

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПЛАНЕТОЛОГИЯ

А.Т.Базилевский, О.В.Николаева, А.В.Иванов

Роль К.П.Флоренского в этой науке особая. Именно им была впервые обоснована сама концепция сравнительной планетологии — питающие ее корни, содержание, методология и отличие от сложившихся наук. Вместе с тем Кирилл Павлович был и одним из тех, чья конкретная научная и организационная работа вела к становлению этой науки в космический период.

Мы, сотрудники планетологической лаборатории, созданной и возглавлявшейся К.П.Флоренским, не обольщаемся надеждой передать его внутренний, духовный мир. В основе его, наверное, — спокойный гуманизм натуралиста, воспринимающего природу в единстве живого и неживого. Кириллу Павловичу всегда были равно важны работа человека и сам он в своей индивидуальности. Именно поэтому для многих он был не только заведующим. У каждого из нас «свой» Кирилл Павлович. Судьба подарила нам многолетнее повседневное общение с ним, он был для нас просто КаПэ, мы для него — «ребята». В каждого из нас вложена часть его души. Мы с горечью сознаем бессилие передать людям всю глубину и привлекательность его личности, вероятно, нам не удастся донести в полном объеме даже роль Кирилла Павловича в сравнительной планетологии, ибо, пожалуй, наиболее сильное влияние его шло через частные беседы с очень разными людьми; он всегда был неизменно и принципиально щедр.

В своем изложении мы будем опираться прежде всего на опубликованные работы К.П.Флоренского и на те факты деятельности его в лаборатории, в которые были вовлечены мы сами.

В понимании К.П. Флоренского сравнительная планетология — одна из древнейших наук. Историю ее он разделяет на три периода: астрологический, астрономический и космический; содержание ее менялось с изменением методов исследования. Серьезную задачу астрологии Кирилл Павлович видел в изучении влияния космических тел на Землю и условия человеческого

существования. Однако затем астрология оторвалась от научной астрономической базы и, сделавшись достоянием легковверных людей и шарлатанов, дискредитировала себя. В нынешний, космический период, как полагал Кирилл Павлович, интерес к рациональному зерну астрологии начинает возрождаться в связи с резким изменением методов изучения Солнечной системы, которые обеспечивают реальную возможность научно исследовать, говоря словами В.И.Вернадского (1965), материально-энергетический обмен между космическими телами, одним из которых является наша Земля.

К пониманию предмета современной сравнительной планетологии отдельные исследователи подходили еще в прошлом веке. Например, еще в 1874 г. С.Менье читал в Париже курс сравнительной геологии или геологии небесных тел. В одноименной книге (1896) он писал: «Каждое из тел нашей системы, Солнце, планеты, Луна имеет свою особую “геологию”, и я настаиваю на том, что результат, извлекаемый из всех этих геологии, состоит не только в познании фактов, относящихся к каждому из этих тел, но и в открытии некоторых великих законов, управляющих вселенною... Царапанье земной коры — вот вся область обычной геологии... Но те познания, которые не в состоянии нам доставить прямое исследование Земли, доставляются нам изучением светил, избранных надлежащим образом...».

В XX веке В.И.Вернадскому (1965) приходится снова и снова напоминать: «В своей научной работе геолог часто забывает, что он имеет дело не просто с Землей, а с одним из индивидуально-различных естественных тел — с одной из “земных планет” Солнечной системы». Задолго до космической эры перестала быть только астрономическим объектом Луна — в 40-е годы независимо появились работы Дж.Спёрра (Spurr, 1945) и А.В.Хабакова (1949), посвященные геологической истории поверхности Луны; в 50-е годы — космохимические работы Г.Юри по проблеме становления Луны и планет (Urey, 1952). К истории Земли как одного из планетных тел довольно

рано подходили такие исследователи, как Б.Л.Личков (1965), Г.Н.Каттерфельд (1962) и некоторые другие.

В основе созданной К.П.Флоренским концепции современной сравнительной планетологии лежит, вероятно, пришедшая через В.И.Вернадского идея В.В.Докучаева о естественном природном теле как о «логически замкнутой природной системе, которая изучается в совокупности всех своих свойств» (Флоренский и др., 1981, с. 5). По К.П.Флоренскому, предметом сравнительной планетологии «является природное естественное тело — Земля, планета — или семья тел — Солнечная система» (там же, с. 6). В отличие от наук, специализирующихся на изучении отдельных свойств тел, таких, как оптика, кристаллография, химия и другие, «планетология относится именно к такому обобщающему типу наук, который нельзя вместить в рамки классических, старых научных, дисциплин» (там же, с. 5). В этом состоит конкретное отличие нового научного направления — сравнительной планетологии — от сложившихся наук.

Сравнительная планетология складывается по-новому на стыке астрономических и геологических наук. Занимаясь «изучением строения планет, их истории и процессов, которые привели к современному состоянию планет и поддерживают его дальнейшее развитие» (там же, с. 6), сравнительная планетология является по существу исторической наукой, аналогичной геологии в широком понимании. И метод сравнительной планетологии в определении К.П.Флоренского лишь расширяет метод геологии — принцип актуализма: путь познания от современных или наиболее понятных процессов на планете в глубь ее истории, или к специфическим особенностям других планет. Кирилл Павлович называл это «разматыванием клубка истории с конца» и главным постулатом работы считал «определенность конечных условий, а не гипотетические требования к началу процесса» (там же, с. 6).

Однако К.П.Флоренский подчеркивал и особенность планетологического метода. С одной стороны, при изучении планет только Земля является единственным эталоном сравнения, на который мы вынуждены опираться со

всей прочностью, а с другой — изолированное изучение только Земли уже недостаточно для ее понимания. «Таким образом, в методологической основе планетологии лежит диалектическая спираль, исходящая из Земли как эталона и возвращающаяся к Земле как конечной цели исследований» (там же, с. 7).

Характерной чертой личности Флоренского является то, что, дав такое определение, он тут же обращает внимание философов на необходимость считаться с таящимся в нем психологическим противоречием — ученому приходится рассматривать и объективную бесконечность Вселенной, где роль Земли исчезающе мала, и субъективное значение человечества, неотвратимо занимающее центральное место его внимания. Именно здесь, по его мнению, возникают, например, корни полуфантастических поисков внеземных цивилизаций, но в этом же противоречии заложено будущее развитие науки. Кирилл Павлович называл (там же, с. 7) вещами слова К. Маркса: «Впоследствии естествознание включит в себя науку о человеке в такой же мере, в какой наука о человеке включит в себя естествознание: это будет *одна наука*»¹.

Все эти взгляды Кирилла Павловича впервые подробно сформулированы во Введении к «Очеркам сравнительной планетологии». Однако многое из изложенного там не раз в той или иной форме звучало в лаборатории, беседах с людьми, публичных выступлениях, проявлялось в подходе к решению мелких и крупных проблем, научных и человеческих.

Вероятно, первой собственно планетологической работой К.П.Флоренского была небольшая статья «О начальном этапе дифференциации вещества Земли» (1965). Она открывает восьмой номер журнала «Геохимия» в 1965 г., посвященный 70-летию академика А.П.Виноградова. В то время в науке безраздельно царил представлением о том, что атмосфера и гидросфера Земли накапливались постепенно в ходе геологического времени за счет дегазации недр планеты из-за их радиогенного разогрева. Логика здесь строилась на последовательном применении принципа: настоящее — ключ к

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Из ранних произведений. — М.: Госполитиздат, 1956. — С. 596.

познанию прошлого, и основывалась только на земном опыте: если сейчас газы из недр подаются вулканами, то так же было и в геологически далеком прошлом; естественно, чем меньше время существования Земли, тем меньше газов успело накопиться на ее поверхности, а значит, в нулевой момент времени их там не было совсем. А вот логика К.П.Флоренского: «Геохимики... резко различают два этапа: а с т р о н о м и ч е с к и й , когда Земля приобрела ту форму и размеры, с которыми нам приходится иметь дело и сейчас, и г е о л о г и ч е с к и й , начавшийся уже после полного формирования планеты. Между этими этапами фактически не проводится достаточной связи и, более того, молчаливо допускается большой временной разрыв..., необходимый для радиогенного разогрева Земли... и “начала” геохимических процессов. За начальную точку эволюции Земли по существу принимается холодная, лишенная первичной атмосферы и однородная планета современных размеров. Между тем, теория Земли не может разорвать эти этапы.

Процесс роста планет состоит из ряда последовательных падений тел разного размера... Кинетическая энергия падения отдельных тел приводит к кратковременному расплавлению и испарению существенной доли падающего вещества. Следствием этого является их дегазация... Неизбежная дегазация метеорных тел с разогревом при ударе должна была привести к образованию атмосферы и гидросферы еще во время агломеративного роста планеты».

Этот вывод, опубликованный в 1965 г., был так ошеломляюще нов и настолько обогнал свое время, что статья прошла практически незамеченной. Более того, до сих пор кажется удивительным, что она появилась в то время, когда еще почти ничего не знали даже о Луне. Парадоксально, но в основе вывода К.П.Флоренского лежал только земной опыт. Однако это был опыт изучения Тунгусского падения. Собственно говоря, непосредственной, так сказать, видимой основой здесь послужили результаты исследований вещества из района Тунгусского падения (так называемых космических шариков) и простейших опытов по моделированию формирования их состава (Флоренский и др., 1965, 1968). В те годы лишь единицы занимались подобными вопросами,

они рассматривались как экзотика, не имеющая прямого отношения к земным геологическим и геохимическим проблемам. Значительно позже, уже после космических полетов и установления многочисленных следов ударных событий на всех телах Солнечной системы, к выводу о ранней дегазации планет стали подходить независимым путем многие исследователи (например, Fanale, 1971; Benlow, Meadows, 1975). Сейчас он воспринимается планетологами как очевидное и неизбежное следствие роста тел в ходе соударений.

Другой вывод работы К.П.Флоренского (1965) оказался столь необычным, что даже в среде современных геохимиков и планетологов он либо мало известен, либо глубоко чужд. Это мысли о становлении геохимических циклов кругооборота вещества. Из опыта геологических наблюдений известно, что глубинный магматический процесс подает дифференцированное вещество на поверхность, где оно преобразовывается в ходе осадочных (седиментационных) процессов, а попадая в область высоких температур и давлений, претерпевает метаморфизм вплоть до плавления и нового превращения в магматическую породу, которая снова поступает в осадочный процесс и т. д. Исходным в этом кругообороте, первым во времени и древнейшим классическая геохимия считает магматический процесс. А вот что писал К.П. Флоренский (1965): «...подавляющее большинство силикатов при ударном испарении диссоциирует, и продукты конденсации пара химически не соответствуют исходному веществу... Так как этот процесс захватывает большое количество вещества, даже небольшой коэффициент разделения может привести к существенным результатам... Во время роста Земли характерно одновременное возникновение двух противоположных процессов, положивших начало геохимическим циклам: процесса дифференциации вещества на поверхности планеты и частичное захоронение видоизмененных веществ последующими выпадениями... В седиментационный процесс вовлекаются большие количества вещества растущей Земли, которые погребаются последующими выпадениями, давая начало геохимическим циклам и захватывая свободную геохимическую энергию, приводящую к

формированию зоны метаморфизма... Возникает полная вероятность того, что в обычных геологических циклах седиментационный процесс является первичным по отношению к магматическому».

Над проблемами дифференциации вещества при многократных ударных воздействиях, проблемами становления геохимических циклов работал до конца жизни сам К.П.Флоренский, и дело это продолжают сотрудники его лаборатории. К сходным мыслям о связи крупных ударов и обычных геологических процессов на Земле приходят некоторые зарубежные планетологи, например Грив, Парментье (1984). Но в целом планетология делает в этом направлении лишь свои первые шаги.

Кирилл Павлович не любил торопить людей. Так, безусловно понимая научную значимость этой статьи (Флоренский, 1965), он почти никогда на нее не ссылаясь. Даже среди сотрудников лаборатории некоторые узнали о ее существовании (и то не от него самого) лишь в процессе работы над «Очерками сравнительной планетологии», т. е. по прошествии почти 15 лет с момента выхода статьи в свет. За этим, думается, стоит прежде всего нежелание навязывать свое мнение, уважение мнения собеседника. При обсуждении многие положения этой статьи как бы рождались заново в ходе совместной беседы и совместными усилиями.

Вторая половина 60-х годов — время быстрого накопления фактического материала по планетам. В эти годы К.П.Флоренский — руководитель небольшой группы в лаборатории изотопов Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского (ГЕОХИ АН СССР), возглавлявшейся директором Института академиком А.П.Виноградовым. В этой «странной» группе занимались далеко не только изотопами, здесь же, например, велись эксперименты с космическим веществом (с места Тунгусского падения и из соленосных отложений) и здесь же ставились опыты по дифференциации глубинного вещества в магматическом процессе. Репутация К.П.Флоренского как прибориста и экспериментатора была велика, и

кажется совершенно естественным, что А.П.Виноградов привлек его к работе по созданию приборов для определения состава атмосферы Венеры.

Об атмосфере Венеры в те годы знали только, что она есть и что в ней есть углекислый газ, однако содержание его предполагалось разными авторами от 100 до нескольких процентов, о других газах не знали практически ничего. В 1967 г. газоанализаторы станции «Венера-4» впервые измерили состав атмосферы Венеры; люди Земли узнали, что атмосфера Венеры совсем не похожа на земную: она углекислая с небольшим количеством азота (Виноградов и др., 1968). Кроме того, измеренные тогда на высотах ~45–52 км небольшие содержания O_2 и H_2O по-прежнему фигурируют во всех работах, касающихся изменения состава малых компонентов по вертикальному профилю атмосферы Венеры.

Примерно в эти же годы советскими и американскими исследователями были получены детальные изображения поверхности Луны. Открылась удивительная картина: разрешение снимков резко возросло, но облик Луны не изменился — при любом масштабе съемки она оставалась усеянной множеством кратеров. Космические исследования начали поставлять новые данные и с ними новые проблемы.

В этих условиях в СССР создается специальный Институт космических исследований (ИКИ АН СССР), и А.П.Виноградов как вице-президент Академии наук направляет туда из ГЕОХИ группу из трех человек для создания лаборатории (сначала отдела) Луны и планет. Заведующим этой лабораторией с 1 января 1968 г. становится К.П.Флоренский.

По нашему единодушному убеждению, именно создание планетологической лаборатории считал Кирилл Павлович главным делом своей жизни. Наверное, он рассматривал ее как школу планетологов, в которой меняются люди, но остается преемственность в ней самой. В последние годы жизни он, как мы понимаем сейчас, больше всего заботился о том, чтобы лаборатория пережила его, не распалась, как это часто бывает, на отдельные группы подросших лидеров. Лаборатория существует и отметила свое

двадцатилетие — так создал ее Кирилл Павлович, так подобрал людей и так заинтересовал их работой. С момента ее создания рассказ о К.П.Флоренском — это фактически рассказ о лаборатории.

Подбор людей Кирилл Павлович начал еще в ГЕОХИ. И задним числом понятно, что уже тогда он ясно сознавал планетологию как науку обобщающего типа, когда изучаемый объект рассматривается в целом, а подходы к изучению этого целого определяются специальностью каждого. В наборе сотрудников 1967–1969 гг. были астрономо-геодезисты, геоморфологи, минералог, геохимик, почвовед, химик-экспериментатор, вулканолог, геологи, криолитолог, картографы, астроном-математик. Кирилл Павлович говорил, что планетологов вузы не готовят, ими становятся в процессе работы. И не менее важным, чем профессиональные знания, а может быть, и основным достоинством будущего сотрудника считал его порядочность. Принимая людей в лабораторию, К.П.Флоренский полагался не столько на рекомендации, сколько на впечатление от беседы с человеком. В ходе таких бесед он неизменно поражал новичка тем, что почти не обсуждал будущей работы, но с большим вниманием расспрашивал о предыдущей, проводил крайне далекие и, как казалось, не идущие к делу аналогии, шутил, сводил разговор на темы искусства и философии, словом, вел себя совершенно нестандартно для подобной ситуации.

Уже позже один из нас участвовал в качестве помощника Кирилла Павловича в таком собеседовании с двумя кандидатами на поступление в лабораторию. Мы слушали их по очереди, и они не знали друг о друге. После того как наши собеседники, оба удовлетворившие нас по квалификации и общему впечатлению, ушли, Кирилл Павлович сказал: «Давай возьмем второго — у него глаза ясные». Наблюдательность, умение встать на точку зрения другого человека, тонкое психологическое чутье, выработанное, может быть, в годы войны, — все это вместе взятое почти не подводило Флоренского в подборе людей.

В первые годы существования лаборатории работа ее носила сугубо прикладной характер — обеспечение наших проектно-конструкторских организаций, работавших над созданием космических аппаратов для изучения Луны и планет, информацией о свойствах поверхности этих тел. Недаром президент АН СССР М.В.Келдыш называл тогда ИКИ «форпостом науки, выдвинутым в промышленность». Конструкторы будущих луноходов и станций для доставки грунта с Луны на Землю должны были ясно представлять себе лунную поверхность — какие там уклоны, сколько камней и какого размера, какова прочность грунта, и не будет ли он налипать на детали станции и т. д. Кирилл Павлович построил работу следующим образом. Мы все независимо от специальности принялись считать кратеры и камни на фотографиях лунной поверхности, определять их типичную геометрию и характер распределения по площади, строить карты и создавать математические модели поверхности. Работа очень увлекала, потому что, получая эти сухие цифры, мы узнавали Луну, а главное, непрерывно ощущали нужность такой работы. Часто приезжали инженеры с предприятий, где создавались аппараты, буквально вырывали из рук только что полученные данные и ставили перед нами новые задачи. Такая сумасшедшая гонка продолжалась около двух лет, и когда мы, в основном закончив ее, перевели дух и оглянулись, то увидели, что стали уже не формирующейся, а действующей лабораторией с хорошими деловыми и человеческими отношениями внутри коллектива и хорошей репутацией в институте и у так называемых «смежников».

Кирилл Павлович Флоренский осуществлял становление лаборатории на практическом деле. Конечно, мы все равно должны были сделать эту работу, но делать ее можно было по-разному. Ведь Кирилл Павлович мог уже тогда, на самом раннем этапе, начать разворачивать в лаборатории одновременно и чисто научные исследования, поручив прикладную работу некоторой части сотрудников. Луну только начали изучать, все было ново и неожиданно; научные проблемы, одна другой соблазнительнее, сыпались, как из рога изобилия. Но Кирилл Павлович избрал другой путь: практические задачи

решались общими силами, что кроме сплочения коллектива дало нам всем отличную школу «азбуки лунной поверхности».

Но в те же годы К.П.Флоренский и «вещественники» лаборатории участвовали в решении и другой задачи — оборудовании одной из комнат ГЕОХИ для приема первого вещества с другого космического тела — Луны. Прецедентов не было, любая непродуманная мелочь могла обернуться порчей или потерей драгоценного вещества. В 1970 г. наша станция «Луна-16» доставила лунный грунт, который с таким нетерпением ждали. И весь первый, самый трудный месяц знакомства с грунтом Кирилл Павлович вместе с еще тремя сотрудниками с утра до поздней ночи (а то и до раннего утра) провел в Приемной лаборатории. Мы привыкли, что Кирилл Павлович исчезал туда надолго и при каждой следующей доставке лунного грунта.

Узнавание Луны шло стремительными темпами. В американской программе «Аполлон» главный акцент делался на высадку экипажа людей на негостеприимную поверхность Луны, в советских программах туда посылались роботы — «Луноход-1» (1970 г.) и «Луноход-2» (1973 г.). Сотрудники лаборатории Флоренского работали в непосредственном контакте с экипажем водителей луноходов — долгими лунными днями (каждый — примерно 14 земных) они сидели вместе в Центре управления, определяя пути движения луноходов по Луне. Полученные в этой программе результаты кажутся неброскими, но работа с луноходами дала добротный материал по микрорельефу Луны. Анализ этого материала показал, что главными факторами эволюции лунной поверхности в этом масштабе являются метеоритная бомбардировка, формирующая ударные кратеры, и комплекс склоновых процессов, совместно с ударами уничтожающий эти кратеры. Для Кирилла Павловича наибольший интерес к работе луноходов был связан с определением области баллистического разноса материала выбросов ударных кратеров на стыке двух химических контрастных провинций — базальтового моря и анортозитового материка. Зона перемешивания оказалась небольшой, всего около 6 км; это означало, что за последние ~3,8 млрд. лет жизни Луны ударные

процессы как фактор гомогенизации поверхностного материала действовали слабо.

Космические программы, наши и американские (обмен материалами и научные контакты начались очень рано), поставляли все новые и новые данные. Фотосъемка Луны с искусственных спутников и посадочных аппаратов, работа луноходов открыла бесчисленное количество кратеров диаметром от сотен километров до нескольких сантиметров; горячо обсуждался вопрос их генезиса: какие из них вулканические, а какие ударные? Исход этого спора известен: на Луне лишь ничтожная доля кратеров малых (до нескольких километров) размеров является вулканическими, абсолютное же большинство их — ударные. Было бы неверным сказать, что этот вывод получен в лаборатории Флоренского, как было бы неверным сказать и то, что он получен не там. Как и многие другие планетологические утверждения, этот вывод не имеет конкретного автора, к нему, идя путем сомнений, пришли как к очевидному многие исследователи в разных концах земного шара, в числе первых были и Кирилл Павлович со своими сотрудниками.

К факту абсолютного преобладания ударных кратеров на поверхности Луны исследователи лунного вещества добавили еще и факт существования множества ударных кратеров на поверхности частиц лунного грунта. Интервал размеров ударных структур стал доходить до долей микрометра. Все отчетливее вырисовывалось то, что ведущим фактором переработки поверхности Луны являются ударные события. Те самые, которым К.П.Флоренский в своей первой планетологической работе отводил столь большую роль на самых ранних этапах жизни планет. А вскоре обнаружилось, что некоторые лунные образцы имеют возраст, восходящий к возрасту Луны как тела, к ~4,5 млрд. лет. По инициативе Кирилла Павловича начали проводиться эксперименты, имитирующие дифференциацию вещества при ударе, — опыты по высокотемпературному испарению и конденсации в вакууме. Практические задачи — выбор и инженерная характеристика мест посадок космических аппаратов — конечно, оставались, но справляться с ними

стало легче — появился опыт. А научные вопросы разрастались и приобретали все более геолого-геохимический характер, все более смыкались с науками о Земле, в то время как тематика ИКИ АН СССР все более ориентировалась на дальний космос.

В связи с этим в начале 70-х годов встал вопрос о переводе лаборатории Флоренского в ГЕОХИ АН СССР. Формально переход произошел 1 января 1975 г. Внешне все это кажется очень простым, но по существу это было серьезное испытание на прочность. Сначала реакция была единой: сила лаборатории — в ее комплексности, надо уходить всем вместе. Затем пошли сомнения: ведь ГЕОХИ — это Институт геохимии и аналитической химии, хорошо «вещественникам», а как сложится в его стенах судьба астрономов, геологов, геоморфологов, картографов, математиков? Не окажутся ли они там вскоре ненужными? Да и какой рост может быть у них в этом химическом институте? Кирилл Павлович златых гор не сулил, говорил только о возможности работать и вообще старался держаться в стороне, чтобы каждый мог принять свое личное решение. В самый разгар дебатов он был в подмосковном санатории, сотрудники наезжали туда непрерывно. Наконец, несколько астрономо-геодезистов решили остаться в ИКИ, большинство приняло решение идти в ГЕОХИ. Оставшихся в ИКИ Кирилл Павлович назвал выросшими дочерьми, которые выходят замуж и покидают отчий дом. А лаборатория Флоренского, не утратив своего и ныне комплексного характера и пополнившись людьми из прежней группы из лаборатории изотопов, начала работать в стенах ГЕОХИ.

Переход из ИКИ в ГЕОХИ ознаменовался еще одним событием — лаборатория Луны и планет получила современное название — сравнительной планетологии. Казалось бы, пустая формальность, однако за изменением названия стоит серьезная мысль. До полетов к Луне это тело воспринималось исключительно астрономически — как спутник Земли, а следовательно, в отличие, например, от самой Земли или Марса, к планетным телам не принадлежало. Однако изучение Луны показало, что историю ее развития

определяет не тип орбиты. Этот признак теперь получался второстепенным по сравнению с признаком внутреннего строения. И Луна, которая, как уже выяснилось, прошла стадию планетарной дифференциации вещества, оказывалась с этих позиций таким же планетным телом, как Земля или Марс. Так, в названии лаборатории проявилось новое понимание К.П.Флоренским самого понятия «планета» на космическом этапе развития планетологии.

В ГЕОХИ к прежним направлениям работ — решение практических задач, геолого-морфологический анализ поверхности Луны и других тел, исследование вещества Луны и метеоритов, экспериментальное изучение поведения вещества при испарении силикатных расплавов — присоединилось еще одно: математическое моделирование магматической дифференциации и динамика геохимических циклов. Это направление пришло в лабораторию в уже сложившемся виде. Кирилл Павлович эти работы поддерживал и по мере возможности им помогал, хотя по сути ситуация была уникальной и возможной, наверное, только у Флоренского. Дело в том, что традиционные направления работ лаборатории были так или иначе нацелены на выявление эффектов ударного процесса как процесса дифференциации вещества с поверхности тел, а в этой группе занимались прямо противоположным — выявлением эффектов процессов глубинных, происходящих в недрах тел на вещество их поверхности. Это, как говорил Кирилл Павлович, был старый спор «нептунистов» и «плутонистов», только шел он (и идет) в рамках одного коллектива. Об этом, а точнее — шире, о методологии науки, о способах восприятия мира, — шли многолетние споры, нередко пылкие и темпераментные со стороны собеседников и всегда спокойно-доброжелательные со стороны Кирилла Павловича. Споры взаимообогащали. Позже, при написании «Очерков», это проявилось отчетливо: важное планетологическое обобщение о существовании на планетах двух типов корового вещества (базальтового и материкового) родилось в этой группе, но свою остропроблематичную завершенность оно получило только после неоднократных дискуссий с Кириллом Павловичем. Роль Флоренского в работе

лаборатории всегда была ведущая, но это не означает директивная. Своих «ребят» он воспитывал, мы это понимали и тогда, но делал это умело и ненавязчиво. Наверное, основной его принцип руководства — это совет, подсказка вовремя. Причем советы эти подавались настолько тактично, что в некоторых вселяли святую уверенность в полном и единоличном авторстве своей мысли, и Кирилл Павлович этого никогда не опровергал. Он не раз повторял, что совершенно неважно, кем будет высказана хорошая идея, важно чтобы она вошла в науку. Хвалить кого-либо в глаза Флоренский не любил, делал это крайне редко и, казалось, как-то всегда некстати. За глаза, наоборот, почти никого не ругал, обязательно находя в человеке какое-нибудь явное или только им замечаемое достоинство. Впрочем, и в глаза корил тоже довольно редко — тогда его обычно тихий голос становился еще тише, а голова склонялась еще ниже, и манера эта называлась «бурчанием в галстук». Однажды сотрудник с обидой сказал ему: «Что же Вы, Кирилл Палыч, меня все ругаете?». И услышал в ответ: «Бойся, когда перестану ругать, раз ругаю — значит, интересен». Но если уж Кирилл Павлович был чем-то недоволен не по мелочам, тут уж проявлялись его, как говорили, вязкоупругие свойства: он шел на многочисленные уступки ровно до того момента, когда дело не касалось главного, — дальше любые уговоры были полностью бесполезны. Прежде чем принять какое-либо решение, Кирилл Павлович много советовался с разными людьми, но если решение принято, он был тверд.

Участие Флоренского в совместных статьях — это общая постановка вопроса, длительное устное обсуждение со скрупулезным разбором конкретного материала на разных стадиях работы, умело поставленный вопрос (так умело, что иногда он стоил еще многих недель работы), в тексте расстановка акцентов на главном, неожиданные обобщения и аналогии, чаще всего в виде нескольких фраз, после которых работа начинала «играть». С ним легко работалось тому, кто способен на самостоятельность, и очень трудно тем, кто работал «от» и «до», такие в лаборатории долго не удерживались, им становилось скучно («мною никто не руководит»). А в целом, наверное, как нам

был необходим Кирилл Павлович — учитель и воспитатель, так и мы были нужны ему. На этом взаимном контакте и строилась работа.

За 70–80-е годы вышло множество статей Флоренского с сотрудниками. Это было время решения частных научных проблем, время накопления материала. Тем более что конкретная работа во многом определялась текущими космическими программами — новые доставки грунта с Луны («Луна-20», «Луна-24»), программы изучения Марса («Марс-4, 5», «Викинг-1, 2»), Венеры («Венера-8–14», «Пионер-Венера»). Основное в К.П.Флоренском как участнике этих многоплановых исследований было умение на фоне мелочей не терять главного и при этом не пренебрегать мелочами. Мы коснемся лишь некоторых из этих работ. Выявившийся факт резкого преобладания ударных явлений при формировании грунта Луны делал его той долгожданной природной моделью, на которой можно было проверять и развивать положение о дифференциации вещества в ходе ударных событий. Еще в 1965 г. Флоренский предсказывал, что геохимические последствия этих процессов должны особенно четко проявляться на безатмосферных телах, где в них не вмешиваются, как на Земле, обычные геологические процессы. Он ожидал, что в лунном грунте конденсаты газов, испаренных при ударах, будут так обильны, что их можно будет просто отобрать с помощью специального устройства, которое и было изготовлено при подготовке к первому приему грунта. Дело оказалось сложнее и тоньше. Выяснилось, что ударное плавление вообще ведет в основном к гомогенизации вещества, а эффекты процессов селективного испарения-конденсации определяются лишь по изменению состава: при ударном испарении исходное вещество теряет главные порообразующие элементы — Na, K, Fe и даже Si, в грунте накапливаются труднолетучие элементы, и состав его таким образом резко меняется (Иванов и др., 1975; Иванов, Флоренский, 1979; Флоренский и др., 1980). Природные данные подтвердили мысль К.П.Флоренского в главном — в многократных процессах ударного испарения-конденсации вещество действительно дифференцировалось.

И К.П.Флоренский называл ударный процесс процессом, пропущенным классической геологией и геохимией. И восполнение этого пробела шло не только по линии работы с веществом, но и вместе с сильной группой геологов, геоморфологов, картографов по линии изучения бесчисленных ударных кратеров на поверхности Луны, Меркурия, Марса, его спутников Фобоса и Деймоса, спутников Юпитера и Сатурна. В этом списке нет только Земли. Тезис Флоренского был таков: «Мы Землей не занимаемся, мы идем к Земле от других планет». Однако земные ударные структуры не выпадали из поля зрения совсем, они изучались на договорных началах петрографами из МГУ и физиками из Института физики Земли, в тесном контакте с планетологами. В таком сообществе К.П.Флоренский участвовал, например, в полевых работах на ударном кратере Янисъярви. Здесь, кроме острой наблюдательности, он прославился еще и большим умением в рыбной ловле, чем, кстати, очень гордился.

Некоторым итогом совместных работ по изучению ударных процессов была коллективная монография ГЕОХИ, ИФЗ и МГУ с участием К.П.Флоренского «Ударные структуры на Луне и планетах», которая вышла через год после кончины Кирилла Павловича (Базилевский и др., 1983). Она ценна прежде всего комплексным подходом к этим процессам, освещением их с различных позиций — планетологической, геологической, геохимической, физико-химической, физической. Однако насколько мало пока изучено это явление, показывает заключение книги, целиком посвященное рассмотрению важных, но неясных пока вопросов.

Другими гранями проявилась личность К.П.Флоренского в работах по Марсу. На Марсе, в отличие от Луны, преобладали уже не только ударные структуры, сказывалось присутствие вечной мерзлоты, обнаруживались многочисленные системы долин, явно созданных каким-то жидким агентом. Предполагалось, например, что извилистые долины, очень похожие на речные долины Земли, могли быть выработаны вырвавшимися из недр потоками жидкой углекислоты. Кирилл Павлович, узнав об этой гипотезе, неожиданно

твердо сказал: «Этого не могло быть». — «Почему?» — «Потому что, вырвавшись на поверхность, жидкая углекислота мгновенно превратится в сухой лед и никаких долин прорывать не будет». Мы спросили, почему он так в этом уверен, ведь вопрос здесь кинетический, неясный. «Ясный», — сказал он. — «Когда-то мы получали сухой лед, открывая кран баллона с жидкой углекислотой в пустой мешок. Через мгновение мешок был полон снегом CO_2 ». Сейчас несомненно, что долины эти выработаны жидкой водой. Экспериментатор в К.П.Флоренском жил всегда.

Конечно, Марс крайне интересовал всех возможностью существования на нем жизни. В ходе полета к нему «Викингов» с запланированной серией биологических экспериментов на стене в лаборатории висели два списка: верящих в жизнь на Марсе и не верящих в нее. Кирилл Павлович был в первом списке — «оптимистов», куда входили и те, кто ждал настоящих марсиан, и те, кому очень хотелось, чтобы было хоть что-то живое, и те, кто, как он сам, подозревали возможность существования микроорганизмов не только на Земле. «Викинги» следов марсианской биосферы не обнаружили. Но, как говорил Флоренский уже тогда, «нет» — это не значит «не было». Сейчас эта мысль лежит в основе всех будущих программ исследования Марса. Думая об этих будущих программах, К.П.Флоренский видел и еще одну — создание на Марсе искусственной биосферы. Стоит напомнить, что в эти же годы он активно работал над проблемами биосферы и ноосферы Земли. Марс, по его мнению, мог бы стать природным экспериментальным полигоном для исследования биологической эволюции — проблемы, над которой Кирилл Павлович начал размышлять еще в ранней юности.

А вот несколько штрихов из работ К.П.Флоренского по Венере. При дешифрировании первых панорам Венеры геологи обнаружили, что выходы пород как будто несут на себе следы химического выветривания (Флоренский и др., 1979). Выветривание? В инертной углекислой атмосфере? Но геохимики тут же показали, что оно термодинамически возможно, и очень этому радовались. Иным был подход К.П.Флоренского: чтобы такие химические

реакции шли, необходимо все время обновлять поверхность, а иначе первые же новообразования создадут защитную пленку, и процесс замрет. Однако на Венере практически нет ни ветра, ни перепада температур. Решение оказалось неожиданно простым: поверхность Венеры — термостат только по латерали, а по вертикали при размахе рельефа до 11 км существуют изменения и давления, и температуры (Florensky et al., 1977). Кстати, сейчас идея о вертикальном градиенте как факторе венерианского выветривания является общепринятой, в литературе она нередко упоминается просто как самоочевидный факт, не требующий ссылок на кого-либо. Геохимики поставили точку, Флоренский пошел дальше. Он добавил, что при реакциях меняется объем фаз: увеличение его наверху ведет к разрыхлению породы (там же). Вспомним, на Земле это и есть одна из главных причин разрушения древних каменных сооружений. Для К.П.Флоренского подобные ассоциации не были неожиданными, это лишь одно из проявлений так присущего ему естественнонаучного способа мышления, когда ничто не разорвано, все связано — геология, астрономия, химия, физика, планета Венера и памятники человеческой истории.

К.П.Флоренский как планетолог-практик начинал с получения новой информации об атмосфере Венеры. С тем же оказалась связанной и его последняя экспериментальная работа. Атмосферные зонды, приближаясь к горячей (~500 °С) поверхности Венеры, прекращали свою работу, и состав малых атмосферных составляющих на самой поверхности оставался неизвестным. Между тем в поле зрения телефотометров, снимавших поверхность в местах посадок, попадало опорное кольцо станции, на него можно было поставить какой-нибудь нетяжелый датчик, регистрирующий неизвестный параметр атмосферы прямо на поверхности. Что именно надо бы измерить в первую очередь — этот вопрос у Флоренского и его сотрудников не вызывал разногласий: самыми непонятными были окислительно-восстановительные условия на поверхности (разброс предсказываемых величин содержания кислорода составлял 25 порядков). Но как их определить по фотографиям? Сначала возникла мысль о цифровых датчиках — стрелка

упрется в цифру на циферблате. Однако прибор такого типа надо было еще создавать, и весить он по оценкам будет никак не менее нескольких килограммов. От этого, как и от нескольких других вариантов, пришлось отказаться. И Кирилл Павлович предложил, как он говорил, «старый, простой и надежный» способ: мерой порогового содержания кислорода будет читаемый на изображении цвет пластинки, укрепленной на опорном кольце станции.

За эту идею сразу же ухватились. Однако реализация ее была непроста. Надо было подобрать вещество, которое резко меняло бы цвет с белого на черный и обратно не более чем за 15 минут в результате только окислительно-восстановительных реакций и никаких других и при содержании O_2 , отвечающем примерно середине интервала предполагаемых значений. Найденное вещество надо было закрепить на термостойкой и химически инертной основе, с которой бы оно не обсыпалось и имело бы при этом совершенно белый цвет. Подобранную асбестовую основу надо было зажать в рамку, крепящуюся на опорном кольце, причем материал рамки не должен был реагировать ни с индикаторным веществом, ни с газами поверхности. Наконец, индикатор надо было защитить крышкой от серной кислоты облаков, и крышка эта должна была слетать на высоте около 10 км от поверхности, а чтобы на фотографии увидеть, слетела ли крышка, она по совету Флоренского была раскрашена черно-белыми полосами, как шлагбаум. Большинство вопросов решалось экспериментально на специально созданной установке, в которой через прозрачное кварцевое стекло можно было видеть изменение цвета вещества, находящегося при $500\text{ }^\circ\text{C}$ в изменяемых условиях газовой среды. Над созданием индикатора работал большой коллектив, но не было ни одного звена в этой работе, где не была бы приложена мысль К.П.Флоренского. Неудачи доводили порой до отчаяния, но Кирилл Павлович был терпелив.

И индикатор был изготовлен. Размером он примерно в ладонь и весом около 80 г. Он был настолько «бесплатным» и никому не мешающим, что, хотя его не было в согласованном списке научных приборов, устанавливаемых на данных космических аппаратах (идея его появилась после согласования этого

списка), он в нарушение строгой традиции был просто привинчен к кольцевой опоре посадочного блока перед стартом. Какова же была радость создателей, когда на панорамах «Венеры-13, 14» на опорном кольце станции мы увидели наш индикатор уже на Венере и без защитной крышки. Цвет его был черным, но, увы, черными были и набросанные на станцию при ее посадке комки грунта и пыль. Публикацию результатов задерживали, ждали данных цифровой обработки панорам. Когда она появилась, Кирилл Павлович уже не было среди нас. После снятия расчетным путем эффекта пыли получилось, что индикатор, скорее всего, действительно черный, а значит, условия на поверхности относительно восстановительные (Флоренский и др., 1983). Этот последний эксперимент Кирилл Павловича и до сих пор остается первым и единственным измерением газа прямо на поверхности Венеры.

Практическая работа К.П.Флоренского никогда не шла в отрыве от работы его теоретической мысли. В конце 70-х годов он начал понимать, что планетологического материала накопилось уже так много, что нужно остановиться, осмотреться и подумать, куда двигаться дальше, чтобы не уйти в частности, не упустить главное. Потребность обобщения накопленных данных возникала у планетологов во всем мире — например, книга «Геология Марса» (Mutch et al., 1976) насыщена результатами сравнения Марса с Луной, Меркурием, Землей, появилась обзорная работа «Введение в космическую геологию» (King, 1976). Это серьезные, добротные книги. Не удовлетворяли они прежде всего отсутствием принципиально новой целостной концепции сравнительной планетологии. Кирилл Павлович же задумал именно такую монографию, ту самую, с которой мы начали наш рассказ.

Книгу решено было писать. Причем все дружно согласились с тем, что написана она должна быть не на узкоспециальном языке, а так, чтобы быть доступной широкому кругу специалистов — астрономам, геологам, географам, геохимикам и просто любознательным школьникам-старшеклассникам (после выхода книги в свет Кирилл Павлович с большой гордостью сообщил нам, что книга понравилась биологу — «это очень важно!»).

Название книги дал Кирилл Павлович, объясняя это так, что назвать ее «Введением в сравнительную планетологию» нельзя, потому что это уже не введение, а она сама, но, с другой стороны, и назвать просто «Сравнительная планетология» тоже нельзя, потому что веет чем-то классическим, застывшим. Название «Очерки» пришло от В.И.Вернадского («Очерки геохимии») как хорошо передающее состояние развивающейся науки. Вообще от В.И.Вернадского в книгу пришло гораздо больше, чем название, — прежде всего методология и научное мировоззрение Владимира Ивановича, носителем которых всегда ощущал себя Кирилл Павлович. Много лет, с начала 60-х годов он работал с научным наследием В.И.Вернадского, занимаясь публикацией его работ, в эти годы почти все книги В.И.Вернадского выходят с предисловием и комментариями К.П.Флоренского. Нам кажется, что это постоянное общение К.П.Флоренского с В.И.Вернадским и задало «Очеркам» тот глубокий философский настрой, который привнес в нее Кирилл Павлович.

В предисловии к «Очеркам» он пишет: «Задача этой книги — не только познакомить читателя с современными знаниями о планетах, но и взглянуть на историю планет взглядом геолога-геохимика, чтобы с новыми результатами, во многом непривычными и для геолога и для астронома, призвать их к совместному решению ряда спорных вопросов, прежде всего, увидеть с этих позиций раннюю историю Земли».

Выполнение этой задачи осуществлялось таким образом. Каждый из авторов писал главу, затем шла перекидка практически всего написанного друг другу, Флоренскому, снова друг другу и снова Флоренскому. Иногда таких циклов получалось не менее трех-четырех; в конечном итоге все решалось обычно очень небольшой правкой Флоренского, которая неожиданно удовлетворяла всех. Характерный вопрос Кирилла Павловича при работе над главами: «Подумайте, ничего не пропустили? О чем забыли?». Свои главы (Предисловие, Введение, Солнечная система, Земля, Заключение) Кирилл Павлович начал писать только после того, как в общем были написаны и обсуждены все остальные и к большинству из них, по согласованию с

авторами, рукой Флоренского добавлены небольшие обобщающие вводные и заключительные абзацы. К этому моменту мы уже начали сердиться на Кирилла Павловича за то, что он «тянет» свои главы, когда книгу нужно срочно сдавать. Но тут следует остановиться на его манере писать, которую хорошо характеризует такой диалог: в ответ на жалобу сотрудника, что не пишется, ничего не получается, только бумагу переводишь, Кирилл Павлович говорил: «Значит, надо лечь на диван и подумать». — «Ну, если я лягу на диван, я сразу усну!». — «А когда проснетесь, начнете думать». Не додумав до конца, Флоренский писать не начинал. Главы свои он написал впритык к последнему сроку сдачи рукописи, но писались они почти без поправок.

Когда, казалось бы, самое тяжелое было уже позади — книга написана, она перешла в руки ее ответственного редактора Валерия Леонидовича Барсукова. Рукопись запестрела вопросами, правкой и замечаниями. По некоторым спорным моментам текст под руководством К.П.Флоренского перерабатывался неоднократно. Почти не «пострадали» части, написанные самим Флоренским. Это и понятно. Вот глава «Земля» — труднейшая, писать ее не брался никто (столько всего знаем!). У Кирилла Павловича эта глава, насквозь пронизанная духом В.И.Вернадского, поражает нетрадиционностью подхода к общеизвестным вещам. Итогом ее служит, например, парадоксальный вывод о том, что достоверное знание Земли определяется ничтожной долей, «а основные 99,5% относятся только к более или менее вероятным гипотетическим представлениям».

Гипотез Флоренский не любил, хотя всегда внимательно прислушивался к мнению сотрудника о недоказанной идее, и если на вопрос: «А Вы сами в это верите?» следовал утвердительный ответ, то через некоторое время (дни, недели или месяцы) Кирилл Павлович снова возвращался к этой мысли, обычно уже с рациональными предложениями способов ее проверки. В «Очерках» К.П.Флоренский пишет: «В своей работе авторы всячески старались в основу книги положить наблюдаемые эмпирические факты, избегая опираться на гипотетические представления». Подход К.П.Флоренского — это подход

В.И.Вернадского — не гипотезы, а эмпирические обобщения (Вернадский, 1965).

Первые эмпирические обобщения по сравнительной планетологии К.П.Флоренский изложил в Заключении к «Очеркам». В сущности, это результат развития на новом материале положений статьи 1965 г. Теперь речь шла уже не только о раннем становлении атмосферы и гидросферы, но и об образовании в этот период материковой коры планет. Еще резче звучала мысль Флоренского о дифференциации вещества по летучести, о неразрывной связи между газовой, жидкой и твердой внешними оболочками Земли и планет, образующимися в одно время: в конце аккреции планет, в ходе одного ведущего процесса — ударной бомбардировки поверхности и, возможно, в генетической связи с ней. После завершения «Очерков» Кирилл Павлович приступил к большой статье специально по этим вопросам (она была дописана уже после его смерти (Флоренский, Николаева, 1984)).

Основную мысль «Очерков» Флоренский изложил так просто и образно, что лучше ее просто процитировать: «Можно уподобить развитие планеты жизни живого организма. И тогда окажется, что общий характер их возрастных стадий аналогичен. Возможно, это есть проявление закона диалектического развития любой внутренне-организованной системы.

По представлениям астрофизики Солнечная система находится где-то в середине своего развития. Можно приравнять каждый миллиард лет жизни планеты 10 годам жизни, скажем, человека. Тогда тела астероидов, так и не сумевших развиться до стадии планет, — это мертворожденные эмбрионы, а Земля — вполне зрелый человек в возрасте около 45 лет. Мы хорошо его знаем в течение последних 10 лет и, конечно, замечаем каждую новую морщинку на его лице, но в целом он не изменился за это время. И за предыдущие 15 лет он мало изменился — это совершеннолетний субъект, который стал почти взрослым в 15 лет (еще в архее). Даже в 10 лет он уже проявляет все черты своего характера. О его детстве мы ничего не знаем, но по существу половину

всей жизненной информации он, как и всякий ребенок, получает в возрасте 2–3 года, что соответствует первым сотням миллионов лет жизни планеты».

Конечно, мы судим пристрастно, но, на наш взгляд, глубина этого образа (близкого понятию «импринтинг» в этологии) еще не до конца осознана даже в кругах планетологов, а может быть, и нами самими.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевский А.Т. и др.* Ударные кратеры на Луне и планетах. — М.: Наука, 1983, 200 с.
- Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1965, 374 с.
- Виноградов А.П. и др.* Определение химического состава атмосферы Венеры межпланетной станцией «Венера-4» // Докл. АН СССР. — 1968. — Т. 179, №1. — С. 37–40.
- Грив Р.А.Ф., Парментье Е.М.* Ударные явления как факторы эволюции Земли // Труды 27 МК. Сравнительная планетология: Т. 19. — М.: Наука, 1984. — С. 57–64.
- Иванов А.В. и др.* Некоторые проявления процессов испарения и конденсации при образовании частиц лунного реголита. Докл. АН СССР. — 1975. — Т. 221, №2. — С. 458–461.
- Иванов А.В., Флоренский К.П.* Роль испарения в формировании химического состава лунных пород // Грунт из материкового района Луны. — М.: Наука, 1979. — С. 407–412.
- Каттерфельд Г.И.* Лик Земли. — М.: Географиздат, 1962.
- Личков Б.Л.* К основам современной теории Земли. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1965, 119 с.
- Менье С.* Сравнительная геология или Геология небесных тел. С.-Петербург: Скоропечатня Я.И.Либермана, 1896.
- Флоренский К.П.* О начальном этапе дифференциации вещества Земли. — Геохимия. — 1965. — №8. — С. 909–917.
- Флоренский К.П., Николаева О.В.* О летучих компонентах и материковом веществе планет. — Геохимия. — 1984. — №9. — С. 1251–1267.
- Флоренский К.П. и др.* Тунгусское падение 1908 г. и некоторые вопросы дифференциации вещества космических тел // Тезисы докладов XX Конгресса ЮПАК. — Москва, 1965. — С. 11.
- Флоренский К.П. и др.* Химический состав космических шариков из района Тунгусской катастрофы и некоторые вопросы дифференциации вещества космических тел // Геохимия. — 1968. — №10. — С. 1163–1173.

- Флоренский К.П. и др.* Результаты геолого-морфологического анализа панорам Венеры // Первые панорамы поверхности Венеры. — М.: Наука, 1979. — С. 107–127.
- Флоренский К.П. и др.* Селективное испарение как фактор формирования состава лунных образцов // Космическая минералогия: Материалы XI съезда ММА. — Л.: Наука, 1980. — С. 7–15.
- Флоренский К.П. и др.* Очерки сравнительной планетологии. — М.: Наука, 1981, 326 с.
- Флоренский К.П. и др.* Индикатор окислительно-восстановительных условий «Контраст» на поверхности Венеры // Космич. иссл. — 1983. — Т. 21, вып. 3. — С. 351–354.
- Хабаров А.В.* Об основных вопросах истории развития поверхности Луны // Зап. Всес. геогр. об-ва. Нов. серия. — 1949. — №6, 194 с.
- Benlow A., Meadows A.J.* The production of atmospheres by impact // Meteoritics. — 1975. — V. 10, No. 4. — P. 360–361.
- Fanale F.P.* A case for catastrophic early degassing of the Earth // Chemical Geology. — 1971. — V. 8, No. 2. — P. 79–105.
- Florensky C.P. et al.* The surface of Venus as revealed by Soviet Venera 9 and 10 // Bull. Geol. Soc. Am. — 1977. — V. 88. — P. 1537–1545.
- King E.* Space Geology — An introduction. — N. Y.: John Willey & Sons, 1976, 349 p.
- Mutch T.A. et al.* The Geology of Mars // Princeton University Press, 1976, 400 p.
- Spurr J.E.* Geology applied to selenology: II. The features of the Moon. — Lancaster: Pennsylvania Sci. Press, 1945.
- Urey H.C.* The planets; their origin and development. — New Heaven: Yale Univ. Press, 1952, 245 p.