

Еще раз о роли комет в процессе зарождения и распространения жизни

С. А. Язев

Астрономическая обсерватория ИГУ, Институт солнечно-земной физики СО РАН, uustar@star.isu.ru

Для многих рассуждений в рамках проблемы SETI может быть использован следующий принцип: всё, что не противоречит законам природы, может где-то и когда-то реализоваться во Вселенной. Это значит, что не бессмысленно обсуждать самые различные сценарии развития самых различных процессов. При определенных условиях они могут оказаться реалистичными. Имея в виду этот принцип, рассмотрим давно существующую гипотезу о кометах как распространителях жизни.

ONCE MORE ABOUT THE ROLE OF COMETS IN THE PROCESS OF ORIGIN AND SPREAD OF LIFE, by S.A.Yazev. Many considerations within the framework of the SETI problem can use the following principle: everything that does not contradict to the laws of nature can be realized some time somewhere in the Universe. This means that is the discussion of a great diversity of scenarios of development of very different processes is not senseless. They can turn out to be realistic under certain conditions. Bearing this principle in mind, we will consider a long-existing hypothesis of comets as spreaders of life.

1. Гипотеза панспермии и ее проблемы

Обратимся к гипотезе панспермии, первоначально разработанной столетие назад Сванте Аррениусом. Речь шла о распространении пылевых частиц, несущих некие “споры жизни”, пребывающие в анабиозе, с планеты на планету силой светового давления (опыление планет) (Гиндилис, 2004). В течение века гипотеза существенно развивалась, разными авторами рассматривались различные подробности и варианты механизмов ее реализации, включая возможность искусственного вмешательства в процесс.

Насколько можно судить, перед гипотезой панспермии изначально стояли как минимум две серьезные проблемы. Во-первых, нужно было предложить вариант обеспечения жизнеспособности спор на протяжении гигантских (вплоть до космологических) промежутков времени, требующихся для переноса в крайне жестких условиях вакуума, низких температур и сильной радиации. Во-вторых, следовало объяснить, откуда вообще берутся “споры жизни” на частицах, преодолевающих межпланетные (и межзвездные) расстояния.

Что касается первой проблемы, то за прошедшее столетие оптимизм по отношению к ней существенно вырос. Основная причина — успехи биоло-

гии, продемонстрировавшей неожиданно высокую жизнестойкость образцов земной биоты в самых разных условиях, что позволяет надеяться на высокую жизнестойкость биоты как таковой. К числу открытий, сделанных в последние десятилетия, можно отнести, например, следующие:

— обнаружены образцы жизни, замороженные во льду, с возрастом более 30000 лет (по некоторым данным, в миллионы лет), сохранившие свою жизнеспособность;

— обнаружены образцы жизни, успешно существующие при экстремальных значениях температуры, давления и радиации;

— пример американского лунного зонда “Сервейер-3” показал, что земная микрофлора может успешно существовать на Луне;

— выяснено, что условия на Марсе не препятствуют существованию по крайней мере некоторых типов земных микроорганизмов;

— доказано, что перенос вещества между планетами возможен (фрагменты пород Марса и Луны обнаружены на Земле);

— оказалось, что перенос вещества кометами, видимо, возможен (есть свидетельства наличия водяного льда на полюсах Луны и Меркурия);

— появились косвенные подтверждения в пользу гипотезы о том, что перенос межзвездного вещества существует (его могут осуществлять дрей-

фующие планеты-скитальцы в межзвездном пространстве, метеороиды с высокими скоростями, кометы с гиперболическими траекториями).

Идея о важности роли комет и кометного вещества (метеорных потоков) для переноса жизни в форме микроорганизмов также существует давно. В СМИ даже обсуждалось объяснение быстрого распространения эпидемий гриппа массивным вбрасыванием вируса в атмосферу метеорными частицами. Кометы по многим признакам лучше всего подходят на роль переносчиков живых организмов: они наиболее мобильны, их огромное количество. Кроме того, кометные орбиты с большими эксцентриситетами позволяют осуществлять эффективную транспортировку спор внутри планетной системы.

Когда же выяснилось, что некоторые кометы движутся по гиперболическим траекториям и была выдвинута гипотеза об облаке Оорта как древнем резервуаре кометных ядер, стало очевидно, что нет принципиальных препятствий и для их межзвездных перемещений. В результате многочисленных кометных ядра и порождаемые ими метеорные потоки стали рассматриваться как основные переносчики жизни. Многие авторы прямо либо неявно утверждали, что спора жизни, находясь в анабиозе и скрытая в порах пылинки кометного вещества, может быть эффективно защищена от смертоносных космических излучений и в состоянии перенести длительный межпланетный (межзвездный) перелет.

Эти соображения означают, что ограничения на успешный длительный перенос микроорганизмов не столь существенны. Если на комете каким-то образом окажутся микроорганизмы, она может успешно доставить их на планету с подходящими условиями для развития.

Что же касается второй проблемы, то здесь ситуация всегда выглядела менее оптимистичной. Как на ядре кометы может оказаться жизнь? Механизм, предложенный Жюлем Верном в одном из его фантастических романов (комета, коснувшись Земли, захватывает героев романа и, совершив полный оборот, благополучно доставляет их обратно (Верн, 1957), всерьез рассматривать не приходится. По-видимому, лишь в крайне редких (специально организованных?) случаях можно сконструировать условия, когда ядро кометы по касательной проходит верхние слои атмосферы планеты, захватывая аэрозольные частицы с образцами биоты и уходит к другим планетам, но вероятность такого механизма представляется крайне низкой (хотя и ненулевой).

В настоящей работе предлагается обсудить вопрос о зарождении жизни на самих кометных ядрах. Если возникновение жизни на кометах ока-

жется возможным, надежда на эффективность кометной панспермии, безусловно, должна существенно укрепиться.

2. Кометные ядра и возникновение жизни

Космические исследования на протяжении двух последних десятилетий позволили получить новые данные, которые существенно уточняют и частично изменяют наши представления о кометах, хотя многие установленные свойства кометных ядер предсказывались и ранее.

Приведем краткий обзор экспериментальных исследований нескольких комет.

1. Комета Borrelly. По данным аппарата "Deep Space 1", пролетевшего 22 сентября 2001 г. на расстоянии 2171 км от ядра, водяного льда на его поверхности нет. Лед, по-видимому, испарился, осталась корка из твердых частиц, покрывшая нижележащий водяной лед, сухая и горячая (температура — до $+70^\circ\text{C}$). Цвет корки — черный, как у тонера для ксерокопирования (Копик, 2002).

2. Комета Вильда-2 изучалась аппаратом "StarDust" (2 января 2004 года) с расстояния 236 км. Обнаружены горы, утесы (до 100 м), кратеры, впадины, трещины глубиной до 150 м. Отмечены как уплощения дна у кратеров, так и углубления в центре. Ядро продемонстрировало высокую активность — были обнаружены три мощные струи пылевых частиц, извергаемых кометой (Герасютин, 2005).

3. Комета Темпеля-1 в июле 2005 г. исследовалась аппаратом "Deep Impact", осуществившим анализ результатов столкновения массивного ударного устройства с ядром кометы (Beasley, Tune, 2005). Ядро, как оказалось, имеет очень рыхлую структуру, оно мягче, чем сугроб порошкообразного тонкоструктурного снега. Был сделан вывод, что мелкие частицы изначально содержались в ядре (не были продуктом столкновения с ударным устройством) (Kauff et al., 2005).

Одним из наиболее интересных результатов можно считать обнаружение при спектральном анализе выброшенного плюма "гигантского количества" (Beasley, Tune, 2005) углеродсодержащих молекул. Это открытие показало (подтвердило), что кометы содержат существенное количество органического вещества (HCN , $(\text{CH})_x$, CO_2 , CH_3CN , (Kauff et al., 2005)).

Внутренняя часть кометы оказалась хорошо защищенной от солнечного нагрева. Данные, полученные в ходе миссии, указывают, что ядро очень пористое. Теплу нелегко проникать в недра: лед и другие вещества в глубине ядра могут оказаться

неизменными со времен формирования Солнечной системы, как и предполагали многие исследователи.

Обнаружены эмиссионные полосы воды, испарившейся в результате нагрева при ударе через несколько секунд, — полосы поглощения от частиц льда, выброшенных на поверхность (Beasley, Tune, 2005).

4. Комета LINEAR. Наземные наблюдения показали, что изотопный состав ядра сходен с составом земных океанов. Этот результат может рассматриваться как довод в пользу тезиса о заносе воды на Землю именно кометами (Лисов, 2005).

Каковы условия в ядрах комет с точки зрения возможности возникновения жизни? Мы будем обсуждать проявления жизни, построенной на тех же принципах, что и земная жизнь. Для нее необходимым условием является, по-видимому, наличие некоего набора органических веществ, воды, определенный диапазон температур, специфические внешние условия (включая, вероятно, электрические разряды, процессы перемешивания разрывов и т.д.). Достаточные условия остаются неизвестными.

1. Наличие органических веществ на кометах известно давно. Эксперимент “Deer Impact” подтвердил эти данные. Очевидно, что органика присутствует в ядрах повсеместно — не только на поверхности (здесь просто выше концентрация органических соединений из-за вытаивания и испарения водяного льда с поверхности в перигелиях орбит), но и в недрах.

2. Внешние слои ядра кометы должны быть устроены особым образом из-за постоянных бомбардировок микрометеороидами с характерным размером от 1 мм. Очевидно, что при попадании в ядро должно происходить скалывание льда и внедрение частиц в снеговые массы кометы (прошивание). В недрах ядра должно быть огромное количество полостей различных размеров, внутренних треков. Эти полости могут содержать пузырьки газа.

Давно известен факт активности кометных ядер: извержение пылегазовых джетов говорит о неоднородностях внутри ядер. Возможно, имеет смысл говорить о наличии “локальных внутренних атмосфер”, или эндоатмосфер — газовой среды в замкнутых полостях. При этом можно ожидать существования заметных градиентов давления газа в соседних полостях.

Если на силикатной поверхности Луны при падении метеороидов образуются стеклоподобные шлаки (слой каменистого грунта взрыхляется, образуя реголит), то при попадании метеороидов и микрометеороидов в снеговые и ледяные глыбы кометных ядер внутренние треки делают вещество

пористым. Это означает, что в недрах ядер должны существовать трещины, каверны, туннели, полости разных масштабов. Динамические нагрузки во время пролета вблизи крупных планет Солнечной системы, а также импактные события могут приводить к сдвигам ледяных пластов, динамике трещин, электрическим явлениям в ледяной толще, способным инициировать химические реакции с образованием разнообразных органических соединений.

В случае существования локальных зон повышенной температуры в недрах ядра (о температуре позже), в полостях может присутствовать даже жидкая вода — преимущественно в форме водяных пленок на стенках. Здесь могут оказаться растворы органических веществ в виде капель и пленок. Вероятно, существенны капиллярные явления. Границы таких полостей могут приобретать новые физические свойства. Этими свойствами должны обладать ледяные слои, которые, в отличие от мелкозернистого снега, могут трескаться и колотиться при динамических нагрузках под воздействием импактных событий и гравитационных ускорений вблизи больших планет.

В результате могут быть созданы условия для возникновения простейших форм жизни, либо, как минимум, для появления предбиологических органических соединений.

3. Проблемой является то, что ядро должно иметь температуру, близкую к 0°C и выше. Как правило, сохраняется классическое представление о кометах как о мерзлых ледяных ядрах с температурой существенно ниже этой точки. Тем не менее вероятно, что локальная температура в кометных ядрах может быть более высокой.

Во-первых, как показали исследования кометы Borrelly, ее темная поверхность с коркой из предположительно органических веществ и силикатов нагревается (по крайней мере иногда) почти до +100° C. Очевидно, существует некий подповерхностный слой под этой коркой, в котором можно обнаружить необходимые для образования предбиологических соединений (а возможно, и биологических объектов) температуры. По-видимому, в замкнутых полостях, трещинах и кавернах вблизи от поверхности ядер могут наблюдаться замкнутые объемы с жидкой водой вблизи точки заморзания и даже с более высокими температурами. Здесь же могут присутствовать различные растворы и органические бульоны.

Во-вторых, не противоречат законам природы, а значит, возможны, как и в земной коре, зоны локального нагрева за счет отдельных тяжелых радиоактивных частиц и их конгломератов, захваченных из вещества первичной туманности. Такие частицы могут создавать в теле ядра кометы кап-

ли расплава вокруг себя. В растворе такие частицы должны оседать в направлении силы тяжести, тем самым сближаясь, объединяясь и усиливая локальный эффект нагрева.

В-третьих, нагрев может обеспечиваться импактными событиями, а также процессами трения и сдвига снеговых и ледяных пластов при динамических нагрузках вблизи планет-гигантов. Низкая теплопроводность вещества ядра может способствовать длительному сохранению высоких температур в зонах локального нагрева.

В-четвертых, подходящие термические условия могут постоянно обеспечиваться для целой популяции короткопериодических комет при прохождении перигелиев, либо имеющих орбиты с низкими эксцентриситетами в зоне планет земной группы и главного пояса астероидов.

В результате можно утверждать, что, по крайней мере для части популяции кометных ядер, вполне реально выполнение необходимых начальных условий, которые могли бы обеспечить возникновение жизни (наличие водных растворов органических веществ). Дополнительные факторы (импактная или сдвиговая электризация, динамические нагрузки, потоки газа в туннелях и т.д.) должны разнообразить условия, при которых может возникать жизнь. Столкновения кометных ядер с планетами, соответственно, способны приводить к “посевам” жизни на планетах.

3. Кометные ядра и распространение жизни

Если в формуле Дрейка рассматриваются планеты, которых только на примере Солнечной системы должно быть на много порядков (по отдельным оценкам в миллиард раз) меньше, чем комет, то, очевидно, что вероятность зарождения жизни с учетом кометной компоненты значительно увеличивается. Отметим, что на самом деле мы можем только предполагать, как возникает органическая жизнь, и отталкиваться от существующих гипотез.

Все указанные гипотезы, включая теорию Опарина, требующую наличия питательного бульона и влажной поверхности, могут, с точки зрения автора, работать и в недрах комет. При этом для образования жизни, по-видимому, нужны периодические (регулярные) динамические воздействия, “встряски” — вариации температуры, давления, действие электрических сил, химические реакции и т.д. Все эти условия могут быть обеспечены в короткопериодических кометах.

Выше уже отмечалось, что кометы, как резервуары со спорами жизни, одновременно являются наиболее мобильными объектами, способными су-

щественно менять параметры движения под воздействием массивных планетных тел, и сталкиваться с последними, доставляя на их поверхность (выбрасывая в их атмосферы) споры жизни.

Дальнейшее развитие существенно зависит от условий на планете. Пребывание на поверхности Луны или Меркурия, скорее всего, убийственно для жизни ввиду мощной солнечной радиации. Тем не менее, внедрение “спор” жизни в недра Луны и Меркурия на глубину уже нескольких метров, вероятно, позволило бы этим спорам сохраниться. Кроме того, экзотические места типа ударного бассейна Айткена на южном полюсе Луны могут явиться контейнерами, где в ледяных пластах из вещества упавших кометных ядер сохранились споры жизни.

Большая разнородность условий на поверхности Марса, по-видимому, также может обеспечить возможность как минимум для локального сохранения жизнеспособных микроорганизмов. Во времена влажного и теплого климата жизнь на Марсе вполне могла существовать. В эпоху посткатастрофного развития возможно существование анабиозных спор в недрах коры Марса (в вечной мерзлоте). В то же время вблизи возможных ареотермальных источников, на большой глубине, вблизи водоносных горизонтов или нефтяных месторождений возможна и активная жизнь.

Вероятность существования жизни на спутниках Юпитера также представляется ненулевой. В частности, помимо зарождения собственной жизни в соленом водяном океане Европы (а возможно, и Ганимеда), сюда могли быть доставлены споры при падении кометных ядер, способных проломить ледяную кору. Активные вулканические и электромагнитные процессы на Ио также могли оказаться важным фактором в формировании жизни.

По-видимому, микроорганизмы могут существовать и в определенных слоях атмосферы Юпитера, опять-таки будучи доставленными сюда кометами.

В случае Земли мы, по-видимому, имеем редкий вариант выполнения набора комфортных условий для развития гигантских многоклеточных форм жизни на поверхности планеты. Это связано, скорее всего, с подходящим температурным режимом, защитными свойствами атмосферы, наличием гидросферы, слабыми вариациями условий за счет приливных эффектов и относительной их стабильностью вследствие малого эксцентриситета орбиты. Жизнь вполне могла быть доставлена на поверхность Земли кометами (хотя могла образоваться и самостоятельно).

4. Обсуждение существующих проблем

Рассмотренная концепция, несомненно, сталкивается с большим количеством трудностей. Одна из трудностей — преимущественно низкие температуры в ядрах долгопериодических комет и краткое время жизни короткопериодических комет. На холодных, удаленных от центральной звезды кометных ядрах при температурах, близких к абсолютному нулю, трудно представить себе реализацию биологических (и даже предбиологических) процессов. С другой стороны, прогретые активные ядра близких к звезде комет существуют ничтожное время, и вероятность возникновения жизни за краткое время (порядка сотен лет) представляется столь же ничтожной.

Эти возражения выглядят, с точки зрения автора, серьезными, но не катастрофическими для гипотезы в целом.

Для большинства комет указанные соображения вполне правомерны. Однако примеры исследованных во время космических миссий комет показывают, что в планетной системе существует зона, где одновременно достигается и вполне приемлемая температура поверхности ядра, и возможно длительное его существование. Для Солнечной системы — это зона в области пояса астероидов. Низкое альbedo поверхности ядра позволяет ей нагреваться даже вдалеке от Солнца. Многочисленные наблюдения проявлений активности кометных ядер (газопылевые выбросы, резкие изменения яркости) вдалеке от перигелиев орбит на гелиоцентрических расстояниях, сравнимых с радиусом орбиты Сатурна, указывают на мощные динамические процессы в недрах ядер, которые должны быть обусловлены наличием относительно высокотемпературных зон.

Таким образом, даже после исключения множества “мертвых” во всех смыслах комет, остается множество потенциально биогенных кометных ядер, число которых на многие порядки превышает количество крупных планет. Статистические эффекты должны в таком случае привести к заметному вкладу комет в процессы образования и распространения жизни.

Возвратимся к возражению, которое заключается в том, что для образования жизни должно пройти очень много времени даже при наличии необходимых условий. Мы уже отметили, что некоторые кометные ядра на круговых орбитах и больших расстояниях от звезд могут существовать очень долго. С другой стороны, соображение о длительности предбиологической фазы развития органики перед возникновением первых организмов основано на единственном известном примере

земной жизни и психологических стереотипах. Заметим, что знаменитый опыт Г.Юри и С.Миллера продемонстрировал, что предбиологическая фаза жизни может быть пройдена за мгновение в результате иницированных электрическим разрядом химических реакций в среде, содержащей простейшие молекулы с углеродом (Гиндилис, 2004). Не исключено также, что необходимые для появления биологических объектов молекулы образуются уже в расширяющейся оболочке сверхновой, и поэтому могут изначально попасть в вещество ядер комет и надолго сохраниться там (в отличие от вещества планет земной группы, проходящих стадию расплава и дифференциации).

В целом, основная идея данной работы — необходимость преодоления стереотипов. Практика астрономических исследований показывает, что в сложных системах неизбежно реализуется громадное разнообразие локальных параметров. Поэтому, по-видимому, нельзя считать кометы исключительно холодными и мертвыми. То же, видимо, относится к астероидам, крупным спутникам планет, объектам пояса Койпера и т.д. Весьма вероятно, что значительное количество кометных ядер действительно “лишены признаков жизни”. Однако многие кометы, с точки зрения автора, могут оказаться носителями зародившихся здесь “спор жизни”.

Известна знаменитая фраза Эддингтона о простоте устройства звезд. Тем не менее, только процессы генерации магнитных полей в конвективной зоне приводят к образованию, например, на Солнце, сложнейших структур, к явлениям и процессам, моделирование которых очень далеко от завершения. Сложнейшие процессы в атмосфере, гидросфере и литосфере Земли также не поддаются детальному воспроизведению, при этом разнообразие и огромное количество параметров, описывающих геосистему, поражает воображение. Судя по всему, аналогичная ситуация наблюдается и на Марсе, и на спутниках Юпитера, и кометные ядра не будут исключением. Гигантское разнообразие природных условий может неожиданно привести к образованию жизни там, где мы ранее не могли себе это вообразить.

По-видимому, в ближайшие десятилетия можно будет экспериментально проверить изложенную концепцию. Изучение вещества кометного льда в кратере Айткена на южном полюсе Луны позволит исследовать предположительно находящиеся здесь органические соединения, а возможно, и образцы погибшей либо “спящей” жизни.

Список литературы

- Верн Ж., 1957, В дни кометы. Собрание сочинений,
М.: гос.изд. худ.лит-ры, т.12
- Гиндилис Л.М., 2004, SETI: поиск Внеземного разума.
М.:Изд-во физ.-мат. лит-ры, 648 с.
- Герасютин С.А., 2002, Земля и Вселенная, No 2, с. 60
- Копик А., 2002, Новости космонавтики, No 6, с. 38
- Лисов И.Н., 2005, Новости космонавтики, No 5, с.47
- Beasley Dolores, Tune Lee, 2005, NASA's Deep Impact
adds color to unfolding comet picture. NASA RE-
LEASE: 05-248, 2005, 6 September
- Kauf H.-U. et al., 2005, Deep Impact at ESO Telescopes.
The Messenger, No 121, September 2005, p.11