

ГРАВИТАЦИЯ И ОРГАНИЗМ

*«Мы не в состоянии избавиться от силы тяжести
и поэтому навсегда останемся невежественными
относительно ее роли в эволюции»*

Ч. Дарвин

Это утверждение, высказанное более 150 лет назад, многие десятилетия звучало как аксиома. Увы, даже гении не всегда бывают пророками!

В самом деле, до начала космической эры мало кто из естествоиспытателей думал о силе тяжести как физическом факторе, величина и направление которого могут быть изменены или полностью устранены. Хотя понятие о космической среде хорошо было знакомо астрономам уже многие тысячелетия, до последнего времени оно было чуждо биологам. Естественно, поэтому огромный интерес к этой проблеме возник в середине XX века, когда были созданы управляемые космические летательные аппараты. Однако, обо всем по порядку!

Гравитация - одна из главных сил в природе.

Взаимодействие разнообразных факторов (физических и химических) с телами (живыми и неживыми) реализуется благодаря наличию в природе сил, которые можно свести к четырем основным категориям: силы ядерного происхождения (сильные и слабые), силы электромагнитной природы и гравитационные силы. Каждая из перечисленных сил имеет свою компетенцию, сферу влияния и определенные ограничения.

Силы ядерного взаимодействия формируют субмолекулярный уровень существования материи и на первый взгляд не имеют прямого отношения к биологии. Тем не менее, без этого «строительного» и «энергетического» материала невозможно образование более высоких форм существования материи, в том числе и живых систем. Силы электромагнитных взаимодействий возникают между частицами, имеющими электрический заряд, и определяют состояние вещества, в том числе и биологического. В живых системах все без исключения процессы осуществляются благодаря локальным и кратковременным изменениям электромагнитных сил.

Гравитация является четвертой основной силой в природе после сил ядерных и электромагнитных взаимодействий. Именно гравитационным силам, в первую очередь, обязано строение и эволюция Вселенной, включая и нашу планету - Земля. Одним из самых замечательных свойств гравитации является ее постоянство и вездесущность. Все что имеет массу, а масса присуща любой форме и любому виду материи, испытывает действие гравитационных сил, другими словами, находится под действием силы тяжести.

Гравитационные силы - это «дальнодействующие» силы притяжения. Чтобы уяснить это приведем два примера. Сила притяжения двух людей среднего веса (~70 кг.) на расстоянии в 1 м. составляет примерно 0,03 мг. Что уж говорить о более мелких организмах, например, одноклеточных. В то же время Луна притягивается к Земле силой = $2 \cdot 10^{17}$ тонн или $2 \cdot 10^{20}$ кг. Цифру с двадцатью нулями очень трудно себе представить! Однако в масштабах атома гравитационные силы уступают электромагнитным в 10^9 раз. Тем не менее, гравитационные силы принимали и продолжают принимать участие в процессах формирования и функционирования живых систем на всем протяжении эволюционного процесса.

Значение гравитации на начальных этапах становления нашей планеты заключалось в создании условий для разделения материи на три основные категории: атмосферу, гидросферу и литосферу (воздушную, водную и твердую соответственно), что в результате привело к образованию субстрата и появлению полярной оси симметрии. Эти события, по

мнению специалистов, произошли около 5 миллиардов лет назад и вскоре (для геологического масштаба времени) через 500млн. лет появились первые признаки жизни на Земле. В дальнейшем, уровень гравитации на протяжении многих миллионов лет на Земле оставался практически постоянным.

Теперь нам необходимо дать определения физического смысла гравитации и силового поля, обусловленного наличием этого физического фактора. Под гравитационным полем Земли подразумевают распределение силы тяжести на ее поверхности или в ее непосредственной близости. Абсолютное значение силы тяжести принято считать равным 9,8127 микрогал. $1 \text{ мкГ} = 10 \text{ эрг/см}^2$. Сила тяжести на Земле создает ускорение (g) равное $9,81 \text{ м/сек}^2$ и формирует физический смысл понятие веса (P)

$$P = mg$$

где m- масса, а g -ускорение силы тяжести.

Таким образом, именно сила тяжести «повинна» в том, что все тела на Земле имеют вес. Избавиться от веса, т.е. стать практически «невесомым» можно только в космическом полете.

Обратимся к этой проблеме и выясним, что же означает состояние невесомости для живых организмов и к чему может привести пребывание организма в этом состоянии?

Условия космического полета как новое состояние существования живых систем.

Одной из основных особенностей космического полета является то, что все тела (живые и неживые) находятся в состоянии так называемой динамической невесомости. Что же это за состояние и почему оно интересует специалистов? При полете на космическом аппарате вес тела не исчезает, но может уменьшиться в очень большой степени в миллион раз (10^{-6}). Поэтому условия, в которых пребывают все физические тела, в том числе и живые организмы, принято называть микрогравитацией, а их состояние организма - состоянием динамической невесомости.

Что же произойдет с живыми организмами в условиях микрогравитации? Как поведут себя микроорганизмы, растения и животные в этих условиях? Что необходимо предпринять, чтобы организм приспособился к новым условиям существования?

На все эти вопросы необходимо было получить ответ до полета человека в космос. Поэтому, большинство биологических экспериментов, выполненных в первое десятилетие в космосе, строилось таким образом, чтобы выяснить функционируют ли нормально в условиях микрогравитации механизмы, ответственные за те или иные жизненно важные функции в организме.

Как показали результаты экспериментов, многие из этих механизмов оказались малочувствительными или вовсе нечувствительными к отсутствию силы тяжести. Вместе с тем уже в начале этих исследований выяснилось, что невесомость может изменить нормальный ход тех процессов в организме, для осуществления которых необходим гравитационный стимул.

Дальнейшие исследования биологического действия микрогравитации, выполненные в первое десятилетие освоения космического пространства, проводились, главным образом, с целью обеспечения безопасности, сохранения здоровья и эффективной работоспособности человека во время космического полета.

За относительно короткий срок (около 30 лет) интенсивных исследований были получены экспериментальные доказательства ряда характерных функциональных отклонений, происходящих в организме человека во время космического полета: быстрых, наступающих в, первые же часы орбитального полета (нарушение вестибуло - двигательных

функции, временная потеря пространственной ориентации перераспределение жидких сред (свободной воды, крови, лимфы) в организме, и, медленных, развивающихся по мере увеличения сроков полета (изменения в опорно-двигательном аппарате, вследствие атрофии мышц и снижения прочности костей в результате потери минеральных элементов) Значительная часть информации была получена при изучении функциональных систем организма человека, и это понятно, ибо в первую очередь необходимо было оценить возможности и скорость приспособительных реакций человека к длительному действию и кратковременным колебаниям величины и направления гравитационного вектора.

С первых полетов человека в космос и до настоящего времени ведется тщательный медицинский контроль состояния его здоровья, постоянно совершенствуется комплекс профилактических мероприятий с целью сохранения нормальной жизнедеятельности и высокого уровня работоспособности космонавтов.

В последние десятилетия все больше внимания уделяется фундаментальным исследованиям в космосе. Эти исследования объединены общей целью - выяснить роль силы тяжести в возникновении и эволюции живых систем на Земле, понять природу и раскрыть механизмы действия этого фактора на жизнедеятельности живых организмов. Получение ответа на главный вопрос - какую роль играет гравитационный фактор в функционировании живых систем в одинаковой степени важно как интересах фундаментальной науки, так и решения конкретных практических задач космической биологии и медицины на качественно новом этапе развития космонавтики.

Современный этап освоения и изучения космического пространства характеризуется постепенным переходом от длительных орбитальных полетов к межпланетным перелетам, ближайшим из которых видится экспедиция на Марс. В этом случае ситуация меняется коренным образом. Она меняется не только объективно, что связано со значительным увеличением длительности пребывания в космосе, посадкой на другую планету и возвращением на Землю, но и, что очень важно - субъективно, поскольку, покинув уже ставшую привычной земную орбиту, космонавт останется в весьма небольшой по численности группе своих коллег на необъятных просторах Вселенной. Возникают принципиально новые проблемы, связанные с резким возрастанием интенсивности космической радиации, необходимостью использования возобновляемых источников кислорода, воды и пищи, и главное, решением психологических и медицинских задач.

Снабжение обитателей космического корабля, совершающего межпланетный перелет, кислородом водой и пищей, поддержание оптимальных параметров окружающей среды, предусматривает создание принципиально новой биологической системы жизнеобеспечения (БСЖО). Эксплуатация такой системы станет естественной обязанностью членов экипажа и потребует от космонавтов освоения новых профессий.

Основу БСЖО составляет замкнутая по кислороду, воде и пище экологическая система - миниатюрная копия экологической системы существующей в природе. Для нормального функционирования такой системы, необходимо оптимизировать взаимодействия между всех основных элементов - отдельных сообществами (микроорганизмов, растений и животных, включая и человека).

Трудность управления такой системой в ограниченном герметически замкнутом объеме настолько велика, что не приходится надеяться на ее скорое внедрение в практику. По всей вероятности переход на биологическую систему жизнеобеспечения будет происходить постепенно по мере готовности ее отдельных звеньев. На первом этапе развития БСЖО, очевидно, произойдет замена физико-химического метода получения кислорода и утилизации углекислого газа - на биологический. Как известно, основные «поставщики» кислорода - это высшие растения и фотосинтезирующие одноклеточные организмы. Более сложной задачей является пополнение запасов воды и пищи.

Что касается обеспечения космонавтов водой, то питьевая вода очевидно еще очень

долгое время будет иметь «земное происхождение», а техническая (используемая для хозяйственных целей) уже сейчас восполняется за счет регенерации (вторичного использования) конденсата атмосферной влаги (КДА), мочи и других источников.

Для возобновления запасов пищи необходимо ввести в систему животных. Разумеется, на первых этапах это должны быть «малогобаритные» представители животного мира - моллюски, рыбы, птицы, а позже, возможно кролики и другие млекопитающие.

Таким образом, космонавтам во время межпланетных перелетов необходимо не только научиться выращивать растения, содержать животных и культивировать микроорганизмы, но и разработать надежный, способ управления «космическим ковчегом». А для этого, сначала надо выяснить, как растет и развивается отдельно взятый организм в условиях космического полета, а затем какие требования предъявляет сообществу каждый отдельно взятый элемент замкнутой экологической системы.

Но организм, даже самый примитивный - это сложная биологическая система, которая характеризуется соблюдением строгой иерархии в рамках своей организации. Для того, чтобы выявить конечный эффект в живой системе, какого либо физического или химического фактора, в том числе и гравитации, необходимо проследить за изменениями, происходящими в этой системе на всех уровнях ее организации.

Как известно, в сложной высокоорганизованной системе, коей является многоклеточный организм, одновременно, на разных уровнях протекает огромное количество процессов. Среди них следует отыскать и выбрать один интересующий нас, наиболее информативный параметр, изучая который, можно было бы проследить за начальными этапами адаптации (приспособления) организма к новым условиям существования. Становится ясно, что изучая реакции организма на действие, например, силы тяжести (или невесомости), на уровне целого организма (системном уровне) мы не сможем «докопаться» до истины. С другой стороны, если мы примем в качестве исследовательского эталона молекулярный уровень организации, то не получим интересующих нас сведений из-за индифферентности (безразличия) молекулярных процессов к гравитации. Как мы помним, молекулярный процессы полностью подчиняется электромагнитным силам.

Следовательно, остается «золотая середина» - клетка. Поговорим об этом подробнее.

Клетка - основная единица живой материи.

Клетка обладает двумя неоспоримыми достоинствами, которые делают ее незаменимым объектом исследования для специалистов различных областей биологической науки.

Во-первых, клетка занимает центральное положение в иерархической организации живой материи и является основой всех без исключения организмов не только в структурном, но и функциональном отношении. Все, без исключения «аспекты» жизни присущи любой клетке, независимо от того существует ли она самостоятельно как одноклеточный организм или функционирует в составе органа или ткани единого многоклеточного организма. Во всех случаях клетка способна; удваивать свой наследственный материал, осуществлять передачу информации, энергии вещества и выполнять работу.

Во-вторых, в эволюционном плане клетка представляет собой исходную форму живых систем и является первым уровнем организации живого, способным воспринимать сигналы (физические или химические) из окружающей среды, преобразовывать их в физиологические импульсы и формировать ответную реакцию на внешнее воздействие. Другими словами, при изменении условий окружающей среды, клетка способна перестроить протекающие в ней процессы, (а иногда, и структурную организацию, соответствующим образом (ускорить, замедлить, направить по иному пути химические

реакции) с целью сохранения своей целостности и работоспособности.

По принципу организации клетка представляет собой устройство (машину) в высшей степени рационально (экономно) использующую энергию для поддержания своей стабильности в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

Функциональную организацию клетки в самом общем виде можно объяснить, прибегнув к простой аналогии с организацией современного производственного предприятия с хорошо отлаженной и безупречно функционирующей автоматизированной системой управления, обеспечивающей строгую последовательность технологической цепочки, начиная с бесперебойного поступления сырья на конвейер и заканчивая выпуском готовой продукции с минимальной затратой энергии. Но даже такое идеально налаженное современное производство не может конкурировать с высочайшим уровнем надежности функционирования живой материи в микроскопическом объеме клетки. Если попытаться выделить главное предназначение клетки из комплекса ее обязанностей, то в первую очередь следует назвать выработку энергии, синтез строительного материала и передачу информации.

Клетка имеет двуединую природу. С одной стороны - это микроскопический химический реактор, функционирующий в полном соответствии с законами биологической термодинамики, независимыми от изменения величины или направления вектора силы тяжести, с другой - механическая конструкция, находящаяся в гравитационном поле в напряженном состоянии.

Состояние механического напряжения, которое испытывает клетка в гравитационном поле, есть результат двух противоположно направленных процессов, пространственной рандомизации (неупорядоченности) внутриклеточных элементов с одной стороны и стремлением их к седиментации (осаждению) под действием силы тяжести. При этом следует иметь в виду, что внутреннее содержимое клетки - гетерогенная (неоднородная) среда, представленная набором разнообразных по функциональной активности и сильно различающихся по массе и размерам структур, что и определяет разную степень напряженности и уровень деформации этих структур в гравитационном поле.

Конечным результатом взаимодействия клетки с факторами окружающей среды вероятно должна стать перестройка ее внутреннего метаболизма, сопровождающаяся изменением уровнем энергетического обмена.

В принципе, существуют два основных способа взаимодействия клетки с гравитационным фактором: прямое (непосредственное) механическое воздействие на внутриклеточный континуум (содержимое) и опосредованное, через изменение физико-химических характеристик окружающей среды. В обоих случаях это взаимодействие осуществляется с помощью механорецепторов, своего рода «антенн», расположенных на внешней стороне клеточной мембраны, ограничивающей клетку от внешней среды.

Какова же вероятность влияния силы тяжести на живые системы на клеточном уровне их организации. И возможна ли идентификация (обнаружение) гравитационных эффектов в одноклеточных организмах, имеющих размеры, не превышающие 1 мм. Эта тема на протяжении длительного времени была предметом спора между сторонниками и противниками вероятности прямого влияния силы тяжести на клетку.

К настоящему времени многолетнюю дискуссию о возможности влияния силы тяжести на клетку можно считать завершенной. Ответ на поставленный в середине 60-х годов вопрос способно ли силы тяжести вызывать изменения в жизнедеятельности клетки может быть только положительным. К такому выводу пришли специалисты на основании всестороннего анализа большого количества данных, полученных в многочисленных экспериментах с различными типами клеток и клеточных популяций, выполненных в условиях реального космического полета (микрोगравитация) и при моделировании

эффектов измененной силы тяжести в лабораторных условиях на земле с использованием клиностата и центрифуги.

Как клетка чувствует изменение величины и направления вектора силы тяжести?

Каким же образом, и с помощью каких механизмов, клетка воспринимает сигнал об изменении напряженности гравитационного поля и трансформирует (передает) этот сигнал во внутриклеточный континуум. Для этого существуют несколько способов. Первый и наиболее изученный - восприятие сигнала с помощью специализированных гравирецепторов. Классическим примером здесь могут быть специализированные клетки статолиты, локализованные в корневой системе высших наземных растений. В цитоплазме этих клеток находятся гранулы, содержащие крупные крахмальные зерна - статолиты. По своим размерам и массе они существенно превышают остальные внутриклеточные структуры. При изменении положения клетки в пространстве в момент получения гравитационного стимула статолиты осаждаются под действием, производят давление на мембраны эндоплазматической сети. В результате механической деформации мембран изменяется их проницаемость, что ведет к перестройке метаболических процессов и в первую очередь к пространственному перераспределению ростовых гормонов как внутри клетки, так и в межклеточном пространстве. В итоге происходит неравномерный рост клеток на различных сторонах корня или стебля, что приводит к изгибу органа. Описанный нами в общих чертах процесс, известен как явление геотропизма у растений. В одноклеточных организмах или в животных клетках, где нет статолитов, эту роль могут выполнять ядро или другие внутриклеточные структуры, имеющие достаточно крупные размеры, а главное массу.

Общим для всех типов клеток в реакции гравитропизма (в случае с многоклеточными) или гравитаксиса (в случае с одноклеточными) является участие в этом процессе механорецепторов. Именно эти структуры первыми воспринимают физические сигналы из окружающей среды, в частности сигналы об изменении напряженности гравитационного поля и передают внутрь клетки.

Однако гравитационное поле является источником очень слабых сигналов в биологических системах такого уровня организации как клетка. Для того чтобы этот сигнал был воспринят рецептором, он должен быть выше уровня т.н. метаболического «шума» или, другими словами, обладать, по крайней мере, большей энергией, превышающей энергию теплового возбуждения (броуновского движения).

Существует несколько способов усиления этого сигнала. Прежде всего, это может произойти в результате накопления энергии большого количества одиночных сигналов, по принципу накопления фотонов света в фотоумножителе или путем локализации сигналов на небольшой по размерам площади, сравнимой с площадью сфокусированного светового луча.

Очень важно, чтобы эти процессы совпадали по времени с переходным периодом в метаболической активности клетки, что резко повышает чувствительность биологических систем молекулярного уровня к внешним воздействиям.

На наш взгляд, наиболее обоснованной и перспективной стратегией дальнейшего развития космической биологии и медицины, должны стать исследования, направленные на установление связей между изменениями, физиологических характеристик многоклеточных организмов и молекулярными механизмами, контролирующими и регулируемыми клеточный метаболизм, лежащий в основе этих изменений.

Какова же глубина этих изменений и как велика их опасность для организма в целом? Каковы компенсаторные возможности (способность к восстановлению) как самой клетки,

так и многоклеточного организма? Если они недостаточны, то, как усилить эндогенные (внутренние) возможности живой системы вмешательством извне? Какими способами (физическими воздействиями, химическими препаратами) можно осуществить коррекцию нарушенных действие гравитации процессов метаболизма клетки и организма в целом?

Естественно, что в настоящее время нет возможности ответить на все поставленные вопросы. Но есть, по крайней мере, один возможно наиболее правильный и весьма перспективный путь поиска.

Общеизвестно, что интенсивность энергетического обмена организма, одноклеточного или многоклеточного является интегральным показателем его функционального состояния. Любая биологическая система для сохранения своей структуры и поддержания жизнедеятельности нуждается в постоянном притоке энергии.

Энергетический обмен это широкое понятие, включающее процессы образования, транспортировки и утилизации энергии. Существование организма, как открытой термодинамической системы, невозможно без постоянного обмена веществом и энергией с окружающей средой. Живые системы создают свою структуру и организуют работу за счет внешних источников энергии (поглощения солнечной энергии, в случае с автотрофами - фотосинтезирующими организмами растениями или за счет потребления органических соединений в случае с гетеротрофами - животными организмами).

Влияние силы тяжести на энергетический обмен живых систем вытекает из теоретических положений гравитационной биологии. Например, при изменении параметров гравитационного поля (величины или направления вектора силы тяжести) одноклеточный или многоклеточный организм корректирует свое положение в пространстве, для чего необходима затрата определенного количества энергии. Это своего рода тотальный «налог» который должен заплатить любой организм за сохранение своей структуры и поддержания нормальной жизнедеятельности. Величина «налога» зависит от размеров и массы организма. Чем выше эти показатели, тем выше его цена.

Сказанному утверждению есть экспериментальное доказательство, полученные в многочисленных экспериментах в условиях измененной силы тяжести, с различными биологическими объектами, одноклеточными и многоклеточными организмами. Показано, что с уменьшением напряженности гравитационного поля, снижаются и общие затраты энергии живой системы. Отсюда, как и следовало ожидать, при экспонировании живых организмов на борту космического летательного аппарата (в условиях микрогравитации), общие энергозатраты живой системы, могут быть существенно ниже, чем в условиях нормальной силы тяжести на земле.

Для многоклеточного организма снижение уровня энергообмена в условиях микрогравитации происходит за счет снижения затрат энергии на мышечное сокращение вследствие снижения нагрузки на опорно-двигательный аппарат и другие гравитационно-зависимые энергоемкие процессы.

Для одноклеточного организма, эти затраты на поддержания его целостности, «правильного» расположения в пространстве и двигательную активность, в гравитационном поле земли, в условиях микрогравитации, становятся иными, точнее существенно снижаются, вследствие изменения параметров пространства и перераспределения в среде газов, органических соединений и микроэлементов и создания новых условий в среде.

Что дают биологические исследования в космосе науке и практике?

Теперь давайте посмотрим, какие выгоды уже получены, и, чего мы можем ожидать в перспективе от исследований в космосе для развития космической биологии и медицины, в

частности и биологической науки вообще.

Прежде всего, рассмотрим фундаментальный вклад. Безусловно, центральной проблемой гравитационной биологии было и остается обоснование роли и оценка значимости силы тяжести для живых систем как экологического фактора окружающей.

В свою очередь эта проблема рассматривается в двух взаимосвязанных аспектах: во-первых, в эволюционном, для выяснения роли силы тяжести в возникновении и развитии жизни на Земле, во-вторых, для выявления механизмов и степени их участия в восприятии и реализации действия силы тяжести в биологических системах в зависимости от уровня их организации.

Современное состояние космической биологии и медицины достаточно наглядно отражает ту степень внимания, которую проявляли к ним специалисты последовательно, на определенных этапах развития космонавтики. В первые десятилетия освоения космического пространства значительная часть научной информации была получена при изучении функциональных систем на уровне целого организм; сердечно-сосудистой, вестибулярной, кроветворной и опорно-двигательного аппарата. И это понятно, так как основное внимание уделялось физиологическим исследованиям, с единственной целью - оценить возможность и предельные сроки пребывания человека в космическом полете.

Как уже было сказано, эта задача была решена качественно и в кратчайшие сроки. В дальнейшем все больше внимание уделялось изучению молекулярных и клеточных механизмов, лежащих в основе тех изменений, которые наблюдались на системном (организменном) уровне.

Большое количество экспериментов было проведено на простейших системах - популяции (сообществе) одноклеточных организм, средой обитания которых является жидкость, и клетках растущих в культуре на твердом субстрате. В результате, было показано, что условия измененной силы тяжести (микрогравитация - при экспозиции клеток на борту космического летательного аппарата) или увеличенная сила тяжести (при вращении клеток на центрифуге), не только вызывают изменения поведенческих характеристик (скорости плавания или передвижения по субстрату) но могут существенным образом изменить форму, размеры и функциональную активность клеток. Другими словами были получены экспериментальные доказательства наличия в клетке структур и процессов, чувствительных к изменению параметров гравитационного поля. Это означало, что уже сегодня появилась возможность разработки и обоснования общих принципов молекулярных механизмов восприятия и реализации гравитационного стимула в клетке, что в свою очередь, позволяет выявить интегральные пути адаптации (приспособления) живых систем к действию силы тяжести на клеточном уровне.

Помимо, решения проблем, имеющих теоретическое, фундаментальное значение для развития гравитационной биологии, эти исследования, позволили получить ряд ценных в практическом отношении данных. В частности было показано, что, варьируя силой тяжести как переменной величиной можно регулировать и контролировать скорость роста и темпы деления клеток, а, следовательно, оптимизировать процессы ферментации и накопления биомассы в промышленных установках, применяемых в пищевой и медицинской промышленности. Кроме того, как было показано в экспериментах по изучению кристаллов, в том числе и органических (белковых) их выращивания в отсутствие силы тяжести (в невесомости), позволяет получить, больший по размерам, более совершенный по форме, «чистый» по своей внутренней организации кристалл.

Результаты этих исследований могут принести и уже приносят неоценимую пользу в электронной промышленности, при совершенствовании имеющихся и разработке новых технологии для получения сверхчистых, в том числе биологически активных веществ и медицинских препаратов, эффективность которых в сотни и тысяче раз выше «земных». К

сказанному необходимо добавить, изучение поведения клеток, растущих на твердом субстрате *in vitro* (в лабораторных условиях на искусственной питательной среде) в невесомости, очень важно для космической медицины и здравоохранения в целом.

Наконец, следует отметить, что исследования на культуре одноклеточных организмов и индивидуальных клеток, помимо космической биологии представляет интерес для совершенствования условий проведения экспериментов в других областях науки. Как известно, одной из нерешенных задач остается возможность достаточно точного измерения уровня гравитационных возмущений (микрогравитации), привносимых как техногенными (работой бортовых систем), так и антропогенным (людским) факторами. В этой связи, на наш взгляд, в дополнение к техническим методам, могли бы быть использованы биологические методы измерения микроускорений, в частности применение в качестве сенсора гравитации клетки, представляющей собой совершенную биомеханическую конструкцию.

Есть еще одно очень важное обстоятельство, которое нужно учитывать при решении первоочередных задач космической биологии. Это необходимость разработки и создания биологической системы жизнеобеспечения (БСЖО), которая рано или поздно должна придти на смену физико-химической или, по крайней мере, занять главенствующее положение в комбинированной системе жизнеобеспечения перспективных космических аппаратов. Здесь, космическая биология казалось, «работает» на себя. Однако эти исследования сулят существенные выгоды земной физиологии растений.

Исследования на высших растениях фотосинтезирующих одноклеточных организмах на борту космических аппаратов показали, что условиях космического полета, растения проходят все стадии развития, начиная с прорастания семян до образования первичных органов, цветения, оплодотворения и созревания нового поколения семян. Таким образом, была экспериментально доказана принципиальная возможность осуществления полного цикла развития растений (от семени до семени) в условиях микрогравитации.

Результаты космических экспериментов были настолько обнадеживающими, что позволили уже в начале 80-х годов сделать вывод о том, что разработка систем биологического жизнеобеспечения и создание на этой основе экологически замкнутой системы в ограниченном герметическом объеме является не столь уж сложной задачей. Однако с течением времени стало очевидно, что проблема не может быть решена окончательно, крайней мере, до тех пор, пока не будут определены (расчетным или экспериментальным путем) основные параметры, позволяющие сбалансировать массо - и энергопотоки этой системы.

Решение этой сложной задачи открывает широкие перспективы для развития ряда фундаментальных и прикладных проблем не только космической, но и земной физиологии растений, а именно:

- повысить эффективность роста и тем самым увеличить продуктивность растений;
- совершенствовать способы хранения урожая и сохранить полезные питательные свойства, и тем самым улучшить качество продуктов в рационе питания космонавтов - разработать новые технологии выращивания высших растений и культивирования автотрофных одноклеточных организмов;
- -создать новые типы растений с использованием методов биотехнологии и генной инженерии.

Разумеется, круг проблем гравитационной биологии гораздо шире и не ограничивается только исследованиями на клеточном уровне организации живой материи. Крайне важно для создания целостной картины получить информацию о поведении целого организма, развивающегося в условиях микрогравитации. В этой связи необходимо было определить

важнейшие стратегические направления исследований по проблемам биологии развития. Спектр вопросов в этом круге проблем очень широк - от момента оплодотворения и до старения организма. Для выяснения все характера и особенностей прохождения всех этапов индивидуального развития (онтогенеза) организма потребуются тщательно подготовленные и контролируемые в ходе их проведения эксперименты, направленные, в первую очередь, на изучения ранних стадий развития от оплодотворения до закладки осевых органов, так как этот период особенно чувствителен к действию силы тяжести.

В этой связи следует напомнить, что одним из ведущих факторов эволюционного процесса была и остается гравитация, поскольку все события, происходящие в живых системах, находятся под постоянным воздействием этого фактора. Какими бы ни были селективные или лимитирующие факторы, в ходе эволюции, они всегда действовали и продолжают действовать на фоне гравитационного поля.

Главным связующим звеном между клеткой и более высокими уровнями организации в цепи функциональных перестроек, происходящих в живых системах в процессе их приспособления к новым условиям существования, является регуляция. В этой связи, организация путей и оценка «стоимости» мобилизации энергетических ресурсов, необходимых для поддержания постоянства внутренней среды организма - гомеостаза, и управления механизмами функциональной системы гомеостаза осуществляется в результате тесного взаимодействия молекулярных, нервных, гормональных систем соответственно на клеточном и организменном уровнях.

Гравитационные силы - самые загадочные силы в природе. Необычно малые на уровне атомов, молекул и биологических микроструктур, именно эти силы явились первопричиной объединения масс до размеров гигантских небесных тел, формирования порядка (Космоса) во Вселенной, возникновения самой нашей планеты и зарождения жизни на ее поверхности.

М. Г. Таирбеков

доктор биологических наук,
заведующий лабораторией гравитационной биологии
ГНЦ РФ - Института медико-биологических проблем РАН