

поэтому неудивительно наличие среди сотрудников института таких выдающихся математиков, как академики В. И. Смирнов и Н. Н. Лузин, С. Л. Соболев и А. Н. Тихонов. Их работы основаны на математической теории распространения упругих колебаний — фундамента теоретической сейсмологии и метода решения некорректно поставленных задач, получившего дальнейшее развитие в решении обратной задачи теории интерпретации геопотенциальных полей в трудах академика В. Н. Страхова. Некоторое время здесь работал и академик А. Н. Колмогоров. Особое значение имеет для геофизики разработанная им математическая теория турбулентности.

Научные исследования членов-корреспондентов АН СССР Ю. В. Ризниченко, Е. Ф. Саваренского, Е. В. Каруса, И. Е. Губина, Г. А. Соболева, А. В. Николаева и академиков Г. А. Гамбурцева, М. А. Садовского, С. Л. Соловьева, С. А. Федотова во многом определили развитие сейсмологии в нашей стране. В их трудах дальнейшее развитие получила проблема прогноза землетрясений. Физика очага землетрясений заложена в работах доктора физико-математических наук Б. В. Кострова. Отечественную и мировую гравиметрию нельзя представить без основополагающих работ академика А. А. Михайлова и членов-корреспондентов АН СССР Н. Н. Парийского, М. С. Молоденского, Ю. Д. Буланже, В. В. Федьнского. Они ввели новое понятие формы земной поверхности — геоида, разработали методы его определения, свободные от гипотез о внутреннем строении Земли, создали опорную гравиметрическую сеть, которая служит основой для всех последующих гравиметрических съемок, внедрили методы определения силы тяжести на подвижном основании, пригодные для проведения гравиметрических измерений на морских и воздушных судах.

Наиважнейшие труды в области исследований физических процессов в недрах земли и геодинамики принадлежат академику В. А. Магницкому и членам-корреспондентам АН СССР/РАН Ю. Н. Авсюку, Е. В. Артюшкову, В. В. Белоусову, А. О. Глико, В. П. Трубицыну, докторам физико-математических наук В. Н. Жаркову и В. А. Калинин. Они развили теории состояния минералов при высоких давлениях и температурах, построили модели вещественного состава мантии и ядра, рассчитали трехмерные численные модели взаимодействия мантийной конвекции с плавающими континентами, создали модели, описывающие тепловой режим, эволюцию структуры и вещественного состава литосферы, нашли новые подходы к определению полей тектонических напряжений. Обнаружили связь между процессами в земной коре и процессами в более глубоких сферах Земли, прежде всего в верхней мантии. Для этого исследовались эндогенные геологические процессы — тектонические, магматические, метаморфические, связи между ними и геологической историей поверхности планеты, а также формы корреляции эндогенных процессов с физическими полями.

Установление связи геологии с геофизикой и геохимией, становление наук о Земле как количественных наук — яркое явление науки XX в., и большая заслуга в этом принадлежит исследователям, работавшим ранее и работающим сейчас в ОИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН.

Е. Л. РУСКОЛ

ИСТОРИЯ КОСМОГОНИЧЕСКОЙ ГИПОТЕЗЫ О. Ю. ШМИДТА
(ответ на статью И. А. Резанова)

В статье И. А. Резанова¹ высказываются критические соображения по поводу гипотезы О. Ю. Шмидта о происхождении Земли и планет и ее последующего развития в работах Б. Ю. Левина и В. С. Сафронова. Излагаются собственные взгляды автора на эволюцию Земли и на происхождение астероидов. Мне как бывшей аспирантке О. Ю. Шмидта, в течение многих лет занимающейся вопросами планетной космогонии, предоставлена возможность высказать свою точку зрения по данной проблеме, так как О. Ю. Шмидт, Б. Ю. Левин и В. С. Сафронов сами ответить на критику уже не могут. Придется также привести факты, свидетельствующие о неверности взглядов И. А. Резанова на происхождение Земли и астероидов.

Введение

Полемизируя с О. Ю. Шмидтом, И. А. Резанов утверждает, что основные положения первой публикации Шмидта² о природе допланетного вещества («метеоритная гипотеза») и его происхождении (захват протопланетного облака Солнцем) оказались неверными. Да, с точки зрения современных знаний многое изменилось. Но как за это время выросли астрофизика и науки о Земле! В статье И. А. Резанова ничего не говорится о развитии этих наук в мире, он ограничивается только дискуссиями в русскоязычной литературе довольно почтенного возраста.

Заслуга О. Ю. Шмидта состоит в том, что он впервые сформулировал задачу о происхождении Земли и планет как комплексную астрономо-геофизическую проблему и организовал ее планомерное исследование, на полтора-два десятилетия опередив развитые западные страны. Во всем мире используется и совершенствуется сценарий образования планет и спутников, впервые развитый в нашей стране благодаря О. Ю. Шмидту. При этом очень редко ссылаются на его имя, чаще на работы В. С. Сафронова, а еще чаще этот сценарий называют «стандартной моделью», поскольку в нее вложен труд многих исследователей из разных стран.

¹ Резанов И. А. История космогонической гипотезы О. Ю. Шмидта // ВИЕТ. 2002. № 4. С. 745–764.

² Шмидт О. Ю. Метеоритная теория происхождения Земли и планет // Доклады АН СССР. 1944. Т. 45. № 6. С. 229–233.

История гипотезы О. Ю. Шмидта должна отсчитываться не с первых публикаций 1944 г., а с его более ранних попыток (начиная со студенческих времен) понять происхождение Солнечной системы как закономерное явление в Галактике. Они отражены в печати лишь в небольших заметках 1925 г. и 1942 г.³ К 40-м гг. XX в. в представлениях о происхождении Земли и планет во всей мировой науке царил хаос, что негативно отражалось на геофизике, поскольку невозможно было понять внутреннее строение Земли, не зная ее происхождения. Неудивительно, что в марте 1942 г., отстраненный приказом Сталина от должности вице-президента АН СССР, но еще сохранивший за собой пост директора Института теоретической геофизики, Отто Юльевич смог наконец вплотную заняться планетной космогонией. Этот период — эвакуации в Казань — подробно описан в статье Ф. А. Цицина⁴, где поясняется, как возникло название «метеоритная гипотеза», ранее у Шмидта не встречавшееся. Он заимствовал это определение у известного астронома Б. Линдблада. Как известно, довольно скоро О. Ю. Шмидт отказался от термина «метеоритная», не в последнюю очередь под влиянием Б. Ю. Левина, известного специалиста по метеорной и кометной астрономии, с 1946 г. по 1973 г. работавшего в Геофизическом институте (ГЕОФИАН СССР) и Институте физики Земли (ИФЗ АН СССР). Будучи директором Геофизического института (до 1948 г.) и заведующим отделом эволюции Земли (с 1946 г. вплоть до своей кончины в 1956 г.), О. Ю. Шмидт в научных дискуссиях никогда не оказывал давления на подчиненных ему сотрудников и всегда поддерживал свободу их мнений. Его личная научная активность была очень высока: с 1946 г. по 1953 г. только в отделе эволюции Земли ГЕОФИАН было проведено 140 научных семинаров, где Отто Юльевич сделал 18 докладов. А ведь еще было много его выступлений в Ленинграде, в различных научных учреждениях Москвы. С 1954 г. неизлечимая болезнь приковала его к дому, и семинары продолжались под руководством Б. Ю. Левина. Приглашенными докладчиками были астрономы, физики, геофизики, геологи, геохимики. Отто Юльевич никогда не считал свою гипотезу догмой, всегда учитывал критику, если она была обоснована. Совершенствуя гипотезу, он мечтал о выработке правильной теории. Поэтому к Всесоюзному совещанию по космогонии в 1951 г. он сам и его многочисленные оппоненты были достаточно хорошо подготовлены. Следует отметить, что с 1949 г. в отделе уже работал астроном В. С. Сафронов, которого О. Ю. Шмидт пригласил на роль своего личного критика. В последующие годы основная нагрузка по развитию планетной космогонии легла именно на В. С. Сафронова.

³ См: *Шмидт О. Ю.* Об устойчивости планетных движений (1925). Происхождение планетной системы (1942) // *Избранные Труды. Геофизика и космогония.* М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 181, 183–184; *Schmidt O. Yu.* On the Stability of Planetary Motions (1925). Origin of the Planetary System (1942) // *The Origin of the Solar System. Soviet Research 1925–1991* / Ed. by A. E. Levin, S. G. Brush. N. Y.: American Inst. of Physics, 1995. P. 41, 42–43.

⁴ *Цицин Ф. А.* Истоки и перспективы шмидтовской планетной космогонии // *Земля и Вселенная.* 2002. № 2. С. 47–56.

Первое всесоюзное совещание по космогонии

Совещание по космогонии 1951 г. было важным событием не только для развития идей О. Ю. Шмидта (или их опровержения, как считает И. А. Резанов), но и для всех естественных наук в нашей стране. Оно проводилось менее чем через три года после печально известной сессии ВАСХНИЛ 1948 г., на которой была разгромлена отечественная генетика, и, к счастью для участников совещания, прошло в режиме свободной критики и без последующих репрессий. Тот факт, что «Институт философии АН СССР не принял в его работе активное участие», как отмечено в резолюции совещания⁵, сейчас не вызывает удивления. Во-первых, философы тех времен были крайне «зажаты» идеологически, а во-вторых, им по существу нечего было делать среди более чем 300 астрономов, физиков, геологов, геохимиков, геофизиков и математиков, обсуждавших насущные проблемы космогонии. Кстати, председательствовал на совещании известный математик, ректор МГУ академик И. Г. Петровский, под редакцией которого практически молниеносно, за полгода, был опубликован том трудов совещания. Совещание проводилось в конференц-зале Президиума АН СССР, а не в Геофизическом институте, как ошибочно пишет И. А. Резанов. Главным докладчиком был академик О. Ю. Шмидт, главным оппонентом — академик В. Г. Фесенков, представивший доклад в письменной форме, а зачитывал этот доклад известный астроном П. Г. Куликовский, справочник которого, выдержав много переизданий, служит настольной книгой для поколений специалистов. В текстах многих докладов можно найти ритуальные для тех времен высказывания о «величии» Сталина и о «загнивании» зарубежной науки, обслуживающей капитализм. Тем не менее труды совещания достаточно объективно представляют уровень мировых знаний о Земле и планетах в докосмическую эру. Перечень устаревших с тех пор взглядов мог бы составить предмет отдельного исследования, но здесь будут упомянуты лишь некоторые из них, прямым образом относящиеся к планетной космогонии.

Космогоническое совещание 1951 г. в целом одобрило работу О. Ю. Шмидта и призвало всех специалистов усилить изучение происхождения и эволюции тел Солнечной системы с учетом высказанной критики. В решении совещания также содержалось пожелание провести (в том же году!) еще одно всесоюзное совещание, посвященное звездной космогонии. Критические выступления участников совещания в адрес гипотезы Шмидта в основном сводились к трем пунктам: 1. Метеориты не являются первичным материалом для аккумуляции планет. 2. Захват Солнцем пылевого облака в Галактике невозможен или крайне мало вероятен. 3. Построение правильной теории образования планет возможно лишь на основе знания происхождения самого

⁵ Труды первого совещания по вопросам космогонии 16–19 апреля 1951 г. / Ред. И. Г. Петровский. М.: Изд-во АН СССР. 1951. С. 368.

Солнца и звезд. Еще ряд замечаний относились к «первоначально холодной Земле» и к роли космических газов водорода и гелия в составе планет-гигантов.

Ответом О. Ю. Шмидта по первому вопросу может служить его же высказывание из доклада на совещании: «Теория происхождения планетной системы считает первоначальный рой состоящим из твердых частиц с участием газа в том или ином, хотя бы значительном количестве. По общепринятой в космогонии терминологии это есть метеоритная, или планетезимальная, теория»⁶. В последующие годы в отечественной и зарубежной литературе все допланетные твердые частицы и тела называются планетезималями, никто их с реальными метеоритами не отождествляет. Вопрос с выбором терминологии давно решен.

От второго утверждения, о захвате Солнцем протопланетного облака, Шмидт не отказывался никогда. Он прекрасно понимал, что к системе «звезда — облако» не применимы выводы из решения им задачи о чисто гравитационном захвате в системе трех точечных масс. Уже к тому времени Т. А. Агекян рассмотрел иной механизм захвата диффузной материи пролетающей звездой⁷. Следовательно, речь шла не о том, что захвата быть не могло, а о соблюдении физических условий, при которых захват возможен. Разнообразии условий в Галактике велико: и в наши дни астрофизики находят внутри гигантских молекулярных облаков, где происходит процесс звездообразования, условия для захвата и выброса звездами других звезд либо захвата звездами диффузной материи⁸. Но полвека назад еще не было прямых данных ни в пользу захвата, ни в пользу совместного образования звезд и протопланетного вещества. Потребовалось более тридцати лет прогресса астрофизических наблюдений, чтобы были открыты первые околозвездные газопылевые диски. Еще через десяток лет уже стали известны сотни молодых звезд с массами близкими к солнечной, вокруг которых обращаются такие диски; для дисков введен в обращение термин *proplyds* (*protoplanetary disks*). К концу XX в. были также открыты первые (пока лишь гигантские) планеты у некоторых звезд (экзопланеты). Эти факты наглядно свидетельствуют в пользу совместного образования звезд и дисков, а теоретические работы и до прямых открытий уже следовали по этому пути. В частности, этой проблеме были посвящены исследования Т. В. Рuzмайкиной (ИФЗ) и ее докторская диссертация, успешно защищенная в 1986 г. в Институте космических исследований АН СССР. Но даже сейчас нельзя утверждать, что в теории совместного образования Солнца и допланетного облака (в которой мы не сомневаемся) до конца раскрыты физические механизмы переноса массы и углового момента, приводящие к их известному диспаритету в Сол-

⁶ Труды первого совещания... С.19–20.

⁷ См.: Ученые записки ЛГУ. 1950. № 136. Серия математическая. 22. С. 33.

⁸ См.: *Protostars and Planets IV* / Ed. by V. Mannings, A. P. Boss, S. S. Russell. Tucson: Univ. of Arizona Press, 2000. P. 675.

нечной системе (99,87% массы — в Солнце, 98% углового момента — в орбитальном движении планет).

В 1951 г. у астрономов еще не было данных об околозвездных дисках. Так, например, профессор (позднее академик) В. В. Соболев, возражая против захвата, говорил: «Но ведь никто никогда не видел звезды, вокруг которой уже вращается облако»⁹. У большинства астрономов было скорее интуитивное убеждение в совместном образовании Солнца и планет.

Учитывая непопулярность идеи захвата протопланетного облака Солнцем и полную неясность в вопросе о происхождении звезд (о чем будет сказано ниже), О. Ю. Шмидт временно оставил за кадром вопросы о происхождении допланетного диска и образовании Солнца. Он сформулировал центральную задачу планетной космогонии как изучение эволюции газопылевого допланетного диска и аккумуляции в нем планет, а также не менее важную комплексную задачу о ранней, догеологической, истории Земли. Именно в этих направлениях стали развиваться работы в созданном О. Ю. Шмидтом отделе эволюции Земли в Геофизическом институте.

И. А. Резанов пишет, что основной оппонент О. Ю. Шмидта академик В. Г. Фесенков «не соглашался с расчетами термической истории Земли В. С. Сафронова и Е. А. Любимовой»¹⁰. Но это касалось лишь предположения о изначально холодной Земле. Насколько мне известно, В. Г. Фесенков позднее уважительно относился к работам Е. А. Любимовой по термической истории Земли, а докторская диссертация В. С. Сафронова «Исследование происхождения и ранней эволюции Земли» (ИФЗ АН СССР, 1967) была в короткое время утверждена ВАКом благодаря положительному отзыву Фесенкова. Автору этих строк приходилось общаться с академиком Фесенковым в 60-е гг., когда он возглавлял комиссию по планетной космогонии Астросовета АН СССР. В. Г. Фесенков был всегда объективным, доброжелательным и одновременно ироничным. Иногда он мог сказать на семинаре: «Я уже говорил об этом в 1916 году». Научная полемика негативно не отражалась на его отношении к ученикам О. Ю. Шмидта. Критические высказывания В. Г. Фесенкова о нереальности первоначально «холодного», по О. Ю. Шмидту, состояния Земли были учтены сотрудниками ИФЗ, и в результате детального количественного изучения модели роста Земли (по О. Ю. Шмидту) оказалось, что термин «холодное» следует понимать как «не полностью расплавленное», так как при аккумуляции Земли она прогревается вплоть до плавления в области верхней мантии и проходит дифференциацию на ядро, мантию и кору.

В Институте физики Земли получил развитие вывод из доклада А. Г. Масевич¹¹ о доминировании в составе Юпитера и Сатурна газов во-

⁹ Труды первого совещания... С. 279.

¹⁰ Резанов. История космогонической гипотезы... С. 752.

¹¹ Труды первого совещания... С. 107–117.

дорода и гелия, которые не могли входить в состав твердых планетезималей. Этот вывод следовал из ее работы с В. Г. Фесенковым, а сама идея подкреплялась соображениями Л. Д. Ландау¹². В ИФЗ также получили развитие фундаментальные исследования моделей внутреннего строения планет-гигантов на основе изучения уравнения состояния водорода, гелия и других веществ при высоких давлениях. Вначале эти работы велись под руководством Б. И. Давыдова, а после его кончины в 1963 г. — под руководством В. Н. Жаркова¹³. Большая заслуга О. Ю. Шмидта в том, что в 1952 г. он привлек для работы в своей лаборатории в трудные для него времена такого крупного ученого-физика, как Б. И. Давыдов. Работы по внутреннему строению Земли и планет, выполненные в ИФЗ, получили мировое признание. Вопрос о том, как именно водород и гелий вошли в состав Юпитера и Сатурна, был исследован В. С. Сафроновым¹⁴, и его модель двухступенчатого роста этих планет остается предпочтительной до сих пор: вначале аккумулируется ядро из твердых планетезималей (льды, силикаты), затем при достижении ядром массы в несколько масс Земли на ядро аккрецируют газы — водород и гелий, — изначально присутствовавшие в допланетном диске¹⁵.

Что оставалось «за кадром» при изучении эволюции допланетного диска

О. Ю. Шмидт как бы «оторвал» планетную космогонию от звездной космогонии и поставил задачу изучения эволюции допланетного облака, уже существующего вокруг Солнца и развивающегося по своим внутренним законам. Это встретило целый ряд критических замечаний, в том числе и насмешку В. В. Соболева: «А не проще ли предположить, что вокруг Солнца уже вращаются планеты?»¹⁶. Действительность показала, что ни первое ни второе из цитированных замечаний Соболева впоследствии не оправдались. Если бы в 50-е гг. вопросы происхождения Земли и планет были отложены на будущее (когда прояснится происхождение звезд), то во многом бы проиграли науки о Земле, и не имели бы солидной базы космические исследования планет и вновь возникшая наука планетология. При этом О. Ю. Шмидт не дожидаясь даже до запуска первого искусственного спутника Земли в 1957 г., но он словно предвидел всю целесообразность своего решения в свете будущего развития космонавтики.

Почему же Шмидт не использовал те представления об образовании и эволюции звезд, которые существовали к началу 50-х гг.?

¹² Труды первого совещания... С. 110.

¹³ См.: Жарков В. Н., Трубицын В. П. Физика планетных недр. М.: Наука. 1980.

¹⁴ См.: Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М.: Наука, 1969. Англ. пер.: Evolution of the Protoplanetary Cloud and Formation of the Earth and the Planets. Washington: NASA TT F- 667, 1972.

¹⁵ См.: Рускол Е. Л., Сафронов В. С. Рост Юпитера как важный фактор формирования планетной системы // Астроном. Вестник. 1998. Т. 32. № 4. С. 291–300.

¹⁶ Труды первого совещания... С. 279.

Два наиболее авторитетных отечественных астрофизика тех времен — академики В. А. Амбарцумян (также оппонент Шмидта) и В. Г. Фесенков — имели весьма далекие друг от друга воззрения об образовании звезд. Идея Амбарцумяна состояла в том, что звезды рождаются группами (ассоциациями), в том числе и в современную эпоху, путем распада неких сверхплотных D-тел, на это указывает остаточное расширение (разлет) ассоциаций. Эта идея была полностью противоположна идее конденсации звезд из межзвездных газопылевых облаков (туманностей), которая разделялась многими учеными на Западе и с которой В. А. Амбарцумян боролся. В. Г. Фесенков считал, что звезды могут образовываться из туманностей (звездные цепочки), а затем они эволюционируют, теряя массу за счет интенсивного корпускулярного излучения. Уменьшение массы звезды сопровождается понижением температуры, изменениями внутренней структуры и спектрального класса, звезда эволюционирует вдоль главной последовательности Герцшпрунга — Расселла от состояния гиганта до звезды небольшой массы, типа нашего Солнца. Если при этом звезда окружена планетами, то размеры их орбит все время должны расширяться. Однако современные данные не подтверждают рождения звезд из D-тел. Нет свидетельств о мощном корпускулярном излучении звезд, сопровождающемся большой потерей их массы, а значит, не поддерживается концепция эволюции звезд вдоль главной последовательности. Нет никаких аргументов в пользу того, что в прошлом Земля и другие планеты обращались в несколько раз ближе к Солнцу, которое к тому же было более горячим. В этом случае не было бы такого преобладания льда и летучих в небольших телах, удаленных сейчас от Солнца более чем на 5 астр. единиц, где, по расчетам, находился фронт конденсации водяного льда в допланетном диске при современном излучении Солнца¹⁷. А все представления о возникновении жизни на Земле оказались бы неверными.

Сказанного достаточно, чтобы обосновать изучение образования планет начиная со стадии допланетного диска. Тем не менее О. Ю. Шмидт не оставлял без внимания и проблему происхождения звезд. В частности, под его руководством была выполнена кандидатская диссертация автора этих строк, посвященная сжатию компактной газопылевой туманности (глобулы) в звезду (ИФЗ, 1953). Невзирая на допотопность вычислительной техники (настольный электрический арифмометр) и на упрощенность модели (одномерное сферическое сжатие на его ранней стадии), выводы работы (коллапс почти со скоростью свободного падения, более быстрое сжатие центрального ядра, чем периферии глобулы) подтверждались позже у других авторов при расчетах на компьютерах и для более сложных моделей коллапса туманностей. Отзвуком тех времен служат доморощенные стихи по

¹⁷ См.: Макалкин А. Б., Дорофеева В. А. Структура протопланетного аккреционного диска вокруг Солнца на стадии Т Тельца. Результаты расчета моделей // *Астроном. Вестник* 1996. Т. 30. С. 496–513.

случаю защиты диссертации: «Работа сделана прелестно, но все же ты признайся честно: ужели можно без обмана построить звезды из тумана и убедить Амбарцумяна?».

Академик В. А. Амбарцумян был главным (и весьма эмоциональным) докладчиком на втором Всесоюзном совещании по космогонии, состоявшемся на следующий год после первого, т. е. в 1952 г. Оно было посвящено происхождению звезд. Острейшие дискуссии не привели к решению проблемы. Зато обвинения в идеализме виднейших астрофизиков того времени были очень резкими, В. А. Амбарцумян даже ввел ругательный термин «хойлизм» (идеализм в применении к звездообразованию, от фамилии английского астрофизика Хойла, который со временем получил дворянство за научные заслуги и стал именоваться Sir Fred Hoyle). Все это запечатлено в «Трудах...» совещания¹⁸. Но это уже другая тема.

Развитие планетной космогонии после О. Ю. Шмидта

Выше говорилось о причинах, почему Шмидт расчленил проблему происхождения Земли и планет на три части: происхождение Солнца и протопланетного облака; эволюция облака и образование в нем планет; ранняя история Земли. Решение первой проблемы было отложено на будущее, и сейчас это время уже наступило, во всяком случае для наиболее оснащенных наземных западных обсерваторий. Процесс звездообразования наблюдается также с помощью космических средств (телескоп Хаббл, космические зонды) и изучается теоретически. За последние два с небольшим десятилетия в США изданы четыре фундаментальные международные монографии «Протозвезды и планеты»¹⁹. Только самая ранняя из них переведена на русский язык²⁰. На самой последней монографии (2000) — посвящение: «Мы посвящаем этот том Виктору Сергеевичу Сафронову за его пионерские работы по теории образования планет»²¹. В этом посвящении содержится признание того, что исследования, проведенные в нашей стране в ИФЗ, опередили аналогичные работы на Западе. Добавим, что опережение составило около 15 лет. И оно касается второй и третьей частей проблемы в постановке О. Ю. Шмидта, которому мы этим обязаны.

В 50–60-е гг. XX в. шмидтовская лаборатория в ИФЗ со штатом, не превышавшим 10 человек, была единственным (в мире!) подразделением, где в плановом порядке разрабатывался сценарий образования планет. Быть может, эта «плановость» и способствовала опережению. Если

¹⁸ Труды второго совещания по вопросам космогонии 19–22 мая 1952 г. / Ред. М. А. Лаврентьев. М.: Изд-во АН СССР, 1953.

¹⁹ Protostars and planets / Ed. T. Gehrels. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1978; Protostars and Planets II / Ed. by D. C. Black, M. S. Matthews. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1985; Protostars and planets III / Ed. by E. H. Levy, J. I. Lunine. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1993; Protostars and Planets IV (2000)...

²⁰ Протозвезды и планеты: В 2 ч. М.: Мир, 1982.

²¹ Protostars and Planets IV (2000)...

не считать гипотезы о захвате облака Солнцем, все главные положения О. Ю. Шмидта лежат в основе этого сценария. Имеются в виду выделение пылевого субдиска из первичного газопылевого облака небольшой, по сравнению с Солнцем, массы, аккумуляция планет земной группы в субдиске из твердых каменных тел и частиц, рост ядер планет-гигантов из тех же веществ, плюс льды, которые могли конденсироваться в зонах образования планет. Идея об осреднении эксцентриситетов и наклонов орбит допланетных тел при аккумуляции в планеты также принадлежит О. Ю. Шмидту, она была математически разработана его последователями (В. С. Сафронов, И. Н. Зиглина) и привела к согласию с наблюдаемыми характеристиками орбит планет, включая закон планетных расстояний. Идея Шмидта об образовании спутниковых роев вокруг растущих планет с учетом особой роли неупругих столкновений тел и частиц также получила дальнейшее развитие, и не только в ИФЗ²², но и в других институтах нашей страны, Японии и США²³. Именно О. Ю. Шмидт впервые выдвинул идею о поясе астероидов как о несформировавшейся единой планете²⁴, которая подтверждается всем комплексом современных данных²⁵. В популярной форме сценарий происхождения планет и спутников описан в моей статье²⁶.

Почему работы, выполненные в Институте физики Земли, стали известными и востребованными в наиболее развитых странах Запада? Этому способствовали три объективных фактора: начало освоения космоса, чтобы узнать, как произошла Солнечная система; массовое внедрение компьютеров, т. е. развитие численного моделирования космогонических процессов; современные открытия объектов, являющихся аналогами планетных систем в стадии формирования (звезд с дисками). До определенного времени помехой служил языковой барьер — незнание западными учеными русскоязычных работ. Но благодаря переводам и многочисленным международным конференциям эта помеха была скоро преодолена.

Важной вехой в развитии планетной космогонии был неформальный симпозиум по происхождению Земли и планет, организованный Б. Ю. Левиным в августе 1958 г. во время X Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза (МАС) в Москве. Среди более чем 300 его участников были титулованные английские ученые Г. Джеффрис и Ф. Хойл, виднейшие астрономы Дж. П. Койпер и Ф. Уиппл, лауреат Но-

²² См.: Рускол Е. Л. Происхождение Луны. М.: Наука. 1975.

²³ См.: Origin of the Moon / Ed. by W. K. Hartmann, R. J. Phillips, G. J. Taylor. Houston: Lunar & Planetary Institute, 1986.

²⁴ Шмидт О. Ю. О происхождении астероидов // Доклады АН СССР. 1954. Т. 96. № 3. С. 449–452.

²⁵ См.: Asteroids / Ed. by T. Gehrels. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1979. 1181 p.; Asteroids II / Ed. by R. P. Binzel, T. Gehrels, M. S. Matthews. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1989. 1258 p.; Asteroids III / Ed. by P. Paolicchi. Tucson: Univ. Ariz. Press, 2003 (In press).

²⁶ Рускол Е. Л. Происхождение планет и спутников // Земля и Вселенная. 2002. № 2. С. 38–46.

белевской премии физико-химик Г. К. Юри и физик А. Камерон (США), французский астрофизик Э. Шацман и многие другие.

Московская полемика между известными американцами Г. К. Юри и Дж. П. Койпером, начатая еще в США в начале 50-х гг., очень напоминала диспут Шмидт — Фесенков. Юри с горячностью утверждал, что начальное состояние Земли было холодным, а Койпер, — что Земля образовалась из гигантской протопланеты солнечного состава и была вначале горячей (космогоническая гипотеза Койпера входила тогда в американские учебники по астрономии). Юри доказывал, что многие химические элементы средней летучести не концентрируются к поверхности Земли, как было бы при ее первоначально расплавленном состоянии. Отдел эволюции Земли ИФЗ под руководством Б. Ю. Левина представил на симпозиум ряд докладов. Автором настоящей статьи были высказаны аргументы против гипотезы гигантских протопланет, которая основана на предположении о весьма массивном допланетном облаке²⁷, и они нашли поддержку со стороны Ф. Хойла. Первоначальная масса допланетного диска является ключевым параметром для космогонических моделей: при небольших значениях (до 0,1 массы Солнца) диск развивается по сценарию, разрабатываемому в ИФЗ, при массе более 0,3 массы Солнца — уже по совершенно другому сценарию.

К концу 60-х гг. в мировой науке существовало несколько различных моделей образования Солнечной системы, и на XIV Генеральной ассамблее МАС (Англия, 1970 г.) было принято решение провести специальное совещание, посвященное отбору наиболее перспективной из этих моделей. Большое международное совещание было проведено в Ницце (Франция) в апреле 1972 г. В течение недели 6 сценариев происхождения планет (В. Мак Крей, Д. Тер Хаар, Г. Аррениус, В. С. Сафронов, А. Камерон и Э. Шацман) подвергались доскональному критическому разбору со стороны «экспериментаторов» и «наблюдателей», т. е. специалистов по метеоритике, физике комет, ядерной физике, магнитной гидродинамике, астрофизике, численным методам моделирования²⁸. Избегая деталей, можно сказать, что предпочтение получили модели Сафронова (допланетное облако с массой в пределах 0,1 массы Солнца) и Камерона (массивное допланетное облако с массой порядка массы Солнца). В пользу последней высказался даже Б. Ю. Левин, предложивший еще более массивную модель, от которой позднее сам отказался.

Модель В. С. Сафронова была признана наиболее динамически обоснованной. Этому способствовало издание в том же 1972 г. в США перевода его книги²⁹. С тех пор она стала одной из наиболее часто цитируемых монографий в мировой литературе.

²⁷ Рускол Е. Л. К вопросу об образовании протопланет // Вопросы космогонии. 1960. Т. 7. С. 8–14.

²⁸ См.: On the Origin of the Solar System / Ed. by H. Reeves. Paris: CNRS, 1972. 384 p. Рус. пер.: Происхождение Солнечной системы. М.: Мир, 1976.

²⁹ Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М.: Наука,

Модель А. Камерона широко была разрекламирована в США, в 70-е гг. она служила космохимикам основой для построения химической эволюции горячего допланетного облака, в котором с понижением температуры последовательно конденсируются в твердую фазу сначала тугоплавкие элементы и соединения, затем железо и каменные вещества, окислы, гидратированные силикаты и льды. Следует заметить, что если взять менее массивную модель облака, т. е. понизить в нем газовое давление, то последовательность конденсации остается такой же, лишь температуры конденсации несколько снижаются. При этом трудностью массивной модели является распад диска на гигантские сгустки — протопланеты «солнечного» состава, из них избыточные газы — водород и гелий — не могут испариться за все время жизни Солнечной системы, т. е. за 4,6 млрд лет³⁰. В маломассивной модели этой трудности нет, так как космические газы, распределенные по большому объему диска, «выдуваются» солнечным УФ излучением и потоками корпускул за время порядка 10 млн лет³¹. Преимущество маломассивной модели стало еще очевиднее с конца 80-х гг., когда из наблюдений было оценено время диссипации газовой составляющей околозвездных дисков — в пределах 10 млн лет, а массы дисков оказались в интервале от 1/1000 до 1/10 массы центральной звезды³². Маломассивная модель поддерживается с 70-х гг. японскими исследователями под руководством Ч. Хаяши, на таких же позициях стояли Э. Шацман и Ф. Хойл; современные исследовательские группы в США, Италии, Франции и России также развивают модель маломассивного допланетного облака.

Реальное развитие планетной космогонии далеко от идиллии, и вместо славословия в адрес отдельных личностей в работах чаще встречается полемика; все время возникают трудности с выяснением происхождения тел Солнечной системы. В 60-е гг. в США одним из вдохновителей дорогостоящей программы освоения Луны был Г. К. Юри, который называл Луну «краеугольным камнем» (точнее «rosetta stone») для расшифровки происхождения планет, так как считал, что с поверхности Луны можно доставить первичное вещество солнечной туманности и решить все проблемы. Все получилось намного сложнее, лунное вещество оказалось продуктом переработки в недрах и на поверхности Луны. Несмотря на огромный труд, до сих пор нет единого мнения о происхождении Луны³³. Нет ясности с происхождением хондр, которые встречаются у преобладающего числа метеоритов, хотя установле-

1969. Англ. пер.: Evolution of the Protoplanetary Cloud and Formation of the Earth and the Planets. Washington: NASA TT F- 667, 1972.

³⁰ См.: Шкловский И. С. О возможности объяснения различий в химическом составе Земли и Солнца термической диссипацией легких газов // *Астроном. журнал.* 1951. Т. 28. № 4. С. 234–243.

³¹ См.: Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафронов В. С. Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука. 1990.

³² Protostars and planets IV...

³³ См.: Рускол. Происхождение планет и спутников...

но, что метеориты — это фрагменты астероидов, и связь разновидностей тех и других прослежена весьма детально. Только начинает изучаться протяженный пояс астероидоподобных тел за орбитой Нептуна. Существуют большие расхождения в оценках количества метеорного и кометного вещества, ежедневно выпадающего на Землю. Эти расхождения не касаются основной массы Земли, но имеют значение для оценки внешних факторов в образовании атмосферы и гидросферы Земли. Список трудностей может быть продолжен, но не в издании, посвященном истории науки. Вернемся к исходному материалу.

Что предлагает И. А. Резанов вместо идей О. Ю. Шмидта?

По мнению И. А. Резанова³⁴, у Земли вначале должна была существовать горячая (до 1000 К) массивная водородная атмосфера с массой 0,5% от массы всей Земли (значит, водорода было по массе в 20 раз больше, чем океанической воды на современной Земле!). К этому якобы приводит история образования древних базальтов. Куда девалась такая атмосфера в дальнейшем, И. А. Резанов умалчивает.

Первое. Вызывает недоумение попытка связать геологический процесс обязательно с наличием на планете мощной атмосферы. Сейчас известны многие тела Солнечной системы, у которых нет и не было никогда атмосфер и у которых на поверхностях видны следы активной тектонической деятельности (помимо кратеров ударного происхождения). Это в основном спутники планет-гигантов. У планеты Марс очень слабая атмосфера, и при этом наблюдаются следы мощной эндогенной активности в виде гигантских вулканов. Быть может, следовало бы рассматривать эволюцию земных базальтов так же, как следствие эндогенных факторов?

Второе. Нельзя объяснить, как планета, подобная Земле, могла бы потерять предполагаемую первичную атмосферу. Для термической диссипации водорода нужны были бы температура 10000 К и время, на порядки превышающее возраст Земли 4,6 млрд лет. Сама Земля не могла бы нагреть свой воздух до такой отметки. Солнечное УФ излучение, ионизируя водород, нагревает его до 10000К, но лишь в очень ограниченной внешней разреженной оболочке (экзосфере). По оценкам специалистов, за все время существования Земли при диссоциации паров воды на кислород и водород из экзосферы могла произойти лишь небольшая утечка водорода — как если бы испарилась одна десятая часть океанической воды, и водород из нее был потерян³⁵.

Третье. Аккумуляция Земли в основном произошла за 10^8 лет³⁶. Это

³⁴ Резанов. История космогонической гипотезы О. Ю. Шмидта... С. 758.

³⁵ См.: Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres / Ed. by S. K. Atreya, J. B. Pollack, M. S. Matthews. Tucson: Univ. Ariz. Press, 1989.

³⁶ См.: Сафронов. Эволюция допланетного облака... (Evolution of the Protoplanetary Cloud...); Витязев, Печерникова, Сафронов. Планеты земной группы...

находится в согласии с новейшими изотопными данными³⁷. Водород и гелий из зоны формирования Земли должны были быть потеряны за меньшее время, т. е. за 10^7 лет, на что указывает время жизни газовой составляющей околозвездных дисков. Валовый состав Земли и планет земной группы крайне обеднен не только водородом и гелием, но и всеми другими более тяжелыми элементами, которые не входили в состав твердых частиц, а находились в газовой фазе, а именно: азотом и всеми инертными газами. Поэтому и возникла идея аккумуляции из твердых частиц (gas-free accumulation). Но даже и при наличии космических газов в зоне образования земных планет, массы последних не достигали того критического уровня, когда начинается активная газовая аккреция (нужно по крайней мере 10 масс Земли).

Можно заключить, что предположение И. А. Резанова о мощной первичной водородной оболочке Земли не обосновано и доводом против теории Шмидта служить не может.

Еще более неприемлемым является утверждение И. А. Резанова о происхождении астероидов в результате взрыва крупной родительской планеты Фэтон. Как известно, такая гипотеза была высказана 200 лет назад Г. Ольберсом. В свое время она была очень полезна, так как стимулировала поиски все новых и новых малых планет. Первоначально, следуя «закону» планетных расстояний, шел поиск одной планеты между Марсом и Юпитером, а когда обнаружилось, что малых планет несколько, появилась гипотеза о распаде планеты. За два века по мере все новых и новых открытий становилось яснее, что огромный по размерам и разделенный по химическому составу на широкие гелиоцентрические зоны пояс астероидов не может быть продуктом распада единого тела. Накоплено неисчислимо много астрономических данных о свойствах астероидов и лабораторных данных о метеоритах, которые не могут быть объяснены гипотезой Ольберса³⁸, но вполне согласуются с идеей О. Ю. Шмидта об астероидах как о реликтовых телах из зоны, где не смогла сформироваться единая планета³⁹.

Неверны все выводы, сделанные И. А. Резановым из гипотезы Ольберса, в частности, о массивной лунной бомбардировке при взрыве планеты Фэтон. А как же тогда понять сходные с лунными распределения ударных кратеров на ледяных спутниках Сатурна, Урана и Нептуна? А как образовались тела пояса Койпера за орбитой Нептуна? Их тоже насчитывают тысячи, а по массам они соответствуют астероидам главного пояса. Взгляды И. А. Резанова явно устарели и никак не могут рассматриваться как серьезный аргумент против теории О. Ю. Шмидта.

³⁷ См.: Vityazev A. V., Pechernikova G. V., Bashkirov A. G. Accretion and Differentiation of Terrestrial Protoplanetary Bodies and Hf — W Chronometry // Lunar and Planetary Science XXXIV. 2003 (In press).

³⁸ Asteroids...; Asteroids II...; Asteroids III...

³⁹ Шмидт. О происхождении астероидов...