № 3.
32. *Рускол Е. Л.* Происхождение Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975.
33. *Сафронов В. С.* Длительность процесса формирования Земли и планет и ее роль в геохимической эволюции // Космохимия Луны и планет. М., 1975.

34. Везерилл Г. В. Доморское кратерообразование и ранняя история Солнечной системы // Космохимия Луны и планет. М., 1975.
35. Флоренский К. П., Базилевский А. Т., Бурба Г. А. и др. Очерки сравнительной планетологии. М., 1981.
36. Рускол Е. Л. Происхождение Луны. М., 1975.
37. Tera F., Wasserburg G. J. U-Th-Pb and inferences about lunar evolution systematics on lunar rocks and the age of the moon // Proc. 5th Lunar Sci. Conf. 1974. V. 2.
38. Резанов И. А. История с планетой Ольберса // Историко-астрономические исследования. 2001. Вып. 26.
39. Резанов И. А. Метеориты свидетельствуют — в Солнечной системе была еще одна крупная планета // Историко-астрономические исследования. 2002. Вып. 28.
40. Токсоц М. Н., Джонсон Д. Х. Эволюция Луны и планет земной группы // Космогония Луны и планет. М., 1975.
41. Mizutani H., Matsui T., Takeuchi H. Accretion process of — Uo Moon // The Moon. 1972. V. 4.
42. Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли. М., 1974.
43. Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафронов В. С. Планеты земной группы: происхождение и ранняя эволюция. М., 1990.
44. Салоп Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л., 1982.
45. Резанов И. А. Ранняя история Земли // Вестник РАН. 2002. № 7.
46. Войтов Г. И. К проблемам водородного дыхания Земли // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. М., 2002.
47. Багров А. В. Планета Ольберса: история действительно продолжается // Историко-астрономические исследования. 2002. Вып. 28.
48. Жмур С. И., Розанов А. Ю., Горленко В. М. Следы древней жизни в космических телах Солнечной системы // Природа. 1997. № 8.
49. Идлис Г. М. Дополнение к докладу Ф. А. Цицина о штрихах к портрету П. П. Паренаго как ученого и человека // Историко-астрономические исследования. 2000. Вып. 25.
50. Hayashi Ch., Nakazawa K., Mizono H. Earth's melting due to the blanketing effect of the primordial dense atmosphere // Earth and Planetary Science Letters. 1979. V. 43.