

2

Проект «Катализ»: о возможности целенаправленного распространения разумной жизни в Галактике

Д. А. Новосельцев

В статье рассматривается возможность распространения биологической жизни, разума и современной культуры в Галактике в автокаталитическом режиме с использованием современных и перспективных технических средств. Предлагается ускорение биогенеза в протопланетных дисках путем внесения в них биокатализаторов группами простейших зондов с солнечными парусами. Предлагается последующее размещение на периферии формируемых экзопланетных систем групп простейших зондов с солнечными парусами, используемых как носители информации.

Ключевые слова: разумная жизнь, культура, катализ, биокатализаторы, протопланетный диск, экзопланеты, солнечные паруса, космические цивилизации, МЕТИ, носители информации, эволюция.

Перспективы дальнейшего развития разумной жизни во Вселенной, включая современное человечество и его возможные последующие формы, в значительной степени зависят от средней плотности распространения жизни вообще и разумной в частности, то есть формально в масштабах Галактики – от значений множителей f_b, f_i, f_c известного уравнения Дрейка:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L,$$

где N – количество технологически развитых космических цивилизаций (КЦ), способных к тем или иным формам контакта;

R^* – количество звезд, образующихся в год в Галактике;

f_p – доля звезд, обладающих планетами;

n_e – среднее количество планет (и спутников) с подходящими условиями для зарождения цивилизации;

f_l – вероятность зарождения жизни на планете с подходящими условиями;

f_i – вероятность возникновения разумных форм жизни на планете, на которой есть жизнь;

f_c – отношение количества планет, разумные жители которых способны к контакту и ищут его, к количеству планет, на которых есть разумная жизнь;

L – время жизни технологической КЦ.

Эволюция 9 (2018) 32–42

Рядом авторов (Панов 2013 и др.) обосновывается возможность качественного перехода к более высоким формам организации материи по сравнению с понятием «разумная жизнь» при достижении определенной плотности КЦ и достаточно интенсивного взаимодействия между ними. Формы такой организации могут быть различны – от образования единого «галактического культурного поля» (Там же) до локализации КЦ в искусственных звездных скоплениях и последующего межгалактического взаимодействия между ними (Novoseltsev 2017b).

Однако существующие оценки, полученные аналитическим путем на основе прогноза значений некоторых множителей уравнения Дрейка в его различных формах либо по иным моделям, представляют достаточно пессимистические ожидания распространенности КЦ. Средние расстояния между существующими КЦ могут составлять порядка десятков килопарсеков (Anchordoqui *et al.* 2017), что исключает какое-либо реальное взаимодействие между ними.

Оценка может измениться при переходе от естественно-научной парадигмы к инженерной, предполагающей активную деятельность пусть даже малочисленных и значительно удаленных в пространстве и времени КЦ по целенаправленному преобразованию окружающей среды. Важно, что для значительного влияния на распространение высокоорганизованных форм материи для индивидуальных КЦ подобная деятельность в целом должна носить альтруистический характер, так как ее результаты проявляются на интервалах времени геологического или космологического масштаба, значительно превосходящих горизонт планирования для каких-либо прагматических задач. Однако, как будет показано далее, подобная деятельность также может иметь определенный прагматический смысл как для КЦ, так и для ее индивидуальных представителей.

Как характерный пример подобной современной программы искусственной панспермии можно рассматривать в первую очередь проект «Генезис» профессора К. Гроса из Института теоретической физики Университета имени Гёте во Франкфурте-на-Майне, Германия (Gros 2016). Проект предполагает отправку к обнаруживаемым экзопланетам земного типа сложных автоматических зондов, оснащенных энергетическими установками, специализированным искусственным интеллектом и оборудованием для биологического синтеза. Предполагается, что, достигнув соответствующей цели, зонды проводят детальный анализ среды и методами синтетической биологии создают оптимальные для колонизации данных экзопланет биологические виды. В качестве маршевых двигательных установок Грос предлагает использовать лазерные паруса, аналогичные разрабатываемым для скоростных сверхлегких зондов в проекте Breakthrough Starshot, и, возможно, с использованием той же стартовой инфраструктуры, а в качестве тормозного устройства – один из вариантов магнитного паруса (magsail) (Gros 2017).

Реализация проекта в представленном виде тем не менее кажется маловероятной. Одним из вопросов определенно является решение искусственным интеллектом зондов Гроса не только технических и биолого-экологических, но и этических задач: при неверной интерпретации искусственным интеллектом зонда данных о состоянии среды выбранной в качестве цели экзопланеты возможно угнетение или полное уничтожение искусственно создаваемыми инвазивными видами перспективной местной протобиосферы. Но значительно более вероятным сценарием (с учетом истории современной практической космонавтики) представляется серия лавинообразно нарастающих в течение длительного полета технических отказов, в результате которых к окончанию полета зонды будут находиться в неработоспособном состоянии. Следует отметить, что в настоящее время не существует мощных источников энергии с необходимым ресурсом в несколько десятков тысяч лет, включая радиоизотопные генераторы. Определенную проблему представляет и крайне ограниченная выборка потенциальных целей – при всех перспективах синтетической биологии представляется маловероятной возможность создания сложной развитой биосферы, а тем более возникновения в ней потенциально разумных видов, на таких планетах Солнечной системы с твердой скальной поверхностью, как Меркурий и Венера, а также большинстве открытых экзопланет типа «земля» и «суперземля».

Тем не менее задача представляется решаемой. Так, автором был предложен проект «Катализ», основанный на использовании наиболее простых и надежных технических решений на базе современных технологий и материалов (Novoseltsev 2017a). Проект предполагает целенаправленное содействие массовому возникновению жизни, в том числе потенциально разумной, и сохранение и распространение информационных материалов о современной культуре (МЕТИ) в более отдаленном будущем, чем это предусмотрено проектом «Генезис», на временном интервале порядка нескольких миллиардов лет, не на существующих, а на формирующихся экзопланетах.

В качестве основного технического средства предполагается использование простейших космических аппаратов с солнечными парусами как наиболее надежными двигательными установками, не предполагающими использования бортовых источников энергии. Запуск космических аппаратов возможен с использованием существующих средств ракетно-космической техники.

Первый этап реализации проекта предполагает отправку к известным стабильным звездам (предположительно спектральных классов К и F) с выраженными протопланетными дисками группы зондов-«сеятелей». Основная задача «сеятелей» – доставка в протопланетные диски наборов биокатализаторов, способствующих интенсивному добиологическому синтезу сложных органических соединений (возможно, включающих спо-

собные к саморепликации ранние простейшие формы РНК и ДНК) в веществе протопланетного диска. При отсутствии возможности достоверного прогноза эволюции протопланетного диска оптимальной для проекта является г-стратегия – использование больших групп зондов с максимально широким набором биокатализаторов для параллельной реализации различных сценариев биогенеза.

В связи с низкой температурной устойчивостью биокатализаторов для зондов-«сеятелей» с солнечными парусами исключается возможность дополнительного ускорения с помощью лазерного излучения (Lubin 2016) или старта с большим ускорением с околосолнечной орбиты с низким перигелием (Matloff, Mallove 1981). При выборе потенциальных целей на расстоянии до 100 световых лет это приводит к увеличению времени полета до нескольких миллионов лет, что не является критичным в сравнении с общей продолжительностью проекта порядка миллиардов лет, но накладывает соответствующие требования на конструктивные решения, предполагающие использование простейших высокоресурсных аналоговых устройств, интегрированных в конструкцию.

Так, рабочее полотно паруса из соображений радиационной стойкости должно быть выполнено не из традиционных металлизированных полимерных пленок типа Mylar (Derbes *et al.* 2003), но из металлической фольги – однослойной алюминиевой или многослойной с алюминиевым отражающим покрытием. Управление парусом возможно за счет изменения его геометрии при использовании интегрированных в полотно строп из материалов с памятью формы типа никелида титана при изменении степени его нагрева (следует отметить, что обеспечение «самоуправляемости» паруса без использования каких-либо специализированных устройств представляет собой, вероятно, одну из наиболее сложных технических задач проекта).

Важнейшими задачами распределения биокатализаторов является обеспечение максимальной площади их контакта с газопылевой средой протопланетного диска и исключение их осыпания в течение полета. В этом случае представляется целесообразным размещение биокатализаторов на обратной (неотражающей), обращенной к цели поверхности солнечного паруса. Для этого предполагается нанесение на материал паруса наноструктурированного материала в виде леса углеродных нанотрубок – Vertically Aligned carbon NanoTube Array (VANTA). Типичным представителем таких материалов является коммерческий материал Vantablack производства британской компании Surrey NanoSystems Limited. Данные материалы на металлической подложке обладают достаточной адгезией, механической и температурной стойкостью для эксплуатации в условиях открытого космоса (Theocharous *et al.* 2014). Биокатализаторы располагаются внутри нанотрубок. В связи с высокой способностью данных материалов к поглощению инфракрасного излучения и большой площадью

поверхности в протопланетном диске данная конструкция позволяет не только активно адсорбировать и конденсировать из газопылевой среды водяной пар, но и сохранять внутри нанотрубок воду в жидком состоянии при нахождении зонда-«сеятеля» за формальной «границей льдов» формирующейся экзопланетной системы, расширяя таким образом потенциальную «зону обитаемости».

В связи с крайне низкой отражающей способностью материалов типа VANITA, а также ослаблением и рассеиванием света звезды протопланетным диском торможение зонда за счет эффекта солнечного паруса (со стороны нанесения биокатализаторов) малоэффективно. При относительно небольшой собственной скорости зонда возможным является тормозной маневр у цели при сочетании гравитационного торможения и аэродинамического торможения паруса большой площади в газопылевой среде протопланетного диска, с ограничением по степени аэродинамического нагрева, определяемым термической стойкостью биокатализаторов.

В дальнейшем предполагается дрейф зондов-«сеятелей», ориентированных к звезде стороной паруса с нанесенными биокатализаторами, в веществе протопланетного диска в области «пылевых ловушек», где происходит формирование экзопланет (Gonzalez *et al.* 2017). Предполагается, что в результате к моменту разрушения зондов процесс саморепликации сложных органических соединений в окрестностях формирующихся экзопланет и их спутников становится необратимым и автокаталитическим. Так в результате первого этапа проекта «Катализ» добиологический этап эволюции всех небесных тел формируемой экзопланетной системы, физические условия которых допускают существование хоть каких-нибудь форм белковой жизни, сокращается с интервала порядка 1,5 млрд лет для Земли (Панов 2013) до нескольких миллионов лет, а вероятность развития сложных биосфер в каждой из возникших экзопланетных систем приближается к единице. Это соответствует коррекции коэффициента f_i уравнения Дрейка и опосредованно – коэффициента f_i , хотя характер зависимости между ними в настоящее время неочевиден.

Следующий (второй) этап проекта «Катализ» предполагает коррекцию коэффициента f_c уравнения Дрейка и представляет собой одну из форм МЕТТ. Он предполагает отправку к тем же целям, к которым ранее направлялись зонды-«сеятели», группы зондов-«хранителей», несущих на борту базу данных о современной культуре. Реализация данного этапа основана на предположении, что наибольшую ценность для любой активной КЦ представляет информация «экзогуманитарного» характера (Там же), причем ценность информации не снижается с течением времени.

Поскольку появление гипотетических КЦ – потенциальных адресатов информации возможно в течение нескольких миллиардов лет после начала реализации первого этапа проекта «Катализ», низкая скорость зондов-«хранителей», упрощающая как их запуск, так и торможение у цели, так-

же не является критичной в масштабах сроков проекта. Это тоже делает целесообразным использование классических солнечных парусов. Для зондов-«хранителей» несколько отличным является процесс торможения. Он также представляет собой сочетание гравитационного и аэродинамического торможения. Однако необходимость сохранения информации на протяжении нескольких миллиардов лет накладывает специфические требования. После кратковременного касания внешнего разреженного края протопланетного диска и первоначального снижения скорости для гравитационного захвата «хранитель» должен перейти на устойчивую замкнутую, но удаленную от звезды орбиту, что должно минимизировать его радиационную и пылевую эрозию на протяжении всего периода хранения. Предполагается, что правильная геометрическая форма паруса и его высокая отражательная способность должны облегчить последующую идентификацию «хранителя» гипотетическими КЦ экзопланетной системы, одной или несколькими, возникшими в результате реализации первой фазы.

Отдельный вопрос представляет носитель информации со столь длительным ресурсом. Ранее рассматривались различные носители информации для целей МЕТИ или «капсул времени» на период до 1 млрд лет (Guzman *et al.* 2016), но не на несколько миллиардов лет в условиях непрерывной радиационной нагрузки. В этом случае такие перспективные носители информации, как искусственная ДНК, требующие массивной радиационной защиты, исключаются. Целесообразной представляется запись информации непосредственно в материале паруса посредством туннельной микроскопии. При этом достижима плотность устойчивой записи порядка 10^{22} бит/кг при резерве 1000 атомов/бит (Rose, Wright 2004; Сурдин 2007), что позволяет обеспечить сохранность информации не за счет бронирования носителя слоем вещества толщиной в несколько метров, неприемлемого из соображений массовых характеристик зондов, а за счет ее многократного резервирования по площади паруса. Вся накопленная на начало 2000-х гг. культурная информация может быть записана подобным методом на носителе массой менее 1 г (Сурдин 2007). Многократная избыточность емкости паруса при записи подобным способом позволяет разместить на нем не только общую информацию, но и данные о множестве отдельных индивидуумов, включая результаты полной расшифровки генома и массив личной информации (воспоминаний). Последнее фактически представляет собой одну из форм так называемого «цифрового бессмертия» и предоставляет гипотетической КЦ как адресату информации возможность более или менее достоверного моделирования личностей отдельных людей для более достоверной интерпретации данных «экзогуманитарного» характера.

Интересен вопрос о возможном влиянии информации «хранителей» на развитие гипотетических КЦ, возникших в результате первого этапа

проекта. Парадоксальным образом получение подобной информации требует более высокого уровня технологического развития, чем ее отправка. Объект, подобный зонду-«хранителю», может быть обнаружен на окраине экзопланетной системы КЦ с уровнем развития, несколько превышающим современный, в ходе систематической каталогизации малых объектов экзопланетной системы в рамках программы предотвращения астероидной угрозы. Но считывание информации предполагает отправку к «хранителю» зонда с оборудованием для туннельной микроскопии, его торможение и сближение с «хранителем» с высокой точностью, а затем неразрушающее сканирование поверхности крупногабаритного объекта возрастом в несколько миллиардов лет с последующей фильтрацией помех, неизбежно возникающих в результате радиационных, микрометеоритных и эрозионно-пылевых повреждений записи. Последнее находится далеко за пределами современных технических возможностей. КЦ, располагающая подобным потенциалом на протяжении длительного времени, является достаточно устойчивой, и полученная информация не способна оказать сколько-нибудь заметного негативного, дестабилизирующего влияния на ее развитие, но будет успешно интегрирована в сформированную в процессе эволюции автохтонную культуру КЦ.

С другой стороны, подобным образом существующая современная культура может распространиться и сохраниться в составе культур формируемых КЦ.

После завершения второго этапа проекта «Катализ» положение с распределением КЦ в Галактике может кардинальным образом измениться в сравнении с современным. Если в результате проекта возникает более одной КЦ (коэффициент размножения более 1), что возможно при достаточно большом количестве целей и направляемых к ним зондов-«сеятелей», процесс распространения разумной жизни в Галактике может стать автокаталитическим и необратимым. Любые прогнозы о возможных значениях параметра L , как и других коэффициентов уравнения Дрейка, достаточно спекулятивны, но можно предположить, что хотя бы некоторые «вторичные» КЦ просуществуют достаточно долго и достигнут достаточно высокого уровня научно-технического развития, чтобы обнаружить и использовать сохранившиеся «хранители». После обнаружения «хранителей» КЦ получают доступ не только к важнейшей в мировоззренческом плане информации о собственном происхождении, но и данные обо всех целях проекта «Катализ» и, соответственно, возможном расположении других КЦ этого поколения, а также предложенные организаторами проекта общие стандарты связи по электромагнитным (радио-, оптическим) каналам. Проблема SETI в современной постановке не будет для них актуальна. Сочетание большего количества КЦ сопоставимого уровня развития, меньших расстояний между ними и общих стандартов связи может

быть достаточным условием для формирования такой формы самоорганизации материи, как «галактическое культурное поле», более сложной по сравнению с единичными КЦ (Панов 2013).

В случае если хотя бы некоторые «вторичные» КЦ, используя полученную информацию «хранителей», реализуют собственные варианты проекта «Катализ», интенсивность процесса распространения разумной жизни в Галактике значительно возрастет. К этому времени (через несколько миллиардов лет от настоящего момента) количество звезд с протопланетными дисками и формирующихся экзопланет в Галактике может возрасти на порядок (Behroozi, Peeples 2015), а расстояния между ними, соответственно, сократиться. Кроме того, число таких формирующихся экзопланетных систем через 4,5 млрд лет от настоящего момента значительно возрастет в процессе слияния Галактики и туманности Андромеды (Сох, Лоев 2008). В дальнейшем достаточно близко расположенные КЦ последующих поколений могут реализовать более интенсивные формы взаимодействия и совместной астроинженерной деятельности, например формирование обитаемых искусственных звездных скоплений с возможностью обмена информацией по электромагнитным каналам связи в течение месяцев и межзвездных перелетов в течение лет (Novoseltsev 2017b).

Здесь можно отметить прагматический аспект реализации проекта. Помимо возможности коммерциализации ряда технических решений «сителей» и «хранителей», таких как технологии солнечных парусов, биокатализа, высокоресурсных материалов и носителей информации со сверхвысокой плотностью записи, проект «Катализ» может рассматриваться как наиболее реалистичный с точки зрения применяемых технических средств и наименее ресурсоемкий сценарий саморепликации современной культуры, включая личностные данные ее индивидуальных представителей, на других биологических носителях, оптимальных для их среды обитания, ее обогащения достижениями культур других КЦ и в перспективе – расширения до пределов Галактики, а также наиболее достижимый в материалистической парадигме вариант бессмертия.

При рассмотрении проекта «Катализ» в ретроспективе неизбежно возникает важнейший вопрос как естественно-научного, так и мировоззренческого характера: могут ли известная нам биологическая жизнь в Солнечной системе и современная цивилизация быть результатом аналогичного проекта, реализованного в отдаленном прошлом гипотетической КЦ? Несмотря на спекулятивный характер большинства оценок и недостаточность данных, ответ на данный вопрос с вероятностью, близкой к единице, отрицателен.

До настоящего времени в Галактике не обнаружено никаких признаков существования КЦ, уже несколько миллиардов лет назад обладавшей

достаточным научно-техническим потенциалом для реализации подобного проекта. Более того, не обнаружено каких-либо признаков существования такой КЦ в прошлом, хотя выделен ряд возможных соответствующих маркеров и предложены методы их регистрации (Stevens *et al.* 2015). По некоторым оценкам, 8–10 млрд лет назад, то есть в период возможного зарождения жизни, способной в процессе развития привести к возникновению подобной КЦ, условия в Галактике в целом были неблагоприятными для большинства форм жизни из-за высокого радиационного фона, обусловленного активностью ядра Галактики (Balbi, Tombesi 2017).

Но главным аргументом против подобного допущения является достаточно долгий период добиологического развития Земли продолжительностью около 1,5 млрд лет, а также практическое отсутствие (или, при оптимистических допущениях, локализация в маргинальных экологических нишах) форм жизни на других объектах Солнечной системы. Некоторое сокращение известного по геологическим свидетельствам добиологического периода развития Земли относительно расчетного значения может быть объяснено протеканием начальных этапов биогенеза в галактической среде до формирования Земли (Панов 2013). Как отмечено выше, основной целью первого этапа проекта является сокращение продолжительности периодов биогенеза до нескольких миллионов лет и максимальное распространение оптимизированных к окружающей среде форм жизни в экзопланетных системах. Таким образом, обсуждение проекта «Катализ» имеет смысл только в контексте планирования деятельности современной цивилизации на ближайшее будущее.

В заключение следует аргументировать целесообразность реализации проекта «Катализ» в ближайшем будущем и выделения соответствующих ресурсов при наличии множества крупномасштабных проектов со значительно более близкими горизонтами планирования (например, терраформирования планет и спутников).

При столь низкой плотности распространения КЦ в Галактике (Anchoroqui *et al.* 2017) любая из них, включая, безусловно, современное человечество, представляет значительную и невосполнимую ценность. В то же время существование современного человечества подвергалось и продолжает подвергаться катастрофическим рискам разной степени – от частичной деградации до полного уничтожения – на фоне непреодолимых природных, а в XX–XXI вв. – также приобретающих все большее значение антропогенных факторов (Турчин 2010). Рядом авторов отмечено нелинейное обострение процессов, несущих потенциальные риски, в XXI в. (Панов 2013 и др.). В этой связи проект «Катализ», представляющий собой расширенную версию «капсулы времени», в случае его реализации

в достаточной степени обеспечивает возможность практической неуничтожимости современной культуры даже при самых пессимистичных сценариях и ее последующего масштабного развития.

Библиография

- Панов А. Д. 2013.** *Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI)*. М.: ЛКИ.
- Сурдин В. Г. 2007.** Динамика межзвездного зонда. *Бюллетень Специальной астрофизической обсерватории* 60–61: 254–259.
- Турчин А. В. 2010.** Проблема стабильного развития и перспективы глобальных катастроф. *Общественные науки и современность* 1: 156–163.
- Anchordoqui L. A., Weber S. M., Soriano J. F. 2017.** *Is There Anybody out There?* 35th International Cosmic Ray Conference – ICRC217 – 10–20 July. Bexco, Busan, Korea.
- Balbi A., Tombesi F. 2017.** The Habitability of the Milky Way During the Active Phase of its Central Supermassive Black Hole. *Scientific Reports* 7: 16626, DOI:10.1038/s41598-017-16110-0.
- Behroozi P., Peebles M. S. 2015.** On the History and Future of Cosmic Planet Formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454: 1811–1817.
- Cox T. J., Loeb A. 2008.** The Collision Between the Milky Way And Andromeda. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Printed February 20.
- Derbes B., Veal G., Rogan J., Chafer Ch. 2003.** *Team Encounter Solar Sails*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Gonzalez J.-F., Laibe G., Maddison S. T. 2017.** *Self-induced Dust Traps: Overcoming Planet Formation Barriers*. MNRAS 000: 1–15.
- Gros C. 2016.** Developing Ecospheres on Transiently Habitable Planets: the Genesis Project. *Astrophysics and Space Science* 361: 1–14.
- Gros C. 2017.** Universal Scaling Relation for Magnetic Sails: Momentum Braking in the Limit of Dilute Interstellar Media. *Journal of Physics Communications* 1: 045007 Doi.
- Guzman M., Hein A. M., Welch Ch. 2016.** Extremely Long-Duration Storage Concepts for Space. *Acta Astronautica*. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.10.007>.
- Lubin P. 2016.** A Roadmap to Interstellar Flight. *Journal of the British Interplanetary Society* 69: 40–72.
- Matloff G. L., Mallove E. 1981.** Solar Sail Starships: the Clipper Ships of the Galaxy. *Journal of the British Interplanetary Society* 34: 371–380.
- Novoseltsev D. 2017a.** Engineering New Worlds: Creating the Future. *Principium* 17. May.

- Novoseltsev D. 2017b.** *Engineering New Worlds: Creating the Future*. Part 3. *Principium* 18. August.
- Rose Ch., Wright G. 2004.** Inscribed Matter as an Energy-Efficient Means of communication with an Extraterrestrial Civilization. *Nature* 431: 47–49.
- Stevens A., Forgan D., O'Malley J. 2015.** Observational Signatures of Self-Destructive Civilisations. *International Journal of Astrobiology* 1(4).
- Theocharous E., Chunnillal Ch. J., Mole R., Gibbs D., Fox N., Shang N., Howlett G., Jensen B., Taylor R., Reveles J. R., Harris O. B., Ahmed N. 2014.** *The Partial Space Qualification of a Vertically Aligned Carbon Nanotube Coating on Aluminium Substrates for EO Applications*. Vol. 22. No. 6. 24 March. doi: 10.1364/OE.22. 007290, OPTICS EXPRESS 7307.