

ЧЕЛОВЕК 4: 2000

ИСКУССТВЕННЫЙ БИОЦЕНОЗ — БУДУЩЕЕ КОСМОНАВТИКИ

© 2000

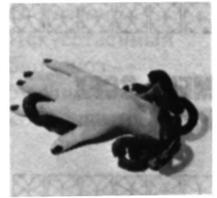
О.Г. Газенко

В самом начале нынешнего века Константин Эдуардович Циолковский и Фридрих Артурович Цандер, размышляя о космических полетах и понимая, что космос — это враждебная человеку среда, независимо друг от друга задумались о том, как обеспечить жизнь человека вне Земли. И почти одновременно им пришла в голову мысль, что в космический полет человек должен будет взять с собой как бы привычную часть своего земного окружения, некое подобие биосферы Земли. В 1911 году Циолковский писал: “Как всё существующее на Земле живет одним и тем же количеством газов, жидкостей и твердых тел, которое никогда не убывает и не прибывает (не считая падения аэролитов), так и мы можем вечно жить взятыми нами запасами материи”¹.

Циолковский ограничился чисто теоретическими рассуждениями о том, что нужно создавать космические оранжереи, их освещать, какие там могут быть растения, что эти растения будут большими при отсутствии силы тяготения и т.д. Цандер же, кроме теоретических построений, проводил и экспериментальные исследования. Он делал расчеты по регенерации атмосферы в корабле, предложил использовать в полете некоторые высшие растения, ставил опыты по их разведению и отбору и даже начал разрабатывать соответствующее оборудование, которое назвал “оранжереями авиационной легкости”². Последние работы Цандера, где он описывает придуманные им системы жизнеобеспечения детально, подробно, относятся к концу 20-х годов. Тогда он окончательно формулирует свои идеи. Более того, делает выводы из своих опытов и формулирует задачи, которые ему решить не удалось. Говорит о том, что и как нужно исследовать, чтобы реализовать его идеи. Таким образом, зарождение идей и пионерские экспериментальные работы в области систем жизнеобеспечения человека в космосе относятся к первым двум десятилетиям нашего века. Затем в этих исследованиях наступает перерыв.

Параллельно и независимо от идей основоположников космической биологии в те же годы развиваются естественнонаучные, биологические представления о биосфере. Это прежде всего работы В.В. Докучаева в конце прошлого века о “зонах природы” и, особенно, о жизни почвы. В 1916 году начал свои исследования живого вещества биосферы В.И. Вернадский. В 1926 году выходит его книга “Биосфера”, но исследования в этой области он не прерывает до конца жизни. Затем труды В.Н. Сукачёва, который в 1940 году вводит понятие “биогеоценологии”. Эти работы становятся теоретическим фундаментом для разработки биологических систем жизнеобеспечения человека в космосе.

Практическим же фундаментом стало развитие ракетной техники. Первоначально ракетная техника, естественно, нацеливалась на военные



**МЕРА ВСЕХ
НАУК**

Газенко

Олег

Георгиевич — академик, советник РАН при дирекции Государственного научного центра РФ “Институт медико-биологических проблем”. В журнале “Человек” публикуется впервые.

¹ Циолковский К.Э. Исследование мировых пространств реактивными приборами. Собр.соч. М., 1954. Т. 2. С. 128.

² Цандер Ф.А. Современная космонавтика. М., 1976. С. 174.



МЕРА ВСЕХ НАУК



³ Bowman N.J. The foot and atmosphere control problem on space vessel // J. Brit. Interplanet. Soc. 1953. № 12. P. 159–167.

⁴ Myers J. Basic remarks on the use of planets as biological gas exchanges in a closed system // J. Aviation medicine. 1954. V. 25. № 4. P. 407–411.

нужды. Это были ракеты, так сказать, ближнего боя. Но вот в 40-е годы Вернер фон Браун создает Фау-2, на их базе становятся возможны полеты в космическое пространство. И в 50-е годы начинаются собственно первые биологические исследования на ракетах. В Америке это, по-видимому, 1948 год — полеты высотных ракет с животными, в нашей стране — 1951 год. Начинается практическая реализация идей Циолковского и Цандера. Появляются первые публикации: сначала в Англии Н. Боумена “Использование водорослей для восстановления атмосферы и питания в космическом корабле”³, потом в Соединенных Штатах Д. Мейерса “Основные замечания по возможному использованию растений для восстановления атмосферы в замкнутых системах обеспечения”⁴. В этих работах — попытки рассчитать первые биологические системы жизнеобеспечения.

Надо сказать, что в те годы широко культивировались некоторые быстро размножающиеся водоросли типа хлореллы в качестве корма для животных. Тогда еще не знали, что в рацион питания их можно включать лишь ограниченно. Начали экспериментировать с ними и в целях получения пищи для космонавтов и очистки воздуха герметичной кабины — поглощая углекислый газ и выделяя кислород, они могли стать важным звеном в системе жизнеобеспечения человека в космосе.

В наших биологических экспериментах вначале использовались методы регенерации атмосферы в основном такие, как на подводных лодках. На первых порах это было проще и надежнее. Но биологические принципы организации системы жизнеобеспечения не уходили из поля зрения, обсуждались специалистами, хотя, к сожалению, ни Цандера, ни Циолковского тогда не изучали. Эксперименты в этой области начались в 1959 году, и нужна была общая биологическая концепция построения таких систем.

И вот в 1960 году Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский соединяет всю эту “практическую” линию с теоретическим фундаментом, с существовавшими к тому времени представлениями о биосфере. Вот что он написал в письме В.Н. Сукачеву 7 июня 1960 года: “Сегодня, в

Банкет в честь
70-летия
Н.В. Тимофеева-
Ресовского.
Слева направо:
О.Г. Газенко,
О.А. Толмачевская,
Н.В. Тимофеев-
Ресовский
и Е.А. Тимофеева-
Ресовская.
Москва. Сентябрь
1970 года.
Фото С.Э. Шноля



день Вашего восьмидесятилетия, в докладе, прочитанном мною в Научно-исследовательском испытательном институте авиационной и космической медицины (в 10 отделе), я позволил себе, изложив теоретические основы Вашего учения о биогеоценозах, предложить новое, но естественно вытекающее из Вашей биогеоценологии понятие “искусственного замкнутого земного биогеоценоза в космосе”. Эта та естественно вытекающая из Вашего учения о биогеоценозах форма сообщества, которую мы должны создавать сейчас (со включением аутотрофных организмов, создающих необходимый кислородный режим) для осуществления в ближайшем будущем длительных полетов человека в космосе; в этих замкнутых сообществах будущего будут участвовать специально отсеleccionированные гармоничные биоценозы из форм, полученных методами радиационной селекции и экспериментальной биогеоценологии”⁵.

Таким образом, в 1960 году теоретическая космонавтика и биология смыкаются, и исследования ставятся на новую почву. Николай Владимирович тогда еще не работал в Институте авиационной и космической медицины ВВС, который специально занимался разработкой этой проблемы, но уже думал на эту тему, беседовал, проводил семинары. Позже, став сотрудником института⁶, он как радиобиолог, радиогенетик, принимал самое активное участие в конструировании одного из летных экспериментов по определению биологической эффективности космического излучения. Потом появилась еще одна линия — использование нетрадиционных источников животной пищи.

Но главная и огромная заслуга Тимофеева-Ресовского — это, конечно, охват всей проблемы в целом, видение ее во всех элементах. Об этом свидетельствует и тот текст, который помещен ниже. Это черновик одного из докладов, со времени написания которого прошло более 25 лет. Но высказанные в нем идеи никак не устарели. В ту пору еще широко бытовала технологическая концепция построения биологической системы жизнеобеспечения. Считалось достаточным соединить достижения биотехнологии в области растениеводства, сельскохозяйственного животноводства и микробиологической промышленности со всеобъемлющей системой внешнего управления этими процессами и интегрировать их в единую функционально целостную систему. Изначально принятая в нашем институте экологическая концепция, основанная на способности природных экосистем (прежде всего биогеоценозов) к самостоятельному существованию на основе собственных внутренних механизмов саморегулирования и самоуправления — принималась, а вернее, просто выслушивалась, с недоверием и скепсисом. Особенно трудно воспринималась она теми техническими специалистами, которые тогда принимали решения в космонавтике.

Н.В. Тимофеев-Ресовский, ознакомившись с экспериментальным материалом и позиций сотрудников нашего института, сразу поддержал экологическую концепцию создания системы жизнеобеспечения на основе принципов структуры и функционирования природных экологических систем. Его опыт и авторитет в теоретической и практической биогеоценологии и общем учении о биосфере укрепили наши позиции и во многом определил дальнейшее развитие этого направления. Сегодня ясно, что для обеспечения жизни человека в космосе нет другого пути, кроме создания искусственных биоценозов. Это верно не только для космических кораблей, но и для лунных баз, для межпланетных станций. Задача архисложная, но ее решение — неперемное условие развития комонавтики.

О. Газенко
Искусственный
биоценоз —
будущее
космонавтики

⁵ Из писем Н.В. Тимофеева-Ресовского В.Н. Сукачеву // Природа. 1990. № 9. С. 97.

⁶ Институт позже стал называться Институтом медико-биологических проблем Минздрава СССР.



Н.В. Тимофеев-Ресовский. 60-е годы

УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ И КОСМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

© 2000

*О.Г. Газенко,
Н.В. Тимофеев-Ресовский,
Е.Я. Шепелев¹*

§ 1. Человек — земной живой организм, развивавшийся и эволюционировавший в биосфере Земли, в условиях земной физико-географической и биотической обстановки. Поэтому человек вряд ли когда-либо сможет длительно существовать в “железе и пластмассе”, в условиях абиотической среды. Отсюда неизбежная связь учения о биосфере Земли (основанного и развитого В.И. Вернадским), а также биогеоценологии (основанной и развитой В.Н. Сукачёвым) с важнейшими разделами развивающейся на наших глазах новой дисциплины — космической биологии. Поэтому же вполне разумно предполагать, что характернейшие черты строения и работы биосферы Земли и ее элементарных подразделений — биогеоценозов, должны, в какой-то мере, лечь в основу создания, в рамках космической биологии, среды обитания и системы жизнеобеспечения человека в условиях длительных космических полетов и пребывания на “чужих” планетах.

§ 2. Биосфера по В.И. Вернадскому является одной из наружных оболочек нашей планеты, состоящей не только из “живой пленки” (суммы всех живых организмов), но также из всех тех косных веществ, которые находятся в состоянии непосредственного вещественно-энергетического обмена с живыми организмами; иногда В.И. Вернадский относил к ней и “область былых биосфер”, то есть биогенные осадочные горные породы, вышедшие из большого биологического круговорота биосферы. Термодинамически биосфера является открытой системой, а ее большой круговорот не вполне замкнутым, давая (как только что было упомянуто) выход в область былых биосфер, то есть образуя “необратимые отходы” или вещества, не возвращающиеся в биологический круговорот. Характерной чертой биосферы является поддержание длительного состояния динамического равновесия между живыми компонентами и косной средой; это равновесие (состояние устойчивости) лишь медленно эволюционирует (вместе с эволюцией живых организмов) и лишь редко (в геологическом масштабе времени) пре-



**МЕРА ВСЕХ
НАУК**

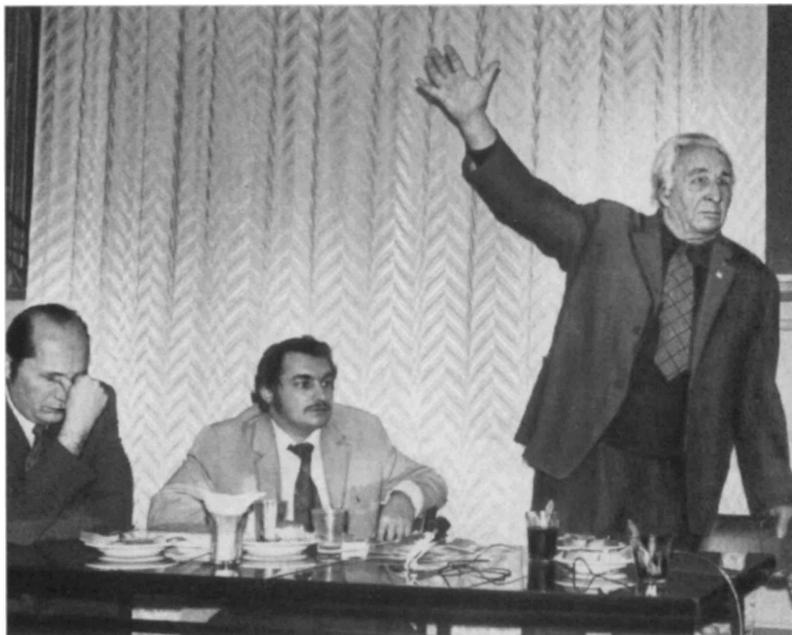
¹ Шепелев Евгений Яковлевич — доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института медико-биологических проблем.



МЕРА ВСЕХ НАУК



Доклад
Н.В. Тимофеева-
Ресовского
в Институте
медицинской
генетики. Слева
направо:
В.И. Иванов,
С.С. Дяченко,
Н.В. Тимофеев-
Ресовский,
Ю.Я. Керкис.
Середина
70-х годов

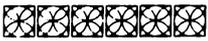


терпевает более быстрые перемены и переход на иной уровень устойчивости.

§ 3. Фундаментальной (характернейшей) особенностью жизни, по крайней мере на нашей планете, является дискретность строения и функций живых организмов (дискретность кодов наследственной информации и их действий, клеток и их функций, особей и их жизненных проявлений, таксонов и их признаков и свойств). Живые организмы распространены по всей поверхности Земли (населяют всю поверхность суши с почвами и самыми верхними слоями литосферы, всю гидросферу и нижние слои тропосферы), но они не образуют единообразную пленку или плавно меняющийся континуум. Биогеоценотическая подоболичка биосферы (по В.Н. Сукачёву), вертикально простирающаяся от верхнего водонепроницаемого слоя в грунтах и горных породах вверх до нижних слоев тропосферы, находящихся в постоянном газообмене с живыми организмами, подразделяется различными “границами” на отдельные участки — биогеоценозы. Биогеоценозом является участок биогеоценотической подоболички биосферы, через который не проходит ни одна установившаяся биоценотическая (в основном фитоценотическая), почвенная, климатическая, гидрологическая, стоковая или геохимическая граница. Биогеоценозы — это элементарные биохорологические подразделения биосферы и в то же время элементарные единицы биохимической работы в ней.

§ 4. Основные характерные свойства биогеоценозов в миниатюре те же, что и биосферы в общем. Биогеоценозы — термодинамически открытые, лишь частично замкнутые системы, в которых поддерживается состояние длительного динамического





равновесия между входящими в них живыми и косными компонентами. Степень стабильности разных биогеоценозов очень различна. Некоторые из них, особенно претерпевающие прогрессивные или регрессивные перестройки (сукцессии), могут относительно быстро изменяться, переходя в новое, длительно стабильное состояние. Другие, находящиеся в относительно стабильных условиях географической среды и не лежащие на путях миграций больших флористических и фаунистических комплексов, могут находиться в состоянии динамического равновесия без существенных изменений своего состава в течение долгого времени. С помощью исторических и археологических данных уже довольно давно было установлено, что некоторые лесные, степные или пустынные ландшафты, со входящими в них биоценозами, могут (если человек их не нарушает) сохраняться практически неизменными в течение нескольких тысяч лет; с совершенствованием и расширением метода пыльцевого анализа установлена возможность существования некоторых локальных фитоценозов без существенных изменений в течение десятков и, может быть, сотен тысяч лет.

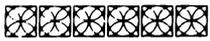
§ 5. Следует кратко остановиться на выяснении степени замкнутости и основных условиях поддержания динамического равновесия (устойчивости) в биосфере в целом и в отдельных биогеоценозах. Степень замкнутости большого биологического круговорота биосферы, на первый взгляд кажется не особенно высокой: ведь общая масса области былых биосфер, то есть вещества, вышедшего из биологического круговорота (хотя она точно еще и не определена), огромна по сравнению с биомассой и, особенно, с массой продукции биологической производительности биосферы. Но жизнь на нашей планете, а вместе с ней и биосфера существуют 2–3 млрд лет, а по обоснованному мнению В.И. Вернадского общая биомасса на Земле в течение по крайней мере последнего полумиллиарда лет существенно не менялась. Поэтому даже если область былых биосфер (то есть общая масса вещества, вышедшая из биологического круговорота за время существования жизни на Земле) во много-много раз превышает биомассу в биосфере (и еще в большей степени биологическую производительность Земли), то, все же в пересчете, скажем, на один год “необратимый выход” из биологического круговорота в биосфере будет составлять, по-видимому, менее тысячной доли процента от продукции биомассы. Такова же, естественно, будет и средняя степень замкнутости биогеоценозов, являющихся элементарными ячейками биохимической работы биосферы, но, так как вещественно-энергетические круговороты смежных биогеоценозов в разной степени связаны друг с другом, то “необратимый выход” (то есть степень замкнутости) различных отдельных биогеоценозов может в известной степени варьироваться (в зависимости от степени изолированности разных биогеоценозов) вокруг средней степени замкнутости биологического круговорота всей биосферы. Основные условия, поддерживающие устойчивость или, вернее, состояние

длительного динамического равновесия биогеоценозов, следующие: а) многокомпонентность живой части системы (связанная с понятием аварийного запаса устойчивости, основанного на наличии групп биологически сходных видов в сообществе, б) наличие небольших складов, то есть аварийных трофических резервов, и в) наличие буферных систем, в основном косных, из которых, по-видимому, важнейшими являются вода (особенно в виде сложных растворов природных вод), а также газовая смесь атмосферы. Надо отметить, что более или менее точное изучение условий, определяющих состояние динамического равновесия биогеоценозов, и математическое моделирование этого состояния только лишь начинаются.

§ 6. В параграфах 2–5 мы предельно кратко напомнили о важнейших основах учения о биосфере и о биогеоценологии. Теперь столь же кратко надо коснуться основных задач создания среды обитания и жизнеобеспечения человека в условиях длительных космических полетов и на “чужих” планетах. Существеннейшей задачей “конструктивной” космической биологии является экспериментальное создание систем с длительным состоянием динамического равновесия биологических компонент; иными словами, это означает создание своего рода “экспериментальных биогеоценозов”, если под последними понимать систему их живых и косных компонент, обладающую достаточно длительным состоянием динамического равновесия и достаточной степенью замкнутости. Прежде всего нужно примерно определить значение и содержание вышеупомянутого слова “достаточно”. Стабильность в состоянии динамического равновесия природных биогеоценозов оценивается временем средней длительности жизненных циклов (поколений), составляющих биоценозы видов живых организмов; более или менее стабильные сообщества — это такие, которые могут находиться в состоянии динамического равновесия в течение сотен и более поколений, то есть в течение сотен, тысяч и более лет. Как было упомянуто в параграфе 5, степень замкнутости природных биогеоценозов (то есть количество образованных необратимых отходов, невозвращающихся в биологический круговорот) очень высока. Можно утверждать, что степень стабильности и замкнутости “экспериментальных биогеоценозов”, которые должны быть созданы в конструктивной космической биологии, может быть значительно ниже, чем в природных биогеоценозах. Если исходить из нужд “предвидимого будущего”, то максимальную длительность искусственных биогеоценозов можно принять за пару десятилетий, а достаточная степень замкнутости может исчисляться десятими процента (а то и несколькими процентами) в год.

§ 7. Каковы же существенные отличия замкнутых биологических систем в космической биологии (экспериментальных биогеоценозов) от природных биогеоценозов? Прежде всего, экспериментальные биогеоценозы по набору видов живых организмов (их разнообразию и прежде всего их числу) всегда будут значительно беднее природных. Далее, экспериментальные био-

*О. Газенко,
Н. Тимофеев-
Ресовский,
Е. Шепелев*
Учение
о биосфере
и космическая
биология



геоценозы космических объектов будут абсолютно изолированными системами; природные биогеоценозы окружены другими биогеоценозами, с которыми они находятся в постоянном обмене веществом и энергией, в то время как биогеоценоз, создаваемый для космических объектов, окружен изолирующими стенками какой-либо кабины. Наконец, как уже было сказано в предыдущем параграфе, достаточные степени замкнутости биологического круговорота и длительности динамического равновесия в экспериментальных биогеоценозах могут быть значительно ниже, чем в природных. Из только что перечисленных трех отличий первые два несомненно будут затруднять, а последнее — облегчать создание экспериментальных биогеоценозов в космической биологии.

§ 8. Во всех наших рассуждениях мы пока обходили молчанием одну специфическую особенность экспериментальных биогеоценозов в космической биологии. Эта особенность заключается в следующем. Биогеоценоз, находящийся в пределах кабины космического корабля или какого-либо помещения на “чужой” планете, будет, несомненно, в большинстве случаев включать человека (за исключением таких, например, когда в будущем “готовые” земные биогеоценозы будут посылаться в качестве дополнительного материала для работающих лабораторий и станций на чужих планетах). Человек, конечно, входит в состав соответствующего биогеоценоза; но по ряду причин он занимает особое положение. Во-первых, по биомассе (и объему метаболизма) он — особенно крупная особь; во-вторых, удовлетворению его жизненных потребностей должен служить весь экспериментальный биоценоз, чем и определяется общий объем биологического круговорота; наконец, в-третьих, он представляет собой неразмножающуюся и в существенных чертах неизменяемую компоненту. Выше намеченное особое положение человека в экспериментальном биогеоценозе, с одной стороны, делает его как бы посторонней биоценозу, косной компонентой (“всепожирающий Молох”), с другой стороны, эта количественно существеннейшая компонента в общем биологическом круговороте не должна выдавать заметное количество “необратимых отходов”.

Особое положение человека вряд ли изменяет принципы построения экспериментального биогеоценоза; потребуются, наверное, лишь специальные биотехнические расчеты на число входящих в биогеоценоз людей. Возможно, что главная особенность человека — разум — поможет построению достаточно стабильной и достаточно замкнутой системы, включающей (помимо автоматически гомеостазизирующих факторов равновесной системы), сознательную волю и действия человека.

§ 9. В предыдущих параграфах были очень кратко изложены наиболее существенные основы созданного В.И. Вернадским общего учения о биосфере Земли и созданной В.Н. Сукачёвым биогеоценологии, а также важнейшие характеристики тех “экспериментальных биогеоценозов”, которые должны быть созданы в рамках космической биологии. Кроме того, бы-

ло указано на важнейшее отличие между природными и подлежащими созданию экспериментальными биогеоценозами. В настоящем докладе мы не можем (за недостатком места, так как это составляет отдельную специальную тему) затрагивать интересную, трудную и сложную проблему о принципиальных методических и экспериментальных основах создания устойчивых экспериментальных биогеоценозов. Задачей настоящего сообщения было кратко изложить тех соображений, на основании которых создание экспериментальных биогеоценозов с достаточной степенью стабильности и замкнутости является важнейшей задачей космической биологии.

Здесь мы можем отметить, что в рамках космической биологии к настоящему времени созданы и исследованы экспериментальные биогеоценозы на основе совокупной деятельности бактерий, одноклеточных водорослей, высших растений и человека, в которых на основе относительно замкнутого круговорота веществ удовлетворяется до 85% метаболических потребностей человека. В этих экспериментальных системах за счет деятельности растений осуществляется до 15 циклов обращения кислорода, на что в биосфере Земли, исходя из расчетов В.И. Вернадского, уходит около 45 тыс. лет. Это показывает реальную возможность создания экспериментальных систем, отвечающих названным выше основным свойствам природных биогеоценозов: термодинамическая открытость, существенная замкнутость по веществу и способность к существованию в состоянии длительного динамического равновесия.

§ 10. В конце этого доклада нам хочется еще обратить внимание на следующие обстоятельства. Центральной задачей общей биогеоценологии является решение (хотя бы в первом приближении) проблемы условий и механизмов, поддерживающих состояние динамического равновесия биогеоценозов и нарушающих его; а также разработка теории математического моделирования биогеоценозов различной степени сложности. Без решения этой центральной задачи общей биогеоценологии невозможно проводить целый ряд важнейших мероприятий по повышению биологической производительности нашей планеты; а проблема взаимоотношений растущего по численности и промышленной мощи человечества с биосферой Земли — Проблема Номер Один современного естествознания и техники. Родственность многих основных задач и проблем общей биогеоценологии и центральных задач космической биологии позволяет надеяться, что создание действительно действующих экспериментальных биогеоценозов, меньших по размерам, чем природные биогеоценозы, в более жестких и точнее контролируемых условиях при проведении работ в космической биологии окажет решающее влияние не только на развитие космонавтики, но и на охрану, развитие и разумное преобразование биосферы нашей планеты.

Публикация О.Г. ГАЗЕНКО

*О. Газенко,
Н. Тимофеев-
Ресовский,
Е. Шепелев*
Учение
о биосфере
и космической
биологии