

Раннее Солнце, физические условия на ранней Земле и происхождение жизни: совместимые модели

Одним из аспектов, который активно обсуждался на коллоквиуме “Земля на ранних этапах развития Солнечной системы”, проходившем в ноябре 2016 г. в ГАИШ МГУ в рамках совместного проекта Астрономического общества и программы РАН “Происхождение жизни и развитие биосферы”, был вопрос о совместимости имеющихся теоретических моделей формирования Солнечной системы, физических условий на ранней Земле с существованием и развитием современного типа жизни. На форуме сделано 33 обзорных доклада, на которых рассматривались комплексные аспекты возникновения и развития разномасштабных объектов, – от молекулярных галактических облаков и Солнечной системы до первых клеток и современной биосферы. В данной статье сделан обзор докладов,

посвященных изучению места, времени и технологиям происхождения жизни в Солнечной системе.

Вопрос этот можно рассмотреть с двух сторон. Начальные физические условия на Земле накладывали ограничения на возможные варианты жизни (“бытие определяет сознание”), а имеющиеся на сегодня астробиологические и палеонтологические данные о ранних экосистемах позволяют отбрасывать те физические модели, которые не соответствуют факту и условиям их экспериментального подтверждения. Например, вопрос о возрасте магнитного поля Земли и температуре ранней Земли, скорее всего, будет решен, исходя из оптимальных условий существования первых белковых структур, а не из предпочтений магнитогидродинамики,

исторически занимающейся этой областью знаний. И, наоборот, из нескольких моделей возможных мест и технологий первичного зарождения жизни предпочтительнее те, которые объясняют, каким образом первые организмы противостояли сверхактивному разрушающему воздействию ультрафиолетового излучения древнего Солнца.

Изучение эволюции звездных скоплений и планет, физических условий существования раннего Солнца и Земли, а также достижения астробиологии и палеонтологии привели к тому, что к настоящему моменту гипотезы возникновения жизни отличаются от тех, что были еще 30 лет назад, по крайней мере, по четырем пунктам:

– процессы возникновения жизни могли начинаться уже на этапе образования звездных скоплений из молекулярных

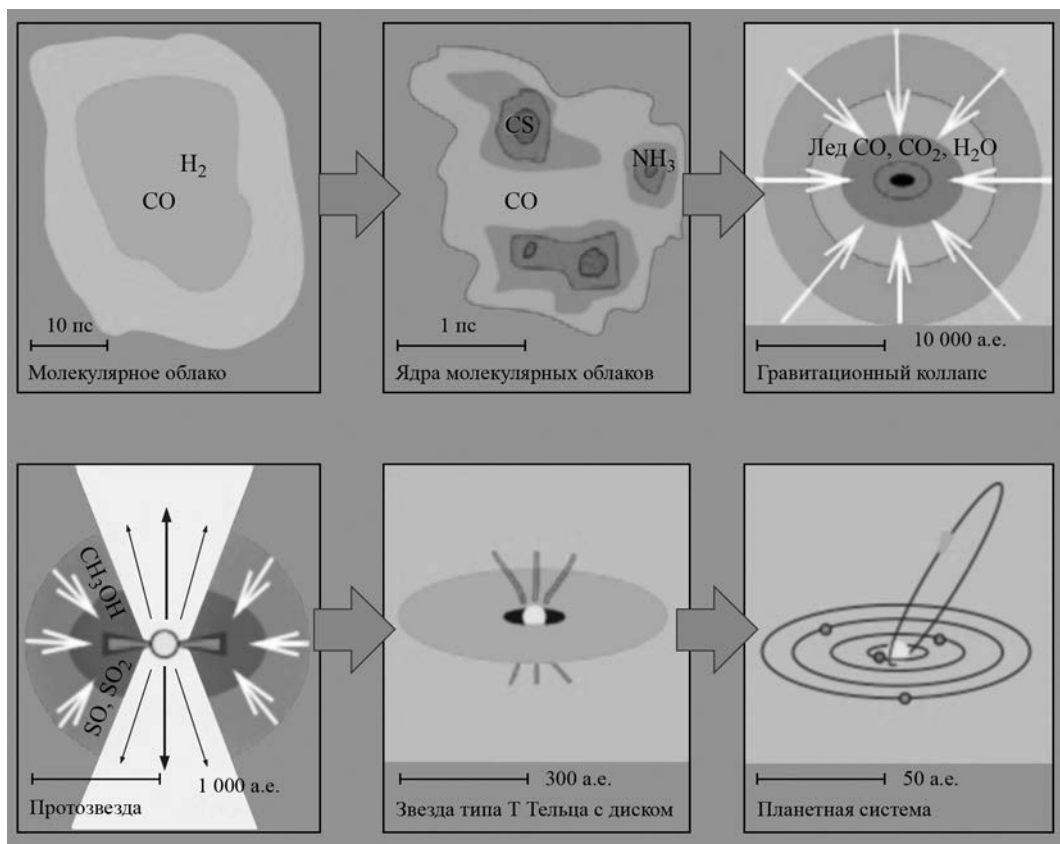
облаков; экспериментальный материал по химическому составу молекулярных облаков в межзвездном пространстве предполагает существование активного до-биологического синтеза сложных органических веществ;

– эти данные позволяют не рассматривать в качестве “конкурентов” гипотезы панспермии (занесения изначальных биологических структур из космоса на Землю; Земля и Вселенная, 2014, № 1; 2016, № 2) и зарождения

первичной жизни на Земле. Скорее всего, эти гипотезы отражают разные этапы одного и того же процесса;

– земная жизнь возникла не как отдельный биологический элемент любой степени сложности (РНК, белок или ДНК), но как сложная открытая экосистема с различными взаимодополняющими компонентами (академик Г.А. Заварзин, теория функциональных связей в геосферно-биосферной системе);

– гипотеза возникновения земных экосистем в однофазной среде (“первичный бульон”) представляется на сегодняшний день неубедительной. Все современные модели используют либо двухфазную среду (например, модель В.А. Твердислова о возникновении жизни на границе жидкой и газообразной фазы), либо трехфазную (обогащенный микроэлементами газ, вода и твердые глиняные структуры,



Базовый сценарий звездообразования. Из презентации Д.З. Вибера.

как например, в модели А. Мулкиджаняна).

ДОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Тот вариант жизни, который мы имеем на сегодняшний день, формировался в соответствии с физическими условиями на ранней Земле, 4,5–4 млрд лет назад, а возможно, – еще раньше: в протозвездном или протопланетном облаке.

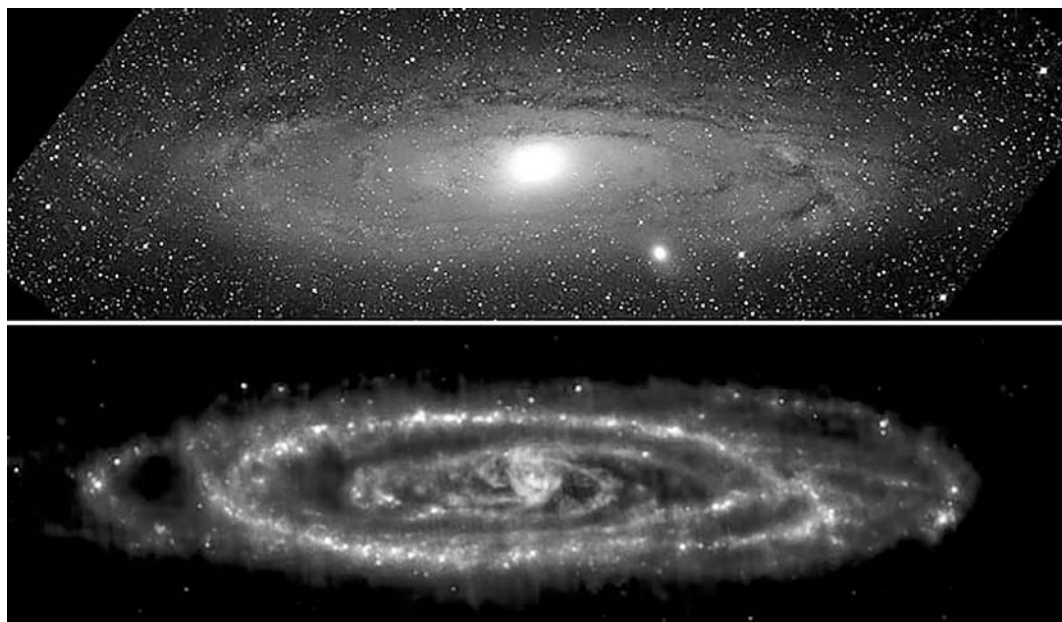
Образование Солнечной системы происходило в плотной звездной ассоциации с присутствием соседних массивных звезд, с возможностью неоднократных инъекций вещества в допланетные диски

благодаря вспышкам сверхновых звезд. Экспериментальный материал по химическому составу молекулярных облаков в межзвездном пространстве предполагает наличие активного добиологического синтеза сложных органических веществ уже в процессе формирования звездных скоплений (Земля и Вселенная, 2016, № 6).

В обзорном докладе доктора физико-математических наук **Д.З. Вибе** (ИНАСАН) о добиологической эволюции органического вещества во Вселенной было указано, что суммарная масса молекулярного газа в нашей Галактике составляет несколько

миллиардов масс Солнца (это примерно половина всей массы межзвездного вещества). Газ занимает не более нескольких процентов объема галактического диска. Наибольшие массы (миллионы солнечных масс) характерны для гигантских молекулярных облаков.

Из-за значительного содержания космической пыли внутренние области молекулярных облаков экранированы от разрушающего ультрафиолетового, жесткого рентгеновского и гамма-излучений звезд нашей Галактики, что и создает в них благоприятные условия для синтеза наблюдаемых органических молекул. В первых



Галактика Туманность Андромеды в оптическом и инфракрасном диапазоне. В ней присутствуют молекулярные облака массой – до $10^6 M_{\odot}$, размерами – десятки парсек, температурой – 10–50 К, плотностью – около 200 г/см^{-3} . Из презентации Д.З. Вибе.

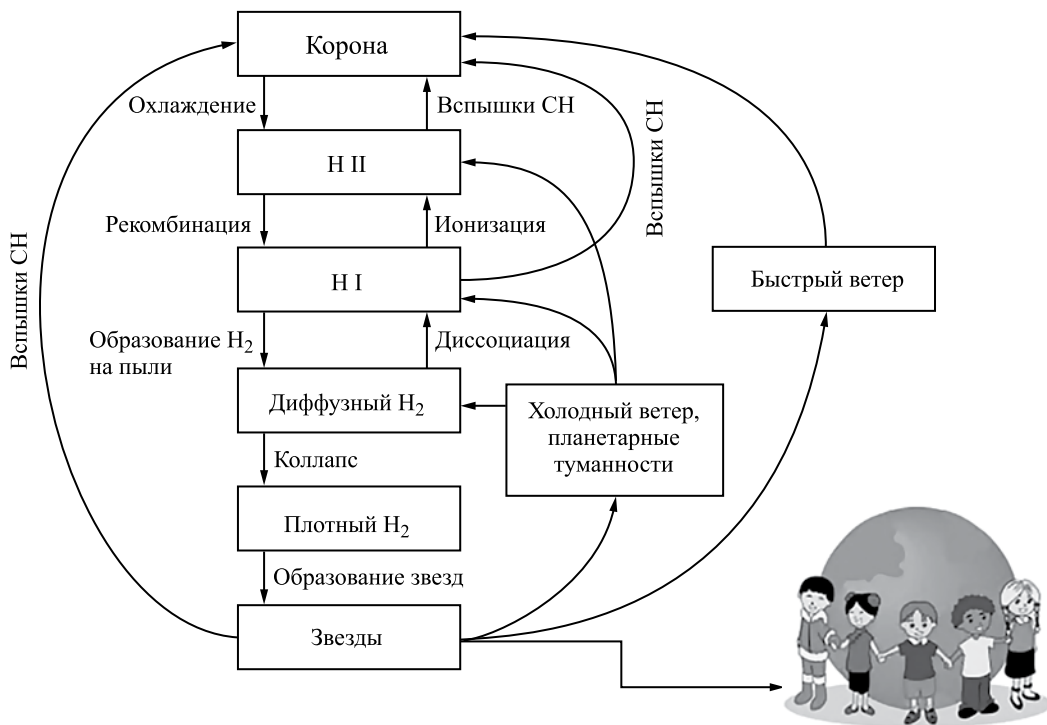


Схема круговорота вещества в межзвездной среде. Из презентации Д.З. Вибе.

моделях образование молекул в межзвездной среде связывалось с реакциями радиоактивной ассоциации (радиационного захвата простых молекул или ионов в более сложные).

Столкновение двух атомов само по себе не способно привести к образованию молекулы, однако в ряде случаев в процессе столкновения формируется слипшийся столкновительный комплекс, который успевает до распада излучить избыток энергии в виде фотона и тем самым превратиться в стабильную молекулу. В 1951 г. доказано, что в ранних

расчетах скорости этих реакций были существенно переоценены и в построенных на них моделях недооценивают наблюдаемые содержания межзвездных молекул на порядки величин. Появилась необходимость в новых объяснениях синтеза межзвездных молекул.

Предлагались разные варианты: синтез молекул на поверхностях космических пылинок с последующим испарением или в проэволюционировавших звездах с выбросом молекул в межзвездную среду; фотодиссоциация сложных молекул,

испаряющихся из углеводородных пылинок. В результате по современным представлениям ключевую роль в межзвездной молекулярной химии играют нейтральные ионы (или ион-молекулярные), и реакции между ионизованным и нейтральным реагентом, а первичную ионизацию "обеспечивают" частицы космических лучей. В межзвездном веществе присутствуют как синтез ("сборка"), так и диссоциации ("распад") молекул.

В настоящее время количество известных межзвездных и околозвездных молекул

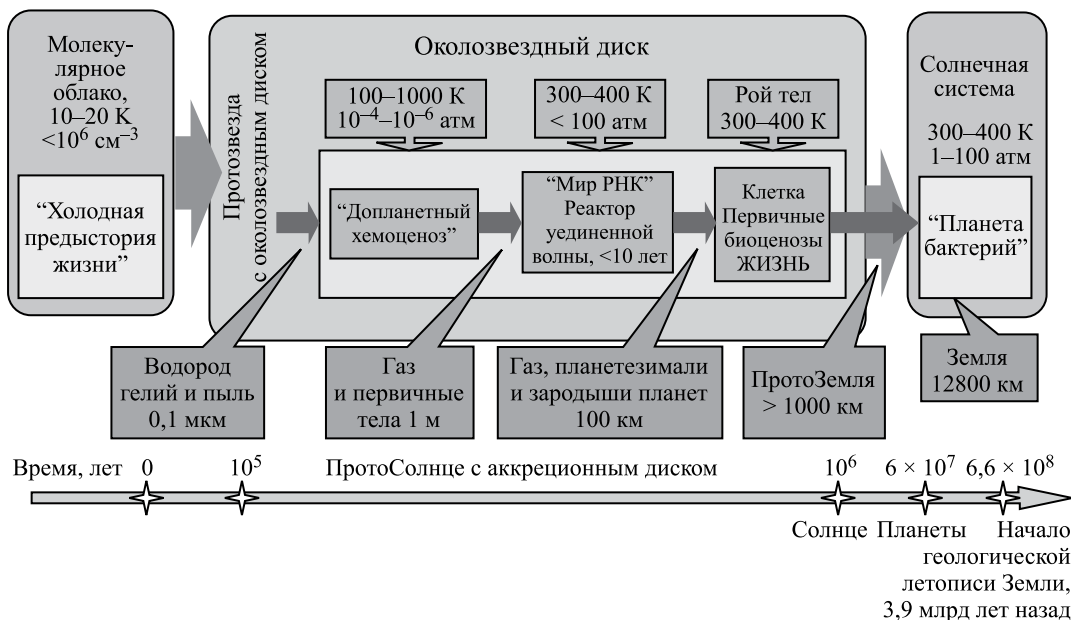
приближается к двум сотням (без учета изомеров и изотопомеров). Среди них встречаются как простые, так и довольно сложные соединения: самые большие уверенно идентифицированные молекулы состоят из 12 атомов ($\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$, $\text{C}_3\text{H}_7\text{CN}$). В межзвездной среде, несомненно, присутствуют и более сложные органические структуры – фуллерены, какие-то формы ароматических соединений. Обновляемый список экспериментально зафиксированных межзвездных и околозвездных молекул приведен на специализированном астрохимическом сайте: [http://](http://astrochymist.org/)

astrochymist.org/. В последнее время это разнообразие все чаще становится поводом для предположения о том, что органические соединения могли попадать в “готовом виде” на Землю и на другие формирующиеся планеты.

Доктор физико-математических наук **Н.Г. Бочкарев** (ГАИШ МГУ) отметил, что параметры межзвездной среды, определяющие степень проникновения галактических космических лучей, межзвездных атомов и пылинок в Солнечную систему и их влияние на Землю значительно меняются по мере перемещения Солнца из одних участков

межзвездной среды в другие. В некоторых случаях это может вызывать изменения условий, существенных для жизни на Земле.

Пока остается открытым вопрос, насколько важен был “вклад” дозвездного органического синтеза в обогащение органикой формирующихся планет Солнечной системы (в том числе Земли). Предбиологические синтезы органического вещества в протопланетных дисках, их компьютерное моделирование, наблюдение и лабораторное моделирование обсуждались в докладе “Предбиологические синтезы органического вещества в



Модель эволюции происхождения жизни: возможная самоорганизация добиологического органического вещества в протопланетных дисках и физические параметры окружающей среды. Из презентации В.Н. Снытникова.

протопланетных дисках” астрохимика, профессора **В.Н. Снытникова** (НГУ, Новосибирск). Первичную “лабораторию” по производству органических веществ, основанную на процессах самоорганизации, необходимо искать в молекулярных облаках, исходя из химических оценок процессов автокатализа биологических веществ. При образовании планет в околозвездных дисках за десятки миллионов лет происходит сжатие вещества – от разреженной газопылевой среды молекулярных облаков до конденсированного состояния среды. Сжатие вещества в дисках может сопровождаться потерей водорода и гелия, как у планет земной группы Солнечной системы. В этом случае происходит обогащение среды кислородом, углеродом, азотом и другими элементами в их космической распространенности. Эти элементы вместе с водородом составляют основу органических соединений и известной нам жизни. Сжатие вещества в дисках – процесс неравновесный, который идет с широчайшей сменой условий по давлению, температуре, плотности вещества, по воздействию излучения, и сопровождается разнообразным комплексом физико-химических реакций. Пылевидная твердая ком-

понента вещества диска, состоящая в основном из Mg, Si, O, Fe с добавками всех остальных элементов, исходно находилась в нанодисперсном состоянии. Наночастицы этого состава обладают высокой каталитической активностью в химических процессах синтеза сложных органических и предбиологических соединений. Космический реактор по давлению и температуре реагентов был близок к условиям лабораторных каталитических реакторов высокого давления. По мнению В.Н. Снытникова, начальной массы всей Земли не хватает для создания массы первичной биосферы примерно на 6 порядков (даже в предположении использования самых эффективных многоступенчатых автокаталитических химических реакций). Этап предбиологической эволюции органических молекул необходимо перенести в протопланетные диски, которые обладают нужной массой и энергией.

Успешный добиологический синтез органических веществ в присутствии метеоритов в качестве катализаторов пребиотического синтеза молекул из формамида (амид муравьиной кислоты, простейший карбоксамид) под действием ионизирующих излучений, проведенный в Объединенном институте ядерных исследований,

был представлен в докладе кандидата физико-математических наук **М.И. Капралова** (ОИЯИ, Дубна). Возможность доставки при падении метеоритов на раннюю Землю предбиологических структур обсуждалась в докладе доктора физико-математических наук **В.В. Бусарева** (ГАИШ МГУ). Эти данные позволяют не рассматривать в качестве непримиримо конкурентных гипотезу панспермии (занесения изначальных биологических структур из космоса на Землю) и гипотезу зарождения первичной жизни на Земле. Скорее всего, эти гипотезы отражают разные этапы одного и того же процесса. Молекулы – “кирпичики жизни” – могут возникать в протопланетных дисках еще на стадии слипания пылинок и образования планетезималей. В процессе эволюции диска некоторые из этих “кирпичиков” попадают туда, где могут создаться условия, подходящие для сохранения и переноса жизни (например, в рождающиеся астероиды, у которых существует фаза жидкого водяного ядра). При попадании на планету начинается новый цикл развития и адаптации жизни применительно к конкретным физическим условиям. Как показывает опыт развития Земли, иногда этот процесс бывает успешным.

Для существования любого процесса нужна энергия. У биосферы есть только два глобальных источника энергии – Солнца и земных недр. Динамика молодого Солнца и физические условия на ранней Земле, безусловно, определяли формирование земной биосферы: выбраковывая, к примеру, из формирующихся молекул конфигурации, неустойчивые к ультрафиолетовому излучению.

Возраст Солнца около 4,6 млрд лет, Земля моложе Солнца на 100 млн лет. Первыми из планет образовались газовые планеты-гиганты, собрав в себя основную массу из газопылевого облака будущей Солнечной системы. Миграция Юпитера и Сатурна по Солнечной системе остановила рост Земли и позволила ей существовать в привычном для нас диапазоне современных физических характеристик (масса, место расположения в ряду других планет, наличие магнитного поля и атмосферы). На данный момент подтверждена оценка общей длительности завершающего этапа роста Земли – около 100 млн лет от начала образования из протопланетного диска. Начало развития жизни и возникновение магнитного поля на нашей

планете, скорее всего, произошли одновременно около 4–4,2 млрд лет назад.

Молодое Солнце значительно отличалось от сегодняшнего его состояния. В обзорных докладах докторов физико-математических наук **В.А. Батурина, С.И. Аюкова** и **М.М. Кацовой** (ГАИШ МГУ, ИЗМИРАН) рассматривалась общая картина современных представлений о строении и эволюции как звезд солнечного типа, так и нашего светила в первые 0,5–1 млрд лет его существования. Примерно через 0,5–1 млрд лет после образования Солнце, вероятно, имело период вращения вокруг своей оси около 8–10 дней. В ту эпоху его активность была более высокой, чем сейчас, но менее упорядоченной. Затем установились циклы, но их амплитуды менялись: последовательности “высоких” циклов сменялись эпохами низкой активности. Электромагнитное излучение Солнца на этих этапах эволюции в оптическом диапазоне менялось незначительно, однако в мягком рентгеновском диапазоне (0,15–4 кэВ) отношение рентгеновской светимости молодого Солнца к его полной (боллометрической) светимости было в тысячи раз больше, чем в обычный максимум активности в современную

эпоху. То же можно сказать и об интенсивности солнечных космических лучей.

При отсутствии атмосферы и меньших размерах магнитосферы Земли эти виды излучения были существенными поражающими факторами, препятствующими как процессам зарождения жизни на Земле, так и процессам переноса органических молекул с планеты на планету в пределах Солнечной системы. Четыре – три с половиной миллиарда лет тому назад во вспышечной активности Солнца доминировали не импульсные явления (как в настоящее время), а более длительные события. Однако в момент крупных вспышек мощность корпускулярного излучения древнего Солнца не менее чем в 10 тыс. раз превосходила его современное состояние. Ранее 4 млрд лет назад, даже при наличии благоприятных температурных, атмосферных и литосферных условий, вновь сформировавшаяся (или занесенная с метеоритами) жизнь на Земле практически сразу погибла под действием очередного импульсного потока внешнего излучения, не успев начать инициировать процесс эволюции. Вполне вероятно, что возникновение и устойчивое развитие сложной современной биосферы

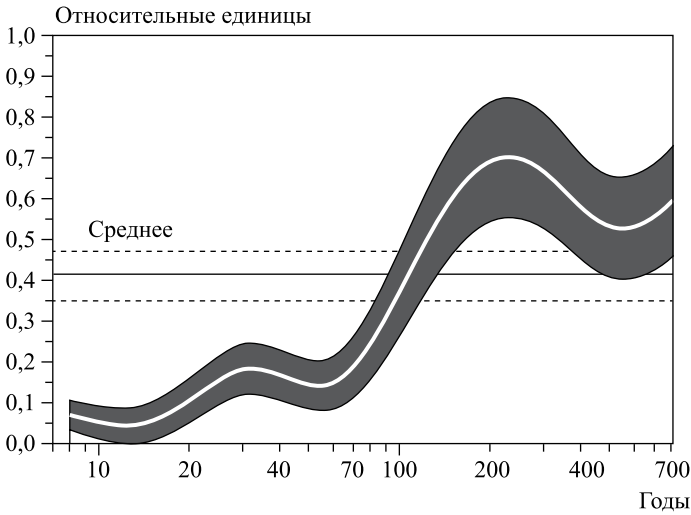


График “вклада” современной солнечной активности в климат Земли на разных временных интервалах. Центральная средняя линия – вклад в процентах, темная – интервал достоверности. Из презентации Ю.А. Наговицына.

является следствием не только появления магнитосферы и атмосферы современного типа, но и переходом Солнца к более упорядоченному и регулярному типу активности. Даже при относительно спокойном и “упорядоченном” современном Солнце “вклад” солнечной активности в климат и развитие биосферы очень велик. Как было сказано в докладе доктора физико-математических наук **Ю.А. Наговицына** (ГАО РАН, Пулковое), использовавшего несколько математических реконструкций, он (вклад) составляет в среднем $17 \pm 5\%$, причем дифференциально зависит от временных шкал: 0–25 лет – вклад солнечной активности 3–5%; 25–100 лет – $17 \pm 5\%$; 100–200 лет – вклад солнечной активности 30–40%; 350–450 лет – 50–70%; 1000–1500 лет – снижение

солнечной активности до 5–10%; 2500 лет и больше – около 50%.

При наличии очень интенсивных солнечных и галактических космических лучей еще одним защитным физическим фактором, крайне важным для развития биосферы, является наличие магнитного поля Земли. Вопрос о точном времени его возникновения до сих пор остается дискуссионным. Считается, что происхождение магнитных полей у разнообразных небесных тел (включая Землю) связано, как правило, с работой механизма динамо – происходит преобразование кинетической энергии движущейся проводящей среды, находящейся в процессе сепарации тяжелых и легких фракций, в энергию магнитного поля. Результаты палеомагнитных данных позволяют утверждать, что значения геомагнитного

поля (сравнимые с современными) отмечались уже от 4,2 млрд лет назад. При этом имеющиеся основные теоретические модели динамо Земли приводят к выводу о том, что твердое ядро Земли и композиционная конвекция, необходимые для существования магнитного поля Земли, возникли только 1–1,5 млрд лет назад. В этом состоит так называемый “геомагнитный парадокс”. Пути теоретического разрешения “геомагнитного парадокса” были предложены в докладе доктора физико-математических наук **С.В. Старченко** (ИЗМИРАН). Профессор МГУ **Д.Д. Соколов** рассмотрел вопрос: почему магнитное поле есть у Земли, но его нет у Марса, у Луны и Венеры? Проведенные им общие оценки показывают, что магнитное поле Земли, скорее всего, сформировалось в первые 10 млн лет ее существования. Отсутствие магнитного поля земного типа у Венеры логично

связать с ее медленным вращением. Отсутствие магнитного поля у Марса и Луны обусловлено отсутствием у них конвективных проводящих оболочек; имеющиеся у планет земного типа остатки магнитного поля можно объяснить наличием таких оболочек в прошлом. На этих небесных телах в первые несколько сотен миллионов лет их существования, скорее всего, присутствовала защитная оболочка, которая способна была поддержать развитие соответствующей, присущей только им, формы жизни.

МЕСТА И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ БИОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ

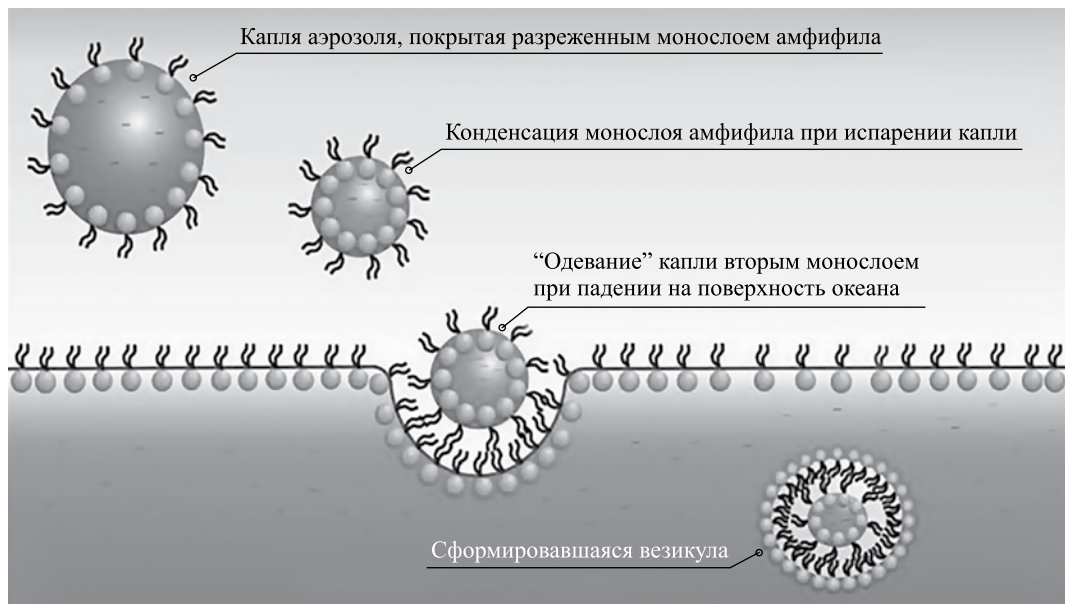
Происхождение жизни занимает одно из центральных мест в современных естественно-научных исследованиях. За последние сто с лишним лет в этих исследованиях были выработаны две основные парадигмы происхождения жизни на Земле. Одна из них, связанная с именами Опарина–Холдейна, предполагает возникновение жизни на поверхности Земли в ее первые 600–800 млн лет. Другая парадигма, связанная с именами Рихтера–Аррениуса, предполагает занесение жизни на Землю из космоса. Научно обоснованный

подход к этой проблеме был сформирован В.И. Вернадским. Из данных о наличии признаков жизни на Земле на всех этапах геологического развития им был сделан вывод о необходимости поиска места возникновения жизни в особенных условиях в космосе. На коллоквиуме было представлено два обзорных доклада крупнейших специалистов по данному вопросу: профессора МГУ В.А. Твердислова и академика А.Ю. Розанова (Институт палеонтологии).

В.А. Твердислов в докладе “Живое. От принципов к механизмам” привел аргументы, что на ранней Земле были все условия для локального зарождения жизни на поверхности первичных водных сред (около 4 млрд лет назад). Однако первичными в происхождении жизни являются не химические (или биологические) закономерности, а физические принципы симметрии и хиральности. Представления о симметрии и ее нарушениях составляют фундаментальную основу физики. Столь же важными они должны быть для понимания физических основ происхождения и эволюции живых систем. Исходная удаленность биологических структур от состояния термодинамического равновесия связана со спонтанным

возникновением в неравновесном тонком поверхностном слое морской воды двух сопряженных фундаментальных биологических асимметрий: клеточной – ионной и молекулярной – хиральной. Первая определила способность дискретных пробионтов к реагированию на внешние возмущения и их включение в биологическую эволюцию, вторая – молекулярную специфичность углеродных соединений и их иерархическое структурообразование.

В докладе **А.Ю. Розанова** “История жизни – история Земли” обсуждалась проблема верификации физических условий на ранней Земле последними астробиологическими и палеонтологическими данными. В частности, оптимальные температурные кривые для древних бактерий предполагают среднюю температуру океана не менее +40°C (сегодня это +15°C), что ставит под сомнение гипотезу “Земля–снежок” в первые 500–700 млн лет существования нашей планеты. Также благодаря исследованиям последних двух десятилетий по палеонтологии докембрия и бактериальной палеонтологии отвергается гипотеза о бескислородной атмосфере Земли в первые 2 млрд лет ее геологически документированной истории.



Одна из моделей происхождения жизни: возникновение ионной и хиральной асимметрии в неравновесном тонком поверхностном слое морской воды на границе фаз жидкость–газ. Из презентации В.А. Твердислова.

Проводилось сравнение окаменелостей из метеоритов и современных биологических форм, а также высказывалась гипотеза о необходимости рассмотрения возможного существования мира прокариотов (4,5–5 млрд лет назад), и мира РНК (до 7 млрд лет назад); для сравнения – возраст Солнечной системы оценивается в 4,6 млрд лет. Ученый отстаивает точку зрения: жизнь – это явление галактических масштабов, и время ее зарождения следует передвинуть на более раннее время по крайней мере на 1–2 млрд лет назад.

Хотелось бы подчеркнуть, что в настоящее время биологи довольно

далеко продвинулись в искусственной синтезе РНК из нуклеатидов, однако для этого процесса плохо подходит монофазная водная среда (типа первичного бульона). Из-за того, что во время реакции синтеза выделяется вода, химическое равновесие в таких средах будет сдвинуто в сторону распада длинных полимерных молекул, а не в сторону их “сборки”. Для сдвига равновесия в сторону преимущественного создания, а не распада молекул, необходимо ввести в модели сосуществующих неравновесных двухфазных водно-газообразные или трехфазные структуры. В качестве места возникновения первых

биологических объектов в современных моделях обычно рассматривают адсорбирующие поверхности различных глин (например, в работах члена-корреспондента РАН А.Б. Четверина, Институт белка РАН), взаимодействующих с водными растворами и обогащенными другими химическими элементами газами. Одновременно глиняная (или сульфидная минеральная) подложка играет роль формирующей подложки, на которой происходит “сборка” длинных органических молекул, – границы раздела термодинамически неравновесных структур и катализатора реакции.

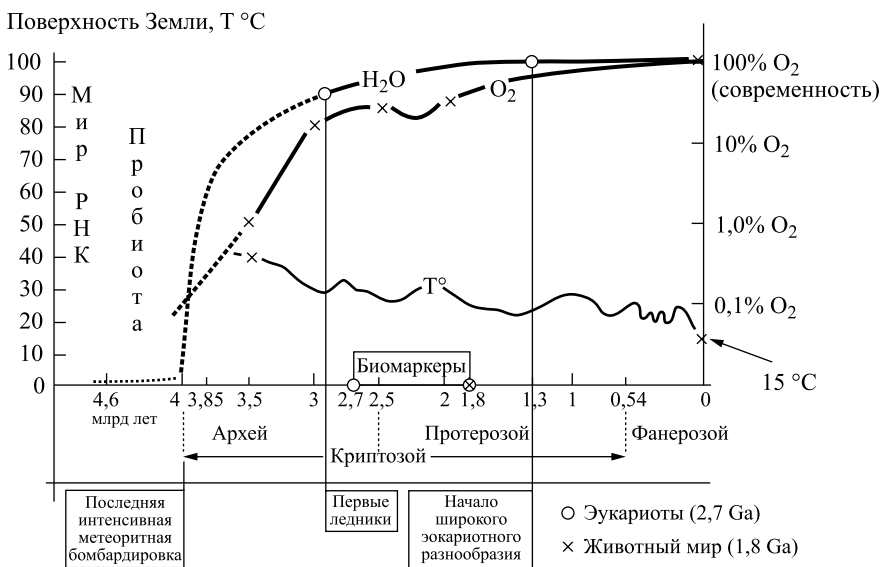


График формирования жизни в истории Земли на протяжении геологических эр. Верхняя кривая – количество воды на поверхности Земли за последние 4 млрд лет, средняя – количество воды, нижняя – температура. Из презентации А.Ю. Розанова.

В ходе дискуссии на коллоквиуме обсуждалось, являются ли углерод и вода единственными возможными “кирпичиками основ жизни” (“водно-углеродный шовинизм”) или возможно построение жизни на основе другой биохимии?

В качестве “заместителей углерода” были предложены кремний, азот и бор. При этом отмечена уникальность углерода: кремний не создает двойных связей, биохимия азота требует сверхвысоких давлений, а бор является слишком редким элементом во Вселенной. Было отмечено, что подробно этот вопрос освещен в книге М.А. Никитина “Происхождение жизни: от туманности до клетки” (2016).

По мнению автора, альтернативную биохимию можно предложить, если заменить воду на другие растворители: например, на аммиак, серную кислоту, формамид или на жидкую углекислоту. Такие условия могут присутствовать на спутниках планет-гигантов (на Европе, Ганимеде, Титане) или на экзопланетах. Еще 20–30 лет назад за идею существования биосфер на краю Солнечной системы подняли бы на смех, а сейчас специалисты всерьез ищут там жизнь.

Подробнее о физических условиях на спутниках и экзопланетах и их пригодности для жизни земного типа (или альтернативной жизни) рассказывалось в докладах

кандидата химических наук **М.Б. Симакова** (Институт цитологии РАН) и доктора физико-математических наук **В.И. Шематовича** (ИНАСАН). Гипотетический внутренний океан Титана или Европы может содержать несколько ниш, пригодных для возникновения и существования биологических систем:

- слой жидкой воды, который содержит разнообразные органические и неорганические составляющие;

- поры (каналы) различных размеров и полости с жидкой водой в нижнем слое ледяной коры;

- места криогенной активности на поверхности спутника, где внутренний водный слой реагирует с продуктами сложной

атмосферной фотохимии (в случае Титана);

– разветвленную сеть пещер и других образований, которая может быть связана как с криогенным вулканизмом, так и с воздействием приливных сил;

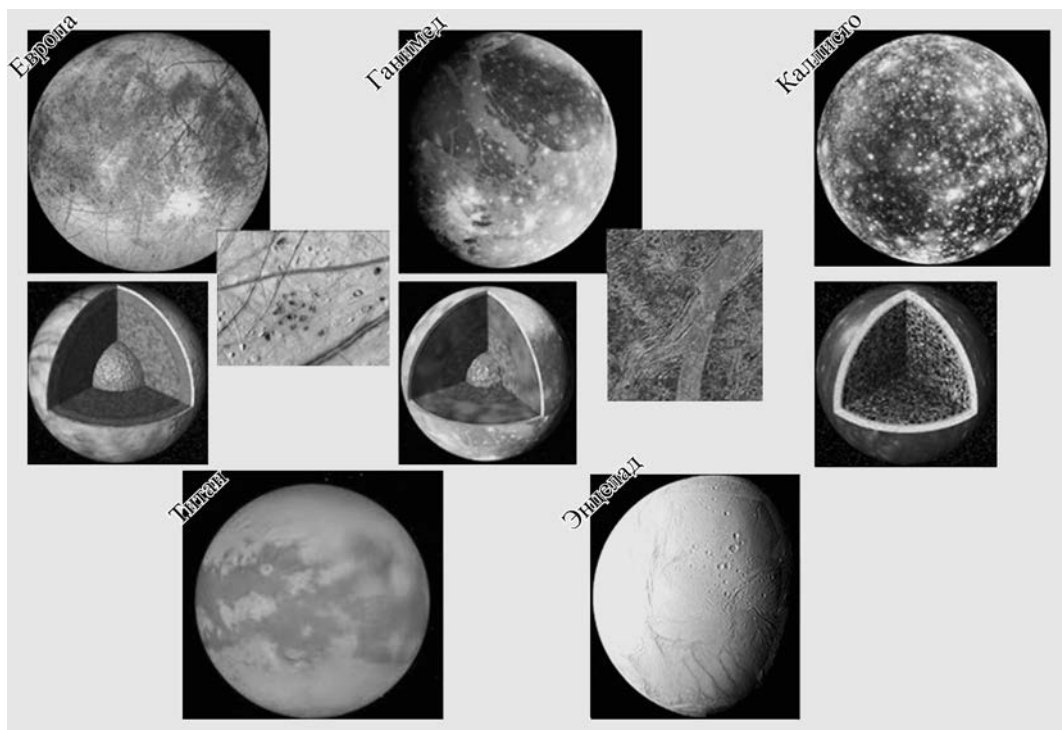
– места падений метеоритов, в которых могут образовываться значительные массивы жидкой воды, сохраняющиеся продолжительное время, до нескольких миллионов лет;

– места гидротермальной активности на дне океана. Подобные внутренние океаны могут

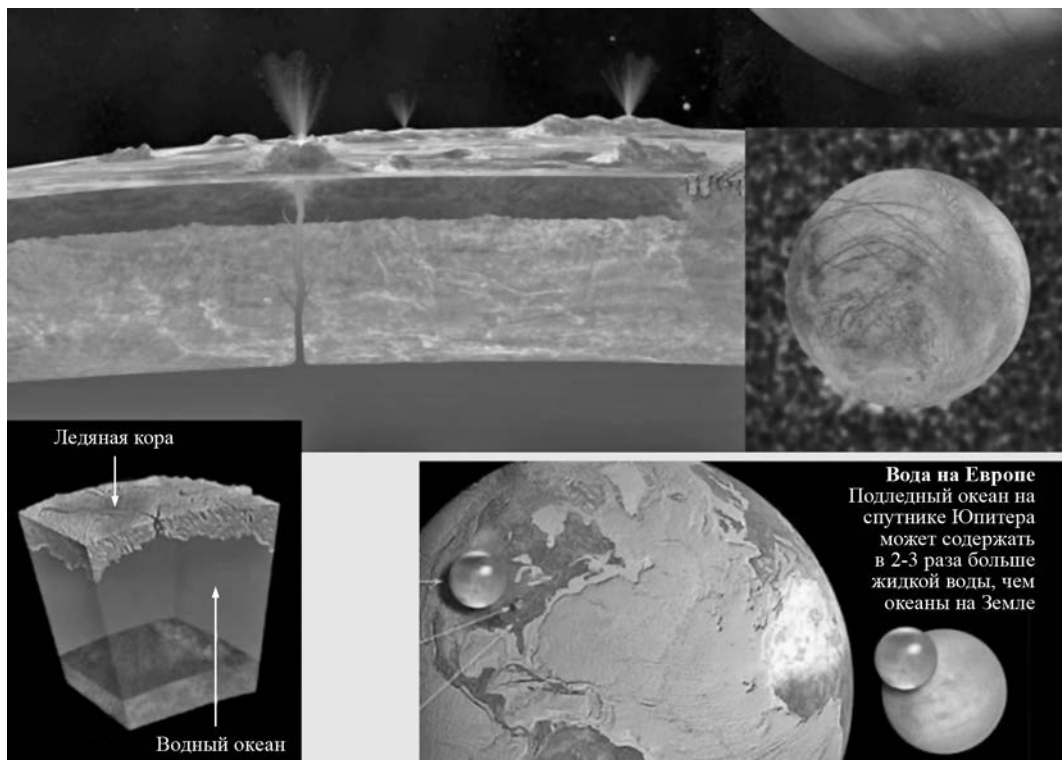
быть широко распространены во внесолнечных планетарных системах.

В докладе кандидата физико-математических наук **М.В. Рагульской** (ИЗМИРАН) говорилось о том, что многие эволюционные вехи в развитии биосферы имеют не биологическую, а физическую природу (например, возникновение многоклеточных организмов и эукариотов, а также топологически скрученных форм белков позволяет биообъектам успешнее противостоять разрушительному внешнему излучению). Формиру-

ющиеся биологические структуры и экологические системы должны были одновременно “уметь использовать” ультрафиолетовое излучение в качестве источника энергии, эффективно от него защищаться и проходить отбор на устойчивость к разрушительному воздействию излучения молодого Солнца. Сохранность древних адаптивных функций до наших дней можно объяснить необходимостью самозащиты биосферы в моменты экскурсов и инверсий магнитного поля Земли,



Крупные ледяные спутники планет-гигантов, фрагменты их поверхности и внутреннего строения. Под ледяной корой спутников находятся водоемы, где возможно существование экосистем микроорганизмов. Из презентации М.Б. Симакова.



Спутник Юпитера Европа. Вверху: слева – рисунок художника, показывающий возникновение гейзеров; справа – фото Европы с “тигровыми” полосами на поверхности (трещины в коре), через которые бьют фонтаны. Внизу: слева – строение недр, справа – соотношение запасов воды на Земле и Европе. Крупными каплями показано соотношение объемов океанической воды на Земле и Европе, мелкая капля – объем пресной воды на Земле. Из презентации М.Б. Симакова.

когда магнитосфера уменьшается и меняет конфигурацию, и на поверхности планеты резко повышается уровень губительных для клеток энергичных космических лучей и вызванного ими вторичного излучения.

Фактор наличия мощного солнечного УФ-излучения (при отсутствии защитной атмосферы современного типа), скорее всего, определял место и условия возникновения развитой земной биосферы. Благодаря

мощному УФ-излучению раннего Солнца в формирующейся биосфере одновременно происходили разные типы отбора:

- отбор стойких к УФ-излучению азотистых оснований;
- отбор нуклеотидов в комплементарные пары;
- отбор более длинных и устойчивых молекул РНК;
- отбор гомохиральных нуклеотидов (эта смесь изомеров менее устойчива к УФ-излучению, чем

изомеры с одинаковой хиральностью).

В результате существующие молекулы ДНК являются максимально устойчивыми структурами к УФ-излучению, хотя не являются единственно возможными.

Еще одна успешная адаптационная “стратегия” древних биологических структур в условиях импульсного агрессивного Солнца – это способность создавать конгломераты из различных видов биообъектов. Как

показали эксперименты на ускорителе в Дубне, сообщества из различных видов бактерий выдерживают в 10–12 раз более интенсивное облучение, чем каждый из видов в отдельности.

Об этом подробно рассказал кандидат биологических наук **В.С. Чепцов** (ИКИ РАН). Полученные результаты значительно расширяют существующие представления о радиорезистентности земных микроорганизмов, что дает основания для пересмотра существующих оценок вероятности и длительности сохранения живых организмов на планетах и телах Солнечной системы. Предполагается возможность сохранения потенциальной биосферы в приповерхностном (защищенном от УФ-излучения) слое реголита Марса в латентном состоянии в течение не менее 13 млн лет, при современной интенсивности ионизирующего излучения.

Доктор физико-математических наук **А.К. Павлов** (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН) рассмотрел проблему возможного существования микроорганизмов в поверхностном слое марсианского грунта даже не в древней, а на современной стадии эволюции Марса. Сделан анализ воздействия низкого атмосферного давления и температуры,

а также высокого радиационного фона от космических лучей на “выживаемость” бактерий и возможность их активного метаболизма. С учетом результатов проведенных лабораторных экспериментов по моделированию условий в марсианском реголите показано, что эти факторы не являются “стерилизующими” и на современном Марсе могут быть районы с сезонной биологической активностью, где реализуются условия появления жидких растворов в поверхностном слое грунта. Существующие модели колебаний климата на Марсе за счет осциллирующей наклона оси вращения предсказывают сильные колебания температуры и атмосферного давления с основным периодом в 120 тыс. лет. В докладе проанализировано их воздействие на гипотетическую биосферу поверхностного слоя реголита. Сделан вывод, что такие колебания могут периодически создавать благоприятные условия для микроорганизмов в различных районах Марса. Технически возможно обнаружение биомаркеров космическими миссиями в местах с относительно недавней биологической активностью, включая районы с сезонной эмиссией метана, или породах, недавно выброшенных на поверхность

с глубины в несколько метров (вещество “молодых” кратеров).

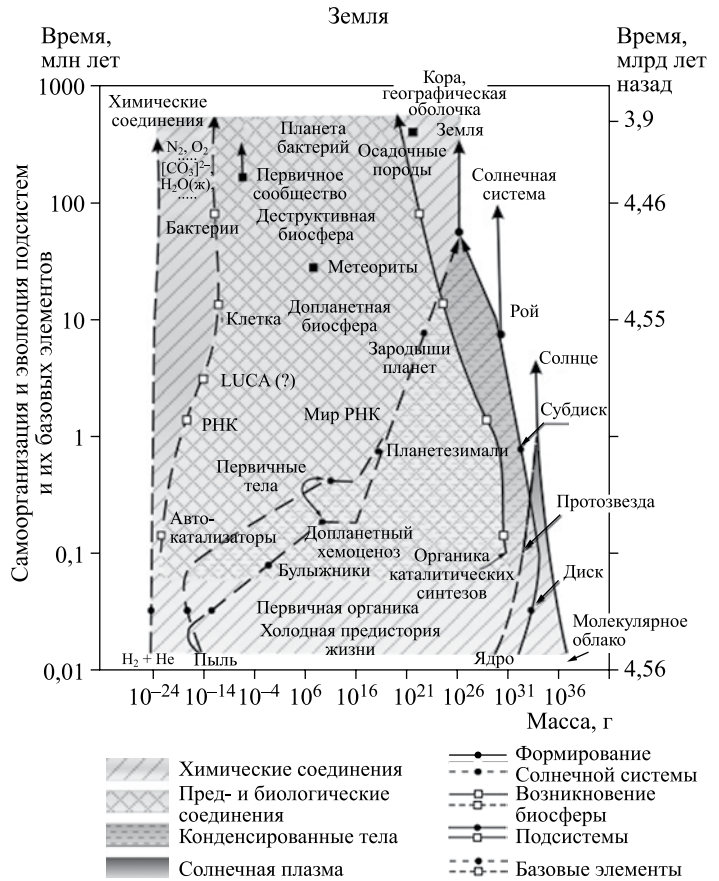
Из последних моделей происхождения не марсианской, а земной биосферы, хотелось бы обратить внимание читателей на так называемую модель “цинкового мира” профессора А. Мулкиджаняна, в которой удачно рассматриваются биохимические аспекты формирования первых клеток и экологических систем в соответствии с физическими условиями на ранней Земле и повышенной активностью молодого Солнца.

Модель рассматривает возникновение первых земных экологических сообществ в наземных геотермальных полях древней Земли, с использованием УФ-излучения в качестве источника энергии, катализатора и фактора отбора первых биологических структур. В образовании биоструктур участвуют обогащенный вулканический пар (с соотношением калия и натрия, соответствующего цитоплазме современных клеток), геотермальная вода с хлоридами натрия и железа и пористые минеральные твердые осадки в качестве катализатора и основной матрицы; присутствуют также фосфор, азот, цинк, марганец, молибден и бор, а сульфид цинка выполняет функцию защитной пленки от

Возникновение жизни в Солнечной системе. Самоорганизация и эволюция биосферы на различных пространственно-временных масштабах. Из презентации В.Н. Снытникова.

излишнего УФ-излучения древнего Солнца, что приводит к сосуществованию нескольких разных механизмов получения органических веществ из атмосферного углекислого газа и азота. Такой процесс позволяет создавать не отдельные экологические колонии первой земной биосферы в грязевых котлах древних вулканических геотермальных полей.

Еще более экзотические механизмы возможного возникновения современной земной биосферы – из полноценной допланетной биосферы в процессе формирования и развития протопланетных облаков подробно обсуждалась во втором докладе В.Н. Снытникова. В нем была представлена общая схема автокаталитической самоорганизации и эволюции допланетной биосферы в трехфазной неравновесной системе протопланетных облаков 4,6 млрд лет назад. Последующая деградация и резкое уменьшение разнообразия деструктивной биосферы периода формирования планет земной группы 4,55–4,5 млрд лет назад,



а также расцвет выживших и приспособившихся древних экосистем после 4 млрд лет назад создали современную земную биосферу.

Итак, в настоящее время места поиска жизни в ее бактериальной форме значительно расширились. Колыбелью жизни могут быть как молекулярные галактические облака и протопланетные диски, так и вулканы и океаны Земли, Марса и малых планет – спутников планет-гигантов. Эволюционно жизнеспособным является возникновение не отдельных

биологических молекул, а комплексной взаимодополнительной экологической системы на границе трех фаз вещества. Теоретические модели древней земной биосферы учитывают системообразующую роль интенсивного ультрафиолетового и рентгеновского излучения древнего Солнца. Земная форма жизни не единственно биохимически возможная. В качестве растворителя вместо воды альтернативные биологические структуры могли бы использовать аммиак, серную кислоту, формамид или жидкую

углекислоту. В связи с этим встает вопрос: сможет ли человечество идентифицировать такую жизнь как жизнь, если случайно найдет ее в космических исследованиях?

Полные видеозаписи всех докладов доступны на сайте ГАИШ МГУ.

Работа поддержана программой Президиума РАН “Происхождение биосферы и

эволюция геобиологических систем”.

*М.В. РАГУЛЬСКАЯ,
кандидат
физико-математических
наук
ИЗМИРАН*

Информация

Гигантская радиогалактика

Международная группа астрономов обнаружила гигантскую радиогалактику GRG (giant radio galaxy), связанную с триплетом эллиптических галактик UGC 9555. Она входит в более крупную группу галактик – MSPM 02158, расположенную на расстоянии 820 млн лет от нас. Эта радиогалактика, еще не получившая официального названия, имеет размер 8,34 млн св. лет (диаметр Млечного

Пути – 100 тыс. св. лет), что делает ее одной из крупнейших радиогалактик во Вселенной. Астрономы предполагают, что UGC 9555 поглотила как минимум одну большую галактику. Пальма первенства среди гигантских радиогалактик до сих пор принадлежит J1420–0545, достигающей около 16 млн св. лет.

Это – довольно редкие объекты, развивающиеся в условиях низкой плотности окружающего пространства. Для астрономов они особенно важны тем, что помогают раскрывать тайны образования и эволюции источников радиополучения. Пока ученым не хватает данных, чтобы точно установить класс этой новой гигантской радиогалактики; дальнейшие данные помогут определить

свойства этого объекта для определения его классификации.

Открытие сделано в рамках проекта MSSS (Multifrequency Snapshot Sky Survey – многочастотное изображение при обзоре неба) с помощью радиотелескопа LOFAR (Low Frequency Array – низкочастотный массив антенн), состоящего из 25 тыс. небольших радиоантенн, расположенных на территории Великобритании, Германии, Нидерландов, Франции и Швеции и разнесенных на 1000 км; работают на частотах 10–240 МГц.

*Пресс-релиз
радиообсерватории
“ASTRON”,
6 февраля 2017 г.*