



Ильин Евгений Александрович, 1937 г.рождения, доктор медицинский наук, профессор, главный научный сотрудник ГНЦ РФ ИМБП РАН, работает в области космической биологии и физиологии с 1961 г. С 1970 г. по настоящее время является одним из руководителей работ по подготовке и проведению биологических экспериментов в полетах беспилотных (автоматических) космических аппаратов. Актовая речь произнесена 1 октября 2007 года на Ученом совете ГНЦ РФ ИМБП РАН в связи с 44-й годовщиной создания Института

**Российская академия наук
Государственный научный центр РФ -
Институт медико-биологических проблем РАН**

АКТОВАЯ РЕЧЬ

БИОЛОГИЯ В ПОЛЕТАХ БЕСПИЛОТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**МОСКВА
НОЯБРЬ 2007**

Введение

Успешное развитие медицинской науки связано с проведением целенаправленных экспериментальных исследований и наблюдений на животных. В благодарность за открытия, сделанные в медицине в экспериментах на животных, во многих городах и странах воздвигнуты памятники собаке, корове, кошке, лягушке и другим представителям животного мира. Многие памятники животным еще ждут своего открытия. "Только пройдя через огонь экспериментов, - писал великий русский ученый академик И.П.Павлов, вся медицина станет тем, чем быть должна, т.е. сознательной, а следовательно, всегда и вполне целесообразно действующей" (Павлов И.П. Полн. собр. соч. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951.Т. 11, кн. 2. С. 279).

Если говорить о достижениях космической медицины, то и они также в большой степени основываются на результатах биологической индикации космических трасс, т.е. на всестороннем анализе состояния физиологических систем подопытных животных.

Так, всем известно, что первому полету человека в космос предшествовали многочисленные запуски животных на ракетах и искусственных спутниках Земли. В этих экспериментах, носивших зачастую испытательный характер, изучали переносимость животными динамических факторов космического полета, в том числе невесомости, а также оценивали различные варианты систем жизнеобеспечения и телеметрического контроля за состоянием организма в полете. Можно с уверенностью сказать, что животные, являясь своеобразными разведчиками космоса, проложили путь человеку в космическое пространство.

В последующие годы, когда космические полеты человека стали регулярными, потребовались более глубокие и полные знания об особенностях функционирования организма при действии невесомости и других факторов полета. Получение этих знаний необходимо, прежде всего, для того чтобы понять механизмы адаптации живых систем к условиям космического полета и разработать на этой основе соответствующие практические рекомендации. Кроме того, проведение биологических экспериментов в космических полетах является своеобразным инструментом для изучения роли гравитации в осуществлении таких фундаментальных биологических процессов, как клеточное деление, передача наследственной информации, рост и развитие организмов. Не исключено, что биологические эксперименты в космических полетах помогут ответить в будущем и на вопрос о том, какую роль играет сила тяжести в происхождении и эволюции жизни на Земле.

Эксперименты на животных в космических полетах имеют в этом отношении ряд преимуществ по сравнению с исследованиями на человеке. Так, на животных можно проводить физиологические исследования с помощью датчиков, вживленных в различные органы, в частности в глубинные структуры мозга, в полости сердца и сосудов, в кости, в желудочно-кишечный тракт т.п. Можно осуществлять вскрытие животных и извлечение внутренних органов для последующих морфологических и биохимических исследований. Все это дает уникальную возможность комплексного изучения механизмов влияния факторов космического полета на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях организации.

Проведение экспериментов на большом количестве животных с одинаковыми генотипическими свойствами позволяет получать статистически достоверные результаты о влиянии факторов космического полета на изучаемые процессы жизнедеятельности.

Использование для экспериментов животных с коротким жизненным циклом делает возможным сравнительно быстрое получение данных об отдаленных биологических последствиях в нескольких поколениях.

Наконец, в экспериментах на животных изучают влияние невесомости и других факторов полета в "чистом" виде, т.е. не осложненным проведением профилактических мероприятий, обычно практикуемых в пилотируемых космических полетах.

Перечисленные преимущества получения научной информации в ходе экспериментов на животных и других живых системах следует рассматривать как существенное дополнение к исследованиям на людях, способствующее созданию прочного научного фундамента космической медицины.

Материал, представленный в актовой речи, не претендует на полноту изложения всех научных проблем, связанных с проведением биологических экспериментов в полетах беспилотных космических аппаратов и анализом полученных результатов. Его следует рассматривать как укрупненный обзор наиболее значимых результатов исследований по каждому этапу развития отечественной беспилотной космонавтики.

Эксперименты с собаками в полетах ракет (1951-60)

Систематические экспериментальные запуски ракет в верхние слои атмосферы с целью их постоянного совершенствования начались в СССР в 1949 г. Однако к экспериментам с животными в полетах ракет приступили в 1951 г., т.е. после того, как были созданы ракеты, способные достигать высот в 100 и 200 км. Запуски ракет продолжались до 1960 г. Работа проходила в условиях строгой секретности, и первые публикации с описанием проведенных экспериментов и полученных результатов появились лишь в 1958 г. в сборнике "Предварительные итоги научных исследований с помощью первых советских искусственных спутников Земли и ракет" (изд. АН СССР, 149 с.).

Фамилии авторов публикации в этом сборнике были вымышленными. Небезынтересно узнать, что В.Н.Черниговский был именован как В.Н.Чернов, О.Г.Газенко как О.Г.Горлов, В.И.Яздовский как В.И.Яковлев, А.М.Генин как А.М.Галкин, А.Р.Котовская как А.Р.Котова, А.Д.Серяпин как А.Д.Серов, И.И.Касьян как И.И.Косов и т.д. Эти специалисты хорошо известны как крупные ученые и организаторы науки. Им принадлежит заслуга проведения первых медико-биологических исследований на ракетах и первых искусственных спутниках Земли (ИСЗ), включая полет собаки Лайки на втором ИСЗ. По сути - это пионеры медико-биологических исследований в космосе в нашей стране, и, пользуясь случаем, хотелось бы выразить им дань уважения от тех, кто принял у них эстафету исследований в полетах беспилотных космических аппаратов. Вполне естественно, что экспериментам с собаками в полетах ракет предшествовала большая подготовительная работа. В ходе этой работы была создана герметичная кабина для двух собак, которая размещалась в головной части ракеты. В состав герметичной кабины входили два съемных лотка для крепления животных, регистрирующая аппаратура и инъекторная регенерационная установка с тремя баллонами для смеси воздуха с кислородом. В качестве поглотителя CO₂ был применен химический поглотитель известковый. Для некоторых полетных экспериментов были изготовлены скафандры для собак.

Основная задача исследований заключалась в оценке переносимости животными динамических факторов полета на этапах запуска ракеты, свободного падения, катапультирования, парашютирования и приземления.

Выбор собак в качестве объектов исследований был сделан в связи с тем, что их физиология хорошо изучена, они легко поддаются дрессировке и быстро привыкают к специфическим условиям эксперимента. Однако в отдельных полетах вместе с собаками в гермокабине размещали кролика и мышей.

Перечень запусков ракет с собаками приведен в табл. 1. В этой же таблице перечислены физиологические параметры, передаваемые по каналам радиотелеметрии. Во время полета проводилась киносъемка собак.

Таблица 1

Эксперименты с собаками в полетах ракет
Общая информация

Виды ракет	Дата запуска	Кол-во запусков	Продолжительность невесомости, (мин)	Телеметрируемые параметры
Ракета Р-2А Высота полета 100-110 км	1951 1954 1955 1956	6 3 3 3	3,7	• частота сердечных сокращений • ЭКГ • артериальное давление • температура кожи • частота дыхания • поведение
Ракета Р-2 Высота полета 212 км	1957 1958 1959 1960	5 2 2 2	6,0	
Ракета Р-5 Высота полета 450-473 км	1958	3	10,0	

Полет ракет проходил со скоростью 4200 км/час. Торможение в зависимости от высоты полета начиналось через 3-5 мин после старта. Максимальные величины перегрузок при старте и открытии парашюта не превышали 8 g. Максимальная длительность невесомости составляла 10 мин.

Эксперименты на ракетах проведены на 59 собаках, некоторые из них запускались на ракетах дважды, а собака Отважная запускалась на ракетах пять раз. Некоторые из собак погибли либо в первом, либо во втором полете. Основная причина - неполадки в парашютной системе.

Исследования на собаках до, во время и сразу после полета на ракете не выявили каких-либо существенных изменений в состоянии сердечно-сосудистой и дыхательной систем, поведении и общем состоянии животных. Установлено, что наиболее физиологически значимыми факторами полета на ракете являлись шум работающих двигателей, вибрации, а также ускорения взлета и спуска.

При действии этих факторов отмечено повышение артериального давления, учащение пульса и дыхания. В невесомости происходила нормализация этих показателей. На основании проведенных исследований был сделан вывод, что космическая радиация при полетах ракет до высоты 450 км не представляет какой-либо опасности.

Разработанная для экспериментов на ракетах система жизнеобеспечения животных продемонстрировала свою эффективность на различных стадиях полета, включая стадии катапультирования и спуска на парашюте с большой высоты.

Таким образом, проведенные эксперименты продемонстрировали возможность сохранения жизни на этапах взлета ракеты, пребывания в условиях кратковременной невесомости и возвращения из верхних слоев атмосферы на землю.

Биологический эксперимент в полете второго искусственного спутника Земли (1957)

3 ноября 1957 г., т.е. через месяц после успешного запуска первого в мире искусственного спутника Земли (ИСЗ), стартовал второй ИСЗ, на борту которого в орбитальный космический полет отправилась собака Лайка, ставшая олицетворением дерзновенных планов покорения человеком космического пространства.

Подробные публикации, посвященные биологическим экспериментам в полетах ракет и первых ИСЗ появились лишь в 1962 году, т.е. после успешного выполнения первых пилотируемых космических полетов (Сборник "Проблемы космической биологии", изд. АН СССР, 1962, том 1). В одной из этих публикаций с невымышленными, а настоящими фамилиями авторов описан перечень проблем, которые пришлось решить специалистам института авиационной медицины МО СССР и АН СССР при подготовке к запуску в космос собаки Лайки (Газенко О.Г., Черниговский В.Н., Яздовский В.И., 1962). Это разработка методик отбора и предполетной тренировки животных, изучение переносимости длительно действующих ускорений и вибраций, характерных для периода выведения ИСЗ на орбиту, разработка методов телеметрической передачи физиологических параметров на Землю и, наконец, создание систем жизнеобеспечения животного в космическом полете. Все это потребовало большой экспериментальной отработки и биотехнических испытаний в лабораторных условиях и на специальных стендах.

Исходя из требований строгой экономии веса и габаритов для ИСЗ-2, была сконструирована герметичная кабина для животного (ГКЖ) в форме цилиндрического контейнера, в котором наряду с собакой компактно размещались система жизнеобеспечения и аппаратура для научных исследований. Длина ГКЖ составляла 800 мм, диаметр - 640 мм. ГКЖ в передней части имела съемную крышку с иллюминатором из органического стекла для наблюдения за животным в наземных условиях в период подготовки к полету. Собака Лайка размещалась в отсеке ГКЖ, пол которого был выстлан пробковым листом, а боковые стенки - фетровой тканью. Собака фиксировалась в кабине с помощью передних и задних цепочек, крепившихся к тканевой одежде, которая имела отверстия для головы, конечностей, хвоста и патрубка ассенизационного устройства. Натяжение цепочек было таким, чтобы позволять собаке занимать положения стоя и лежа и пользоваться кормушкой.

На животном были размещены потенциометрический датчик дыхательных движений, манжета на сонной артерии с пьезоэлектрическим датчиком для регистрации осцилляций сосудистой стенки с целью измерения артериального давления и вживленные серебряные электроды для регистрации ЭКГ в одном отведении. К фиксирующей одежде крепился потенциометрический датчик для регистрации двигательной активности животного. В состав аппаратуры для медицинских исследований входили также усилительно-коммутационный блок с двумя усилителями биопотенциалов и источники электропитания. Во время орбитального полета спутника физиологические параметры по каналам радиотелеметрии передавались на наземные станции слежения.

Из десяти обследованных собак по результатам предполетной подготовки, которая включала, в частности, длительное (от 6 до 20 суток) пребывание в ГКЖ, была отобрана собака Лайка, короткошерстная самка в возрасте около двух лет, массой 6 кг.

Для полетного эксперимента, длительность которого была рассчитана на 7 суток, была приготовлена питательная смесь в виде геля, являющаяся одновременно источником пищи и воды. В кормушку перед полетом было загружено 2,5 л геля, содержащего мясной порошок, сухарный порошок, жир говяжий, агар-агар, салициловую кислоту и воду. Калорийность всей смеси составляла 2500 ккал, что соответствовало возможным энерготратам животного в недельном полете.

Газовая среда в ГКЖ второго ИСЗ поддерживалась высокоактивными химическими реагентами, которые наряду с поглощением углекислоты и влаги выделяли необходимое количество кислорода. Побудителем тока воздуха через регенерационную установку служили моторы с вентиляторами.

В соответствии с программой полета предусматривалась передача на Землю по каналам радиотелеметрии таких параметров как ЭКГ, частота дыхательных движений, величина максимального артериального давления, двигательная активность животного, барометрическое давление и температура воздуха в ГКЖ. К сожалению, не все задуманное удалось реализовать. Во время первых трех витков спутника вокруг Земли - это 4,5 часа полета, научная информация поступала в полном объеме, а, начиная с четвертого витка, качество телеметрической физиологической информации стало таким, что ее было невозможно расшифровать. В это время, т.е. к пятому часу орбитального полета, температура воздуха в ГКЖ поднялась до 410С, что, как показали последующие наземные эксперименты, явилось причиной гибели собаки.

Таким образом, полет Лайки - это первый опыт многочасового пребывания живого существа в условиях невесомости. Детальный анализ изменений частоты сердечных сокращений, ЭКГ и частоты дыхательных движений, зарегистрированных в первые часы космического полета Лайки, показал, что период выведения спутника на орбиту Лайка перенесла удовлетворительно, а в орбитальном полете отмечалась нормализация регистрируемых функциональных показателей. Все это свидетельствовало о том, что жизнь в условиях длительной невесомости возможна.

И это был основной фундаментальный итог исторического биологического эксперимента на втором ИСЗ (Балаховский И.С., Газенко О.Г., Гюрджиан А.А. и др., 1962). В знак благодарности собаке Лайке за ее вклад в космическую биологию и медицину и в ознаменование 50-летия ее полета в космос перед входом в институт, где готовился этот полет, будет установлен бронзовый памятник с ее точной копией.

Полеты возвращаемых на Землю космических аппаратов (1960-66)

Полетом собаки Лайки начались планомерные исследования на животных актуальных проблем космической биологии. По крайней мере, сейчас можно с уверенностью сказать, что заключение о возможности жизни в условиях невесомости, сделанное на основе полета Лайки, в определенной мере ускорило создание в СССР космического аппарата (КА) "Восток" для полета человека. Однако оставалось много нерешенных медико-биологических проблем в связи с чем в 1960-61 г.г. в четырех полетах модифицированных КА "Восток", объявленных в прессе как космические корабли-спутники (КС), были проведены физиологические и биологические эксперименты на шести собаках, грызунах и ряде других биообъектов (табл. 2).

Впервые на втором КС собаки Белка и Стрелка, а также другие животные были успешно возвращены на Землю для последующих исследований. Наряду с изучением влияния на организм невесомости в этих полетах продолжительностью до 27 ч испытывали созданные для пилотируемых полетов систему жизнеобеспечения и аппаратуру телеметрического контроля за состоянием организма.

Таблица 2

Полеты животных на космических кораблях - спутниках
(беспилотные модифицированные корабли "Восток")

Корабль-спутник (КС)	Год запуска	Длительность полета, часы	Биообъекты	Регистрируемые параметры
КС - 2	19.08.1960	27	Две собаки и грызуны	У собак регистрировали: • ЧСС • АД • Частоту дыхания • Температуру тела
КС - 3	01.12.1960	24	Две собаки и грызуны	
КС - 4	09.03.1961	1,92	Одна собака и грызуны	
КС - 5	25.03.1961	1,92	Одна собака и грызуны	

Примечание: КС - 3 сгорел в плотных слоях атмосфер при возвращении на землю

Собаки на борту КС размещались в катапультируемых контейнерах. Система их фиксации в контейнерах была в значительной степени заимствована из того, что было в свое время разработано для полета собаки Лайки. В полетах КС-2 и КС-3 собакам дважды в сутки предоставлялась возможность поесть питательную смесь студнеобразной консистенции, находящуюся в автомате кормления. Послеполетный анализ видеозаписей и осмотра кормушек показал, что животные во время полета корм съедали. На активном участке полета наблюдали

учащение ЧСС и частоты дыхательных движений, повышение систолического артериального давления. Нормализация этих параметров началась через несколько минут пребывания в невесомости. В условиях невесомости собаки вели себя спокойно, каких-либо существенных нарушений координации движений не выявлено.

Послеполетное обследование собак показало, что в состоянии животных после полетов продолжительностью до 27 часов не произошло каких-либо существенных изменений в поведении, а также в исследуемых клинико-физиологических и биохимических показателях. Через полтора часа полета все исследуемые физиологические параметры были такими же, как до полета.

Морфологические и биохимические исследования органов и тканей мышей, экспонированных на борту КС, также не выявили каких-либо патологических изменений (Антипов В.В., Баевский Р.М., Газенко О.Г. и др., 1962).

В исследованиях на других биообъектах (дрозофилы, семена, проростки, микроорганизмы и биопрепараты) после полетов на КС основное внимание уделялось анализу влияния факторов космического полета на мутабельность, явления репарации, рекомбинации и другие элементарные процессы, изменения которых могли бы служить индикаторами биологической опасности космических трасс, по которым в будущем предстояло летать человеку. Установлено, что невесомость не обладает мутагенной активностью, т.е. не является мутагеном, по крайней мере, в отношении генных и хромосомных мутаций. Одновременно с этим было высказано предположение о том, что невесомость может оказывать влияние на поведение хромосом в промежуточные этапы между образованием хромосомных разрывов и фиксацией мутаций (Парфенов Г.П., 1975, 1987).

Таким образом, биологические эксперименты в полетах кораблей-спутников позволили решить много важных вопросов и получить основные отправные данные для чрезвычайно ответственного заключения о том, что полет человека по круговой орбите, расположенной заведомо ниже околоземных радиационных поясов, будет с биологической и медицинской точек зрения безопасен для его здоровья и жизни (Сисакян Н.М., Парин В.В., Черниговский В.Н., Яздовский В.И., 1962).

Подготовку и проведение исследований на возвращаемых космических кораблях-спутниках в 1960-61 г.г. осуществляли специалисты Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины МО СССР (в прошлом институт авиационной медицины).

Следующий и последний эксперимент с двумя собаками в космосе был подготовлен в ИМБП и проведен в 1966 году на космическом аппарате "Космос-110" - одном из неиспользованных кораблей "Восток". Это был первый самый длительный, в течение 22 суток, космический полет живых существ. К этому времени длительность полетов отечественных космических пилотируемых кораблей не превышала 5 суток. Исследования, проведенные специалистами института медико-биологических проблем МЗ СССР во время полета КА "Космос-110" и в период реадaptации выявили многочисленные нарушения во многих функциональных системах собак и, прежде всего, в мышечной и костной (Парин В.В., Правецкий В.Н. и др., 1968). Это дало основание впервые со всей серьезностью поставить вопрос о необходимости разработки и внедрения в пилотируемую космонавтику средств и методов профилактики неблагоприятного влияния невесомости на организм.

Программа "Бион" (1970-1997)

Придавая важное значение исследованиям в области космической биологии для дальнейшего прогресса космонавтики и развития естествознания, в нашей стране разработана и в настоящее время успешно осуществляется долгосрочная программа биологических экспериментов в космических полетах. Эти эксперименты проводятся на борту пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, а также в полетах беспилотных летательных аппаратов. Среди последних следует особо выделить биологические спутники - искусственные спутники Земли, специально предназначенные для проведения в орбитальных космических полетах экспериментов с различными представителями животного и растительного мира, а также с изолированными клетками и тканями животных и растений.

В период с 1973 по 1996 год было запущено 11 биоспутников "Бион", объявленных в прессе как биоспутники "Космос".

В полетах биоспутников "Бион" решались следующие основные задачи:

- изучение механизмов влияния невесомости на структурно-функциональные показатели физиологических систем, рост и развитие организмов;
- исследование принципиальной возможности использования искусственной силы тяжести для поддержания оптимального функционального состояния организма в космическом полете;
- изучение модифицирующего влияния невесомости на радиочувствительность млекопитающих.

В выполнении программы "Бион" наряду с отечественными специалистами с 1975 г. (т.е. с полета биоспутника "Космос-782") участвовали специалисты Болгарии, Венгрии, Германии, Нидерландов, Польши, Румынии, Чехословакии, США, Канады, Франции и Китая.

При этом некоторые биологические объекты и аппаратура поставлялись на борт биоспутников зарубежными странами, в частности Чехословакией, США и Францией. Объектами исследований в полетах биоспутников "Космос" являлись бактерии, клетки и ткани, семена, низшие и высшие растения, беспозвоночные, пресмыкающиеся, рыбы и млекопитающие (крысы и обезьяны). Всего в полетах 11 биоспутников было использовано для исследований 37 наименований различных биологических объектов, однако основными объектами исследований являлись крысы линии Вистар (табл. 3) и обезьяны макаки резусы (табл. 4 и 5).

Для содержания биологических объектов на борту биоспутника и проведения исследований в полете была разработана оригинальная аппаратура, не имеющая аналогов в мировой практике биологических исследований в космосе: блоки для одиночного и стадного содержания крыс в условиях длительной невесомости, капсулы для содержания обезьян и проведения на них физиологических исследований, три вида центрифуг для создания искусственной силы тяжести в космических полетах, приборы для дозированного облучения животных в полете от источника γ -излучения ^{137}Cs , термостатируемые контейнеры, оранжереи для выращивания растений и их автоматической фиксации в полете, инкубатор для яиц перепелки, различные типы контейнеров, вживляемые биотелеметрические передатчики температуры тела, дозиметры и другая аппаратура.

Таблица 3

Эксперименты с крысами в полете КА "Бион"

Биоспутник	Год запуска	Продолжительность полета (сутки)	Направления исследований
Бион-1	1973	21,5	Изучение биологического действия невесомости
Бион-2	1974	20,5	Изучение комбинированных эффектов невесомости и радиации
Бион-3	1975	19,5	Изучение биологического действия невесомости
Бион-4	1977	18,5	Изучение биологического действия невесомости и искусственной силы тяжести
Бион-5	1979	18,5	Изучение биологического действия невесомости
Бион-6	1983	5	Изучение влияния невесомости на пренатальное развитие
Бион-7	1985	7	Изучение биологического действия невесомости
Бион-8	1987	12,5	Изучение биологического действия невесомости
Бион-9	1989	14	Изучение особенностей заживления повреждений мышц и костей в условиях невесомости

Таблица 4

Эксперименты с макаками резусами в полете КА "Бион"

Биоспутник	Год запуска	Продолжительность, сутки
Бион-6	1983	5
Бион-7	1985	7
Бион-8	1987	12,5
Бион-9	1989	14
Бион-10	1992	11,6
Бион-11	1996	13,7

Таблица 5

Регистрируемые параметры в полетных экспериментах с обезьянами

• Нейрональная активность вестибулярных ядер головного мозга • Электроокулограмма • Углы поворота головы • Условные двигательные рефлексы • Электrokортикограмма • рО₂ в коре мозга • Артериальное давление • Скорость кровотока в общей сонной артерии	• Реопневмограмма • ЭМГ мышц шеи • ЭМГ мышц голени • Усилие, развиваемое сухожилием • Общая двигательная активность • Нажатие на ножную педаль • Электрогастрограмма
---	--

Принципиальной особенностью программы "Бион" явился ее комплексный характер, сочетающий в себе одновременное использование физиологических, морфологических и биохимических методик исследований на большом количестве биологических объектов.

Другой особенностью явилось проведение в наземных условиях так называемых синхронных контрольных экспериментов. В этих экспериментах, проводившихся в макетах биоспутников практически одновременно с полетами биоспутников, имитировали все физиологически значимые факторы космического полета за исключением невесомости. Это позволило провести тщательный сравнительный анализ состояния животных, находившихся в условиях космического полета и на Земле, и сделать на этой основе более аргументированные выводы о влиянии невесомости или других факторов космического полета на процессы жизнедеятельности.

Следующей методической особенностью программы "Бион" явилось то, что первый этап послеполетных исследований выполняли непосредственно в районе приземления спускаемых аппаратов биоспутников в специально разработанных полевых лабораториях, оборудованных системой кондиционирования воздуха, что давало возможность проводить намеченные исследования практически в любое время года и в любых погодных условиях. Такой подход к проведению послеполетных исследований позволял начинать работу с биологическим материалом уже через 3-5 часов после приземления биоспутника, что являлось важным для дифференцировки изменений, обусловленных эффектами невесомости, с одной стороны, и влиянием факторов спуска с орбиты, приземления и последующей реадаптации к условиям земной гравитации, с другой.

Основные результаты исследований по программе "Бион"

Структурно-функциональные изменения в физиологических системах организма млекопитающих. Выбор крыс, а затем и обезьян в качестве основных объектов исследований на биоспутниках предопределил необходимость проведения специальных предполетных лабораторных исследований, направленных на уточнение биометрических и физиолого-гигиенических характеристик этих животных, а также оценку переносимости ими ряда факторов, характерных для

различных этапов космического полета. В дальнейшем в итоге многочисленных наземных исследований были отработаны схемы и методики проведения различных видов экспериментов на борту биоспутников, разработана процедура отбора и тренировки животных к космическим полетам, составлены полетные рационы кормления животных, обоснованы принципы построения систем жизнеобеспечения животных, разработаны методики телеметрического контроля за состоянием животных в космическом полете и т.п.

Комплексные физиологические, морфологические и биохимические исследования на крысах и обезьянах в полетах биоспутников "Бион" позволили получить уникальную информацию прежде всего о закономерностях влияния невесомости на организм.

Известно, что адаптация к различным необычным факторам внешней среды и патогенным раздражителям имеет в своей основе некоторые общие механизмы, а именно повышение функциональной активности симпатико-адреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем организма. При изучении реакций организма на интенсивные физические нагрузки, высотную гипоксию и холод была вскрыта еще одна общность в механизмах адаптации организма - это активизация генетического аппарата в клетках, ответственных за адаптацию физиологических систем (Меерсон Ф.З., 1973).

Анализируя характер обнаруженных изменений в организме крыс под влиянием условий космического полета, исходили прежде всего из того, что всякая более или менее длительная адаптация должна оставлять определенный "след" в организме. Как известно, при стрессе такими "следами" являются признаки активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и щитовидной железы, инволюция лимфоидных органов, лейкоцитоз, лимфо- и эозинопения, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки. Другие структурно-функциональные изменения в физиологических системах организма крыс в экспериментах на биоспутниках анализировались с точки зрения их специфичности прежде всего по отношению к невесомости.

Результаты исследований показали, что пребывание крыс в невесомости в течение 18-22 суток не сопровождалось появлением в тканях, органах и физиологических системах патологических изменений. При этом у крыс обнаружен ряд достаточно выраженных структурных и метаболических изменений, носящих в основном приспособительный характер (Газенко О.Г., Ильин Е.А. и др., 1981; Капланский А.С., Савина Е.А., 1981). Условно эти изменения можно разделить на 2 группы - неспецифические, характерные для общего адаптационного синдрома (т.е. стресса), и специфические, обусловленные воздействием невесомости. Такое деление является, конечно, условным, поскольку так называемые специфические изменения могут развиваться, как известно, не только при действии невесомости, но и при ограничении двигательной активности.

Эксперименты на животных в условиях космического полета позволили прояснить значимость невесомости как одного из возможных стрессогенных факторов полета. Для этого использовались физиологические, морфологические и биохимические методы исследований. У крыс, находившихся в условиях невесомости в течение трех недель, не выявлено сколь-либо существенных изменений в поведении, суточных колебаниях температуры тела и двигательной активности. У обезьян, которые находились в космических полетах продолжительностью от 5 до 14 суток, биоритмы температуры тела и частоты сердечных сокращений были синхронизированы с ритмом освещения "день-ночь" (Alpatov A.M. et al., 1998). Изменений в состоянии высшей нервной деятельности не обнаружено (Shlyk G. et al., 1998).

Все это свидетельствовало о том, что животные в условиях невесомости не испытывали психоэмоционального стресса. В этой связи был поставлен вопрос, не сопровождается ли адаптация животных к невесомости развитием общего адаптационного синдрома, т.е. появлением неспецифических реакций адаптации. Морфологические исследования гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, лимфоидных органов и системы крови животных после окончания космических полетов не выявили у них признаков хронического стресса, обусловленного пребыванием в невесомости (Капланский А.С. с соавт., 1980; Дурнова Г.Н. с соавт., 1980; Ильин Е.А. с соавт., 1989; Григорьев А.И. с соавт., 1996). Содержание катехоламинов и тирозин гидроксилазы - фермента, синтезирующего катехоламины, после полета в мозговом слое надпочечников было таким же, как и у контрольных животных (Кветнянский Р. с соавт., 1992). После-полетные пробы с иммобилизационным стрессом не выявили признаков истощения адреномедуллярной системы под влиянием невесомости, что дополнительно свидетельствовало в пользу отсутствия хронического стресса у животных в космическом полете.

Вместе с тем морфо-функциональные исследования гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, лимфоидных органов и периферической крови крыс после окончания космических полетов продолжительностью до трех недель выявили комплекс изменений, свидетельствующих о развитии острого гравитационного стресса в связи с воздействием на организм перегрузок спуска с орбиты и переходом от условий невесомости к условиям естественной, т.е. земной гравитации (Португалов В.В. с соавт., 1976; Дурнова Г.Н. с соавт., 1977; Савина Е.А., 1978; Тигранян Р.А. с соавт., 1979; Serova L.V., 1980; Grigorev A.I. et al., 1997). Резкое увеличение содержания кортизола в крови у обезьян сразу после окончания полета также свидетельствовало об остром гравитационном стрессе в связи с возвращением на Землю (Grindeland R. et al., 2000).

Результаты исследований на животных заставляют сделать предположение о том, что, по-видимому, и в начальной фазе полета возникал острый стресс в связи с воздействием на организм шума, вибраций и ускорений на этапе вывода космического аппарата на околоземную орбиту. Однако последующее пребывание животных в условиях космического полета сопровождалось постепенной адаптацией к невесомости без каких-либо признаков хронического стресса. В пользу этого предположения свидетельствуют данные об отсутствии гистоморфологических изменений в надпочечниках и тимусе крыс, декапитированных в невесомости непосредственно на 13-е сутки эксперимента на борту американской медико-биологической лаборатории "Спейслэб-2" (Капланский А.И. с соавт., 1995; Григорьев А.И. с соавт., 1996).

Несмотря на столь казалось бы очевидные результаты биохимических и морфологических исследований, свидетельствующих об отсутствии стрессового эффекта невесомости, не все исследователи соглашались с такими выводами. В частности, Степанова С.И. (2006) полагает, что целостная картина стресс-синдрома не исчерпывается показателями активности гипофиза и надпочечников и поэтому предлагает искать стрессорные ответы в так называемых специфических реакциях организма на невесомость. К числу специфических изменений, которые были обнаружены у животных после их пребывания в невесомости, следует отнести, прежде всего, дегидратацию организма, увеличенную экскрецию натрия, калия и кальция, атрофию антигравитационной мускулатуры и остеопению.

Водно-солевой обмен. Изменения водно-солевого обмена у крыс, находившихся в невесомости, имели принципиально такой же характер, как и у человека в период после окончания космического полета (Ильин Е.А., Наточин Ю.В. и др., 1980). Вместе с тем у крыс не выявлено отчетливых признаков перераспределения крови в головной конец туловища, а это свидетельствует о том, что рефлекс Генри-Гауера не является единственным пусковым механизмом возникновения изменений водно-солевого обмена в невесомости. Исследования на крысах показали, что изменения функционального состояния почек в невесомости также могут рассматриваться в качестве одной из причин увеличенного выведения жидкости и электролитов из организма.

Мышечная система. У крыс, находившихся в невесомости до 22 сут., обнаружены анатомические, гистологические и биохимические свидетельства развития мышечной атрофии. Выраженность функциональной атрофии коррелировала со степенью участия мышц в осуществлении антигравитационной функции. Наиболее существенные изменения обнаружены в мышцах голени и, прежде всего, в камбаловидной мышце, т.е. в медленных мышцах-экстензорах (Ильина-Какуева Е.И., Португалов В.В., Кривенкова Н.П., 1977, 1979).

Эти изменения характеризовались уменьшением мышечной массы и истончением мышечных волокон. Единичные мышечные волокна подвергались дистрофическим изменениям и макрофагии. Встречались также волокна с нарушением параллельного хода миофибрилл, их лизисом и фрагментацией.

В медленных мышечных волокнах изменения были более существенными, чем в быстрых. Так, на поперечных срезах икроножной мышцы обнаружено уменьшение на 15,7 % величины отношения общей площади медленных волокон к общей площади быстрых волокон, что свидетельствует о трансформации медленных мышечных волокон в быстрые. Такая же закономерность была установлена и для подошвенной мышцы. В длинном разгибателе пальцев трансформации мышечных волокон не наблюдали. При изучении в послеполетный период сократительных свойств мышц обнаружено снижение силовых характеристик длинного разгибателя пальцев и камбаловидной мышцы (Оганов В.С., Потопов А.Н., 1976; Оганов В.С., Потопов А.Н., 1979), что, по всей вероятности, объясняется уменьшением площади поперечного сечения мышечных волокон и частичной трансформацией медленных мышечных волокон в быстрые.

Биохимические исследования выявили уменьшение в камбаловидной мышце содержания миофибриллярных и саркоплазматических белков (Гаевская М.С., Ушаков А.С., Белицкая Р.А. и др., 1976) при одновременном увеличении содержания гликогена и жиров (Ильина-Какуева Е.И., Португалов В.В., 1979; Baranski S. et al., 1979). Было установлено, что в мышцах с большим процентным содержанием медленных волокон происходило более интенсивное расщепление миофибриллярного белка и снижение активности сукцинатдегидрогеназы, чем в мышцах с преобладанием быстрых волокон. В скелетных мышцах крыс обнаружено снижение синтеза белка, особенно сократительных белков (Thomason D.B. et al., 1992) и увеличение катаболизма белка (Rilly D.A. et al., 1990, 1992). О влиянии невесомости на метаболизм в мышцах указывало также изменение активности 16 ферментов в единичных мышечных волокнах камбаловидной и передней большеберцовой мышц.

У искусственно травмированной перед полетом камбаловидной мышцы крыс заживление в невесомости происходило более медленно, чем в контроле (Ильина-Какуева Е.И., Burkovskaya T.E., 1991).

Мышечная система обезьян реагировала на условия невесомости таким же образом, как и у крыс. Атрофия была обнаружена в камбаловидной, икроножной передней большеберцовой мышце и в латеральной головке 4-главой мышцы нижних конечностей и 3-главой мышце плеча (Bodine-Fowler S.C. et al., 1992; Chopard A. et al., 2000).

Трансформация медленных мышечных волокон в быстрые происходила в мышцах как верхних, так и нижних конечностей (Fitts R.H. et al., 2000).

Мышечная атрофия в невесомости сопровождалась атрофическими изменениями в мышечно-сухожильных соединениях (Carnino A. et al., 2000).

Одной из задач исследований на обезьянах в полетах биоспутников "Бион" являлось изучение влияния невесомости на сенсомоторную систему. Для этого обезьянам вживляли электроды для регистрации ЭМГ четырех мышц нижних конечностей и двух мышц верхних конечностей. Помимо этого на сухожилии медиальной икроножной мышцы крепили датчик для регистрации мышечного усилия во время специальных двигательных тестов, выполняемых нижними конечностями. В условиях невесомости ЭМГ различных мышц в покое и при выполнении дозированных двигательных тестов характеризовалась своими специфическими функциональными сдвигами, свидетельствующими о нарушении центрального звена контроля движениями, по-видимому, в связи с изменением проприоцепции из-за весовой разгрузки и отсутствия привычных мышечных усилий (Kozlovskaya I., 1989).

Костная система. В экспериментах с крысами наиболее выраженные изменения под влиянием невесомости наблюдали в тех звеньях скелета, которые несут наибольшую весовую нагрузку в условиях земной гравитации, т.е. в длинных трубчатых костях конечностей и в позвонках. Эти изменения проявлялись развитием остеопении в связи с усилением резорбции губчатой ткани (Ягодновский В.С. и др., 1976) и резким замедлением процессов образования и роста кости (Morey-Holton E.R. and Arnoud S.B., 1991). Прежде всего страдал процесс периостального костеобразования (Cann C.E. and Adachi R.R., 1983; Wronski T.J. et al., 1987; Капланский А.С., 1990). Однако наблюдали также и замедление роста костей в длину. Одна из причин этого - замедление процесса образования остеобластов и уменьшение их содержания в ростковых зонах кости (Jee W.S.S. et al., 1983; Garetto L.P. et al., 1990). Относительно активности остеокластов получены противоречивые результаты. Об ингибировании новообразований и усилении резорбции костной ткани свидетельствовали также данные об угнетении активности щелочной фосфатазы и повышении активности кислотной фосфатазы в костях предплечья (Попова И.А., Тигранян Р.А., 1981).

Замедление прироста костной ткани в невесомости в определенной степени связано и с нарушением минерального обмена в костях. Обнаружено перераспределение минералов в пределах одной кости и строго локальный характер деминерализации костной ткани. Так, снижение содержания кальция, фосфора и остеокальцина было выявлено только в дистальном диафизе кости (Mechanic G.L. et al., 1990). При этом, по данным Прохончукова А.А. (1982), общее содержание минералов в золе цельной кости не меняется, а по данным Mechanic G.L. et al., 1990, под влиянием невесомости общее содержание минералов в костях конечностей уменьшается.

Одним из итогов развития в невесомости остеопении является выявленное в экспериментах с крысами снижение механической прочности костей конечностей и позвонков (Ступаков Г.П., 1980; Zernicke R.F. et al., 1990) и замедление образования костной мозоли в поврежденной кости (Капланский А.С. и др., 1991).

Исследования костной ткани в полетных экспериментах с обезьянами не были столь многочисленными, как на крысах, однако они выявили те же закономерности, которые были описаны выше. Это снижение минерализации гребешка подвздошной кости (Zerath E. et al., 1991), замедление прироста костной массы поясничного позвонка (Оганов В.С. и др., 2000), замедление образования остеобластов и костной ткани в гребешке подвздошной кости (Родионова Н.В. и др., 2000). Получены данные и об изменении метаболизма коллагена костной ткани в условиях невесомости (Martinez D.A. et al., 2000).

Основной причиной развития изменений в костной ткани в условиях невесомости является исчезновение весовой нагрузки на кости. Однако нельзя не учитывать и перестройки гормональной регуляции в невесомости. В пользу этого свидетельствует снижение концентрации паратиреоидного гормона, кальцитонина и 1,25-дегидроксивитамина D3 в сыворотке крови обезьян после полета (Arnaud S.B. et al., 2000), а также снижение концентрации гормона роста и тестостерона (Grindeland R.E. et al., 2002).

Вестибулярная система. Известно, что вестибулярная система играет ключевую роль в развитии так называемого адаптационного синдрома в условиях невесомости. В многочисленных экспериментах на лягушках, рыбах и крысах изучались преимущественно морфологические и, за редким исключением, нейрофизиологические реакции вестибулярного аппарата как периферического звена вестибулярной системы и реакции вестибулярных ядер, расположенных в среднем мозгу и мозжечке (Лычаков Д.В. и др., 1989; Краснов И.Б., 1986; Ross V.D., 1993; Boyle R. et al., 2001). Однако только в экспериментах на обезьянах стало возможным проведение непосредственно в условиях космического полета физиологических исследований периферического и центрального отделов вестибулярной системы. Эти исследования, которые имели приоритетный характер, были проведены на 11 обезьянах макаках резусах массой 3-5 кг в шести полетах российских биоспутников "Бюи" в период с 1983 по 1996 г. по совместной российско-американской программе. обращает на себя внимание высокий методический уровень проведенных исследований, включающий, в частности, использование в полетемикро-электродной техники для регистрации электрической активности популяции вестибулярных нейронов головного мозга и использование функциональных проб для изучения реакций вестибулярной системы на угловые и линейные ускорения (Kozlovskaya I.B. et al., 1985, 1989; Sirota V.G. et al., 1987).

Угловые ускорения создавались поворотами головы вправо и влево в горизонтальной плоскости на 40° от срединной линии для фиксации взора на световой мишени. С помощью этого теста изучали влияние невесомости на реакцию установки взора, в основе которой лежит вестибуло-глазодвигательное взаимодействие. Линейные ускорения создавались в полете вертикальными перемещениями кресла с обезьяной - медленным подъемом на 45 мм и быстрым спуском (сбросом) на исходную позицию. Линейное ускорение при спуске кресла составляло $11.0 \times 10^{-3} \text{ g}$. Этот тест был направлен на стимуляцию отолитов. Во время проведения теста регистрировали электрическую активность популяции нейронов медиальных вестибулярных ядер среднего мозга.

Следует отметить, что в силу ряда технических причин не всегда удавалось во время полета получать качественные записи, поэтому основные выводы по вестибулярной системе базировались на результатах исследований только на 6 полетных обезьянах. Эти результаты показали следующее. В первые дни пребывания в невесомости реакция фиксации взора на латеральных световых мишенях была, как правило, гиперметрической в связи с увеличением амплитуды саккад. И только в одном случае гиперметрия была обусловлена увеличением амплитуды движения головы. Обнаруженная гиперметрия фиксации взора компенсировалась повышением чувствительности углового вестибуло-окулярного рефлекса /отношение скорости движения глаз к скорости движения головы/. Гиперметрия и усиление упомянутого рефлекса развивались параллельно. Проведенный анализ показал, что повышение чувствительности углового вестибуло-окулярного рефлекса в первые дни пребывания в невесомости является процессом первичным, а гиперметрия - его следствием (Kozlovskaya I.B. et al., 1985, 1989; Sirota V.G. et al., 1987, 1991).

В пользу этого свидетельствует параллелизм в увеличении чувствительности углового вестибуло-окулярного рефлекса и повышение нейрональной активности вестибулярных ядер во время

реакции установки взора. На 2-е сутки полета электрическая активность популяции нейронов медиального вестибулярного ядра у двух обезьян увеличилась вдвое по сравнению с контролем и составляла 50 ± 8 имп. в сек-1. К 5-6 дням полета происходила нормализация нейрональной активности. У четырех других обезьян нейрональная активность в медиальном вестибулярном ядре значительно увеличилась на 3-й день полета и оставалась на повышенном уровне до 8 дня полета. У одной из обследованных обезьян нейрональная активность оставалась повышенной и на 13-й день полета.

Электрическая активность популяции нейронов флоккулюса мозжечка стала максимальной уже на 1-е сутки полета, т.е. раньше, чем это было зарегистрировано в медиальном вестибулярном ядре. У двух обезьян она нормализовалась к середине полета, а у двух других оставалась повышенной до конца полета. Таким образом, результаты исследований с воздействием угловых ускорений, возникающих при повороте головы, свидетельствуют о первоначальном повышении в условиях невесомости возбудимости нейронов медиального вестибулярного ядра и флоккулюса мозжечка, а также о повышении чувствительности углового вестибуло-окулярного рефлекса (Shipov A.A. et al., 1986; Sirota V.G. et al., 1988; Cohen B. et al., 2005).

Динамика изменений суммарной активности популяции нейронов медиального вестибулярного ядра при стимуляции отолитов линейными ускорениями при вертикальном перемещении кресла с обезьяной была в ходе полета такой же как и при стимуляции полукружных каналов угловыми ускорениями, возникающими при поворотах головы. Активность популяции нейронов в ответ на стимуляцию отолитов постепенно день за днем возрастала, достигая максимума на 5-6 дни полета. После этого она постепенно снижалась, не достигая нормы у отдельных обследованных обезьян. Степень пикового увеличения активности популяции медиальных вестибулярных ядер при стимуляции отолитов была существенно ниже, чем при стимуляции полукружных каналов. К тому же пиковое увеличение активности в первом случае наблюдали, как правило, в конце первой недели полета, во втором случае - в первые два дня полета с нормализацией к концу первой недели полета (Badakva A.M. et al., 2000; Cohen B. , 2005). Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что невесомость оказывает влияние на чувствительность нейронов медиального вестибулярного ядра к воздействию угловых и линейных ускорений.

С целью расширения объема исследований вестибулярной системы специалисты США доставили в институт медико-биологических проблем довольно сложное оборудование - многоосевой вестибулярный стимулятор и стенд для создания линейных ускорений. Это оборудование использовалось в пред- и послеполетный периоды и только применительно к полетам биоспутника "Бион-9" ("Космос-2044") и "Бион-10" ("Космос-2229") (Cohen B. et al., 2005).

Угловые и линейные вестибуло-окулярные рефлекс (BOR) исследовали у четырех обезьян до и после их полета на биоспутниках "Космос-2044 и 2229" (Cohen B. et al., 1992; Dai et al., 1994, 1996; Tomko D. et al., 1993). Движения глаз вызывались ступенчатым изменением скорости вращения обезьяны, вращением с постоянной скоростью вокруг оси, отклоненной от вертикали, а также горизонтальным и вертикальным перемещением животного. Кроме того, до и после полетов регистрировали афферентные нейрональные ответы горизонтальных полукружных каналов на синусоидальное вращение и ступенчатое изменение скорости вращения относительно вертикальной оси (Correia M.J. et al., 1992; Correia M.J., 1998).

Предполагалось, что собственно угловые BOR, способствующие стабилизации взора при угловых ускорениях головы животного, воспринимаемых полукружными каналами, не будут подвержены влиянию измененной гравитационной среды, в то время как линейные BOR, основанные на чувствительности отолитов к линейным перемещениям и к их ориентации в гравитационном поле, должны быть изменены вследствие морфологической и поведенческой адаптации к микрогравитации.

Проведенные исследования в основном подтвердили исходные предположения. Коэффициенты горизонтального и вертикального угловых BOR не изменились после обоих полетов, хотя коэффициент BOR на боковые вращения головы был понижен. Чувствительность афферентов горизонтальных полукружных каналов была значительно увеличена у обезьян после полета биоспутника "Бион-10". Чувствительность линейного BOR была существенно снижена в течение 17-и суток после окончания полета на биоспутнике "Бион-10" у одной обезьяны и осталась неизменной у второй.

Значительные послеполетные изменения наблюдались в реакциях, связанных с отолитовой стимуляцией или основанных на каналово-отолитовом взаимодействии. Величина компенсаторного противовращения глаз была снижена примерно на 70% как при статических наклонах, так и при вращениях вокруг оси, отклоненной относительно вертикали. Эти изменения сохранялись в течение 11-и суток после полета. Модуляция угла сведения глазных осей назо-окципетальным линейным ускорением при вращении вокруг оси, отклоненной от вертикали, была снижена более чем вдвое у обеих обезьян после полета на биоспутнике "Бион-10". У этих же обезьян в течение 7 послеполетных суток была уменьшена асимметрия "вверх-вниз" вертикального нистагма. После обоих полетов у одной из двух обезьян в течение нескольких дней наблюдали сдвиг пространственной ориентации углового ВОР от гравитационной вертикали к оси тела животного.

При анализе полученных результатов выделены две возможные причины имеющихся противоречий. Во-первых, вероятно, существуют индивидуальные особенности реакции вестибулярной системы у обезьян на одно и то же изменение гравитационной среды. Во-вторых, фиксация туловища обезьяны в полетном кресле уменьшает диапазон возможных движений головы, что в сочетании с индивидуальной реакцией животного на условия космического полета может приводить к количественным и качественным различиям в стимуляции вестибулярного аппарата в условиях невесомости и, соответственно, к различной степени адаптационных изменений вестибулярных реакций, проявляющихся в послеполетный период исследований.

Сердечно-сосудистая система. Эксперименты с обезьянами не подтвердили широко распространенное мнение о том, что ощущение повышенного кровенаполнения головы и одутловатость лица у космонавтов в первые дни полета обусловлены увеличенным притоком крови к голове. Исследования на обезьянах показали, что скорость кровотока в общей сонной артерии, центральный объем крови, сердечный выброс, артериальное давление и ЭКГ не претерпевали в невесомости каких-либо существенных изменений (Korolkov V.I., Krotov V.P. et al., 1992). Внутрочерепное давление в невесомости было повышенным, но оставалось в пределах физиологической нормы, признаков нарушения кислородного снабжения мозга не наблюдалось (Кротов В.П., 1992). На основании этих данных высказана гипотеза о возможном нарушении венозного оттока крови от головы и нарушении проницаемости сосудов мягких тканей лица в условиях невесомости.

Период реадaptации. К 25-27-м суткам периода реадaptации наблюдали практически полную нормализацию всех изучаемых показателей во всех функциональных системах организма, что свидетельствует об обратимости возникающих в невесомости структурно-функциональных изменений в большинстве физиологических систем организма. Однако ввиду значимости этих изменений с точки зрения их возможного влияния на работоспособность и устойчивость человека к воздействию факторов космического полета, необходимо дальнейшее изыскание способов поддержания оптимального функционального состояния организма в космическом полете. Одним из таких способов может явиться искусственная сила тяжести (ИСТ), о чем в свое время писал К.Э. Циолковский.

Биологические эффекты искусственной силы тяжести.

Основной и можно сказать уникальный эксперимент по данному направлению исследований провели в 1977 г. в полете биоспутника "Бион-4" ("Космос-936") на крысах, находившихся в течение всего полета (18,5 сут) в условиях искусственной силы тяжести величиной 1 g. Включение такого эксперимента в программу "Бион" потребовало разработки методики его проведения и создания специальной бортовой центрифуги, оборудованной всем необходимым для жизнеобеспечения животных /крыс/ и контроля за их состоянием в полете.

Исследования показали, что искусственная сила тяжести предотвращала возникновение в космическом полете таких неблагоприятных изменений, как увеличенное выведение воды и электролитов, ухудшение сократительных свойств и нарушение метаболизма скелетной мускулатуры, снижение механической прочности костей, задержка привеса в послеполетном периоде и т.д. (Газенко О.Г., Ильин Е.А., Оганов В.С. и др., 1981; Kotovskaya A.R., Ilyin E.A., Korolkov V.I. et al., 1980).

Одновременно с этим обнаружено, что длительное пребывание животных /крыс/ в условиях ИСТ сопровождалось более значительным, чем в невесомости, снижением работоспособности высших

отделов ЦНС, угнетением белкового метаболизма в головном мозге, особенно в тех отделах, функционирование которых связано с осуществлением двигательной активности животных, снижением чувствительности и реактивности системы полукружных каналов.

Эти нежелательные эффекты искусственной силы тяжести были обусловлены скорее всего использованием в эксперименте на биоспутнике "Бион-4" центрифуги сравнительно небольшого радиуса (33,5 см) и большой скоростью вращения (54 об/мин), что приводило к возникновению прецессионных и кориолисовых ускорений. Однако это ни в коей мере не уменьшает ценности данных, полученных в летном эксперименте на млекопитающих о принципиальной возможности использования в длительных космических полетах искусственной силы тяжести в качестве средства поддержания оптимального функционального состояния организма. Вполне естественно, что параметры искусственной силы тяжести для пилотируемых космических полетов будут определены в исследованиях с участием людей.

Эксперименты на бортовых центрифугах с использованием более простых живых систем проводили в полетах биоспутников "Бион-3, 10 и 11". Основная задача этих экспериментов заключалась в создании на борту космического аппарата синхронного 1 g гравитационного контроля по отношению к биологическим экспериментам, проводимым в условиях невесомости. Многие специалисты считают, что такой бортовой контроль является идеальным и может помочь дифференцировать эффекты невесомости от эффектов, обусловленных воздействием других факторов полета. Следует однако отметить, что некоторые физиологические, морфологические и биохимические параметры у биообъектов, находившихся в полете в условиях ИСТ величины 1 g и в условиях естественной (земной) гравитации существенно отличаются друг от друга. Основной причиной выявленных различий, на наш взгляд, является влияние на биообъекты специфических факторов полета (ускорения, вибрации, космическая радиация, факторы среды обитания).

Комбинированные биологические эффекты невесомости и ионизирующей радиации. Известно, что одним из важных условий оценки радиационной опасности длительных космических полетов является знание модифицирующего влияния условий космического полета на биологическую эффективность радиации. К сожалению, в настоящее время еще не разработана теория комбинированного действия на организм радиации и нерадиационных физических факторов, хотя и были сделаны попытки обобщить накопленный материал (Григорьев Ю.Г., 1975).

Среди условий, которые могут изменить радиочувствительность организма, обычно выделяют факторы, присущие активным и неактивным участкам космического полета. На активном участке полета среди биологически значимых факторов следует выделить перегрузки, вибрации и шум. Поскольку их действие является непродолжительным, основным фактором, который в принципе может повлиять на радиоустойчивость организма в длительном космическом полете, следует считать динамическую невесомость, возникающую на неактивном участке полета.

В полетах биоспутников и пилотируемых космических кораблей неоднократно предпринимались попытки оценить совместное действие радиации и невесомости, для чего использовались такие биологические объекты, как насекомые, одноклеточные организмы, культуры тканей человека, семена, растения и др. (Григорьев Ю.Г., 1975; Парфенов Г.П., 1975; Saunders J.F., 1971). Однако ввиду небольшой длительности проведенных экспериментов, противоречивости полученных данных и трудностей их экстраполяции с низших организмов на высшие, использовать материалы этих исследований в практике космической медицины не представлялось возможным.

Для того чтобы получить необходимую информацию о влиянии невесомости на радиочувствительность организма млекопитающих, необходимо было поставить эксперимент в условиях космического полета со строго дозированным облучением животных. Такой эксперимент был проведен на крысах в полете биоспутника "Бион-2" ("Космос-690") в 1974 году.

В соответствии с задачами эксперимента была разработана методика его проведения, включающая в себя выбор доз и источника излучения, отработку режима облучения, разработку бортового облучателя с учетом существующих норм радиационной безопасности и требований, предъявляемых к космической технике, создание равномерного поля облучения животных на борту биоспутника.

В эксперименте на биоспутнике "Бион-2" животных облучали от бортового источника гамма-излучения Цезий-137 на 10-е сутки полета в двух диапазонах доз - 800 ± 80 сГр (10 крыс) и 220 ± 20

сГр (10 крыс). Равномерность облучения составляла $\pm 10\%$. Таким образом, развитие лучевого поражения и начальные этапы восстановительного периода проходили в условиях невесомости в течение последующих 10 суток космического полета.

Результаты этого эксперимента показали, что модифицирующий эффект невесомости длительностью 20,5 суток на радиочувствительность млекопитающих невелик. Так, коэффициент модифицирующего действия по разным показателям, относящимся, например, к системе крови и другим критическим тканям организма, не превышал 1,2 и в основном был близок к 1,0 (Grigoriev Yu.G., Ilyin E.A. et al., 1976; Григорьев Ю.Г. и др., 1977).

Другими словами, модифицирующее влияние невесомости на радиочувствительность крыс при однократном остром облучении оказалась в пределах естественных суточных и сезонных колебаний радиочувствительности для данного вида животных. Уточнение этой величины явилось шагом вперед в оценке радиационной опасности полетов экипажей космических летательных аппаратов.

Клетки и внутриклеточные процессы. При проведении биологических экспериментов в космических полетах особое внимание уделялось выяснению роли гравитации в процессах жизнедеятельности на клеточном уровне. Исходя из математических расчетов, гравитационное поле Земли должно оказывать влияние только на те внутриклеточные структуры, размер которых превышает 1 мкм (Pollard E.C., 1965). Это означает, что земная сила тяжести не должна оказывать прямого влияния на такие биохимические процессы в клетке, как синтез ДНК, РНК, белка и любые ферментативные процессы. Основной объем экспериментального материала, полученного при проведении биологических экспериментов в полетах биоспутников, полностью согласуется с теоретическими расчетами и указывает на то, что вышеупомянутые процессы в клетках и лежащие в их основе химические реакции являются гравитационно независимыми.

Так, при изучении бактериальных популяций, выросших в невесомости, не установлено влияния отсутствия силы тяжести на размножение бактерий, их мутабельность, генетическую рекомбинацию и репарацию, спонтанную фагопродукцию и активность полового фактора в популяции клеток-доноров (Лукин А.А., Парфенов Г.П., 1979). Генетические исследования на насекомых показали также, что сила тяжести не оказывает заметного влияния на внутриклеточные процессы, связанные с передачей наследственной информации (Парфенов Г.П., 1975; Парфенов Г.П. и др., 1979).

Эти данные свидетельствуют о том, что молекулярные процессы в клетках не зависят от силы тяжести и протекают одинаково как на Земле, так и в условиях невесомости. Зависимость внутриклеточных процессов от силы тяжести можно ожидать только по отношению к циклу клеточного деления, поскольку оно связано с образованием надмолекулярных структур - спирализованных хромосом и центриолей веретена, размеры которых дают основание предполагать, что их функционирование может подчиняться влиянию силы тяжести.

Действительно, в экспериментах с культурами клеток ВНК-21 и ВНК-237 на борту КА "Космос-368" и биоспутника "Бион-3" ("Космос-782") были получены косвенные данные о возможности изменения в условиях невесомости темпов клеточного размножения (Сушков Ф.Д., Руднева С.В., 1979). Об этом свидетельствовал более высокий митотический индекс в первом послеполетном пассаже. Помимо этого, в первом пассаже культур клеток, образовавшихся в невесомости, наблюдали нарушения процесса клеточного деления, связанные с повреждением митотического аппарата клеток.

На возможное изменение скорости клеточного деления в условиях невесомости указывают также данные, в соответствии с которыми у эмбриональных структур растений, развивающихся в невесомости, корни существенно длиннее, чем в контроле (Бутенко Р.Г. и др., 1979). При этом общее число клеток в зоне дифференцированных клеток корней в 2 раза больше, чем в контроле.

При исследовании ультраструктуры растительных и животных клеток, развивающихся в условиях невесомости и в контроле, т.е. при действии земной силы тяжести, не выявлено каких-либо существенных различий (Сушков Ф.Д., Руднева С.В., 1979; Рубин Б.А. и др., 1979). Такие показатели, как уровень и спектр хромосомных перестроек в клетках не изменялись под влиянием невесомости.

При исследовании митохондрий растительных клеток были получены противоречивые данные. По одним данным (Рубин Б.А. и др., 1979), площадь, периметр и форма митохондрий растительных клеток, развивавшихся в невесомости, были такими же, как и в наземном контроле. В то же время другими авторами обнаружены набухание и меньшая упорядоченность внутренних мембран митохондрий в клетках корешков растений, выращенных в невесомости (Таирбеков М.Г. и др., 1979).

Получены также данные, в соответствии с которыми сила тяжести в определенной мере влияет на форму растительных клеток. В нормальных условиях 80 % клеток имеют многоугольную форму, что, по-видимому, связано с необходимостью создания прочной тканевой структуры, способной противостоять механическому давлению клеток друг на друга. Результаты цитологических исследований показали, что клетки креписы и сосны, развившиеся в невесомости, имели более округлую форму, чем в контроле, и только 10 % обследованных клеток были многоугольной формы. Электронно-микроскопические исследования на клетках корней кукурузы выявили, что округлая форма является характерной для клеток, развившихся в невесомости (Таирбеков М.Г. и др., 1979). Имеются единичные сведения о том, что сила тяжести может влиять не только на форму, но и на размер растительных клеток (Бутенко Р.Г. и др., 1979; Платонова Р.Н. и др., 1979).

Таким образом, изучение влияния невесомости на бактериальные клетки, клетки растений и животных, а также на наследственный аппарат насекомых приводит к убеждению, что естественная сила тяжести, по-видимому, не имеет существенного значения для внутриклеточных процессов жизнедеятельности за исключением пролиферативной активности (Tairbekov M.G. et al., 1981). Вместе с тем пока нельзя считать этот вопрос окончательно решенным. К сожалению, мы еще мало знаем об участии силы тяжести в формировании полярности клеток, пространственном расположении клеточных органелл, гидродинамике цитоплазмы, деформационных изменениях больших молекул, проницаемости клеточных мембран и т.п. Все это является предметом дальнейших исследований, которые, в частности, должны экспериментально определить размеры клеток, для которых естественная сила тяжести перестает быть индифферентным фактором. Большой интерес представит также изучение порогов и механизмов гравитационной чувствительности специализированных животных и растительных клеток, реагирующих на изменение вектора силы тяжести.

Эмбриогенез, рост и развитие организмов. Все живое на Земле развивалось под постоянным воздействием гравитационного поля. В этой связи в литературе высказываются мнения о том, что сила тяжести является одним из мощных формообразующих факторов природы. В то же время биологические исследования в космических полетах в условиях невесомости и искусственной силы тяжести показывают, что это не совсем так. Во-первых, естественная сила тяжести - это слабый раздражитель внешней среды, а, во-вторых, действие силы тяжести на процессы жизнедеятельности носит весьма избирательный характер - оно зависит от массы организма, степени сложности его структурно-функциональной организации, наличия градиентов плотности в клетках и тканях, а также от наличия в организме специализированных рецепторов, приспособленных к восприятию механических стимулов.

В многочисленных летных экспериментах с плодовой мушкой дрозофилой и мучным хрущачом показано, что цикл развития этих особей не зависит от силы тяжести (Парфенов Г.П., 1975; Парфенов Г.П. и др., 1979). У тех особей, развитие которых в течение двух поколений проходило в невесомости, каких-либо аномалий в строении тела не обнаружено. Их размер и масса были такими же, как в контроле. Для того чтобы изучить гравитационную предпочтительность дрозофилы, на биоспутнике "Бион-5" ("Космос-1129") в 1979 году был поставлен специальный эксперимент на бортовой центрифуге. Гравитационную предпочтительность определяли после окончания полета по количеству куколок и их оболочек в кормушках и вблизи от них.

Анализ результатов этого эксперимента показал, что распределение куколок и личинок по зонам с различными величинами искусственной силы тяжести (0, 0,3, 0,6 и 1 g) было одинаковым. Это означает, что весь диапазон изученных ускорений в пределах от невесомости до 1 g является в одинаковой мере индифферентным для развития и генетики дрозофилы (Tairbekov M.G., Parfenov G.P. et al., 1981).

Таким образом, в космической биологии накоплено достаточное количество экспериментальных данных, в соответствии с которыми сила тяжести не влияет на развитие животных с центролецитальным типом строения яйцеклеток. По всей вероятности, можно сделать и еще

более общий вывод о том, что гравитационное поле, вероятно, не играет существенной роли в процессах жизнедеятельности земных организмов, масса которых не превышает 1 г.

Менее ясным является вопрос об участии гравитационного поля в эмбриогенезе животных из яиц телolecитального типа. Эксперимент с икрой костистой рыбы в полете биоспутника "Бион-3" ("Космос-782") показал, что отсутствие силы тяжести не влияет на развитие рыб после стадии гаструлы (Шелд Г.В. и др., 1979). Однако в том случае, когда измененная сила тяжести начинала воздействовать на оплодотворенную икру на стадии средней бластулы, наблюдали нарушение конвергентных клеточных делений, торможение дифференцировки осевого комплекса, рассогласование темпов развития головной и туловищной частей тела (Белоусов Л.В. и др., 1979). При дальнейшем развитии рыб аномалии в строении осевого комплекса исчезали.

Исходя из результатов летных и лабораторных экспериментов с клиностатированием яиц бесхвостых амфибий, можно предположить, что сила тяжести является критическим фактором только в отношении процессов, протекающих в оплодотворенной яйцеклетке от момента оплодотворения до стадии бластулы включительно. В пользу такого предположения свидетельствуют результаты эксперимента с яйцами птиц в полете биоспутника "Бион-5" ("Космос-1129"). Показано, в частности, что невесомость не является принципиальным препятствием для нормального эмбриогенеза птиц.

Особый интерес представляет эмбриологический эксперимент с крысами в 5-суточном полете биоспутника "Бион-6" ("Космос-1514"). Фактически это был первый эксперимент в космосе, направленный на изучение роли силы тяжести в процессах роста и развития млекопитающих (Серова Л.В., 1988). В этом эксперименте впервые была показана возможность развития плода млекопитающих при действии невесомости на материнский организм в последней четверти срока беременности. Постнатальный онтогенез проходил без каких-либо отклонений от нормы вплоть до достижения половой зрелости и воспроизведения потомства.

Одной из задач предстоящих исследований в области космической биологии должно явиться определение значимости гравитационного поля для самых ранних стадий эмбриогенеза. Для этого необходимо проведение таких экспериментов, в которых оплодотворение и первые стадии дробления оплодотворенной яйцеклетки будут проходить в условиях невесомости. Однако наиболее информативными будут, на наш взгляд, эксперименты на гаметах, полный цикл формирования которых до момента оплодотворения будет проходить в условиях невесомости, а не на Земле, как это было в большинстве ранее проведенных биологических экспериментов в космических полетах.

Давно известно, что весьма чувствительными к изменению вектора силы тяжести являются растительные организмы, в первую очередь высшие растения. Эксперименты по выращиванию высших растений в невесомости без освещения показали, что направленность роста надземных и подземных органов растений определяется исходным положением зародыша семени в питательном субстрате (Платонова Р.Н. и др., 1979). Семена, помещенные при посадке в питательный субстрат зародышем вниз, прорастали в невесомости корнями в субстрат; семена, помещенные в субстрат зародышем вверх, прорастали в условиях невесомости корнями в атмосферу. При горизонтальном расположении семян относительно субстрата корни и стебель росли параллельно поверхности субстрата, не проявляя при этом геотропического изгиба. При выращивании тех же растений в темноте, но в условиях земной силы тяжести, корни всегда прорастали в субстрат, независимо от расположения зародыша, а стебель рос по направлению вектора силы тяжести. По всей вероятности, полярность роста стебля и корней в отличие от геотропизма является генетически детерминированным свойством, не зависящим от внешних факторов, в том числе от силы тяжести.

Результаты проведенного на биоспутнике "Бион-3" ("Космос-782") эксперимента с изолированными тотипотентными соматическими клетками моркови показали также, что сила тяжести не участвует в осуществлении ранних стадий развития растений, т.е. в эмбриогенезе и последующем формировании органов растений (Бутенко Р.Г. и др., 1979; Стюард Ф.К., Григорян А.Д., 1979). Это означает, что сила тяжести не влияет на способность хромосом к инвариантной редупликации, необходимой для нормального деления клеток, и на специфический синтез транспортной РНК и белков, лежащих в основе дифференцировки тканей и органов растений.

К настоящему времени получены сведения о том, что сила тяжести не имеет существенного значения и для осуществления поздних стадий развития высших растений с сопутствующей им дифференцировкой тканей. Один из таких экспериментов с арабидопсисом был проведен на биоспутнике "Бион-5" ("Космос-1129") (Tairbekov M.G. et al., 1981). Последующие многочисленные эксперименты с высшими растениями на борту станции "Мир" и МКС убедительно продемонстрировали возможность выращивания в космосе растений в ряду нескольких поколений от семени до семени без каких-либо морфо-физиологических и генетических последствий (Сычев В.Н., 2007).

Биологические эксперименты в полетах КА "Фотон-М"

Большой объем уникальной научной информации, полученной в полетах автоматических космических аппаратов "БИОН", в совокупности с результатами медико-биологических исследований в пилотируемых космических полетах позволил сформулировать ряд гипотез и предположений относительно механизмов влияния факторов космического полета, главным образом невесомости, на живые системы.

Вместе с тем, несмотря на накопленный к настоящему времени обширный экспериментальный материал, в космической биологии остается еще ряд нерешенных проблем. Одна из них - биологическая роль гравитации, т.е. значение этого фактора для живых систем, находящихся на различных уровнях онтогенетического и филогенетического развития. Эта проблема включает в себя ряд задач, решение которых позволит оценить степень участия гравитации в формировании структурно-функционального статуса живых систем.

К числу этих задач следует отнести:

- молекулярно-биологические и молекулярно-генетические механизмы системных перестроек в организме в условиях невесомости;
- генетические основы морфо-функциональных изменений в условиях невесомости: поиск и идентификация специфических генов, ответственных за реализацию адаптационных процессов, выяснение механизмов экспрессии генов, определение последовательности и характера перестроек, происходящих на уровне генома клетки;
- процессы пролиферации, роста, дифференциации и специализации клеток в условиях невесомости;
- формирование тканей в условиях невесомости;
- особенности естественной /физиологической/ и репаративной регенерации органов и тканей в условиях невесомости.

Некоторые из перечисленных задач решались в экспериментах, проведенных в полетах КА "Фотон-М" № 2 в 2005 г. и "Фотон-М" № 3 в 2007 г. На борту этих автоматических космических аппаратов находились следующие биологические объекты: микроорганизмы различных видов, беспозвоночные - улитки и низшие позвоночные: амфибии - тритоны и рептилии - ящерицы. Помимо этого на борту КА "Фотон-М" № 3 находились монгольские песчанки.

Для экспериментов с перечисленными биообъектами была сконструирована аппаратура, которая обеспечивала оптимальные условия содержания и позволяла в полете КА "Фотон-М" № 3 вести видеозапись поведения тритонов, ящериц и песчанок в условиях невесомости.

Длительность полета КА "Фотон-М" № 2 составляла 16 суток, а КА "Фотон-М" № 3 - 12 суток.

После окончания полетов все биообъекты были в хорошем состоянии, что позволило получить большой объем научной информации. Так, при реализации программы полета КА "Фотон-М" №2 были получены следующие результаты:

- невесомость не оказала влияния на генетическую стабильность бактерий;
- процесс клеточной пролиферации в невесомости оказался замедленным, клетки в тканевых регенератах были менее дифференцированы по сравнению с наземным контролем;
- в костях конечностей ящериц gekkonov не выявлено признаков остеопении;

- невесомость оказала существенное влияние на поведенческую активность улиток, ориентацию, экспрессию генов, участвующих в кодировании пептида, взаимодействие между фото- и статорецепторами.

Обработка биоматериала, полученного в экспериментах на борту КА "Фотон-М" № 3 находится в начальной стадии, поэтому о результатах говорить пока преждевременно.

Однако в целом можно сказать, что в будущих полетах КА "Фотон-М" можно с успехом решать многие проблемы, которые стоят перед космической биологией и медициной.

Заключение

Биологические эксперименты в полетах беспилотных космических аппаратов, начиная с запусков ракет в верхние слои атмосферы (1951) и кончая последними экспериментами в полетах КА "Фотон-М" в 2005 и 2007 гг. внесли и продолжают вносить существенный вклад в развитие космической биологии, являющейся научным фундаментом космической медицины.

Так, эксперименты с собаками в полетах ракет продемонстрировали возможность переносимости шума двигателей, ускорений и вибраций на этапах запуска, кратковременной невесомости (до 10 мин) в период свободного падения и затем ускорений при спуске и катапультировании.

Полет собаки Лайки впервые показал возможность жизни в условиях сравнительно продолжительной /до 5 часов/ невесомости, а эксперименты с собаками на возвращаемых космических кораблях-спутниках (модифицированных кораблях "Восток") позволили сделать заключение о возможности полета человека в космос.

Последующие эксперименты на животных и других биообъектах показали, что не существует каких-либо биологических препятствий на пути дальнейшего проникновения человека в космос. Естественно, что необходима надежная система жизнеобеспечения и эффективная система медико-санитарного обеспечения пилотируемых полетов, включая средства профилактики.

В экспериментах по программе "Бион" было убедительно показано, что одним из перспективных средств профилактики может явиться искусственная сила тяжести, создаваемая вращением бортовой центрифуги.

Основываясь на других результатах исследований по программе "Бион", были сделаны рекомендации для пилотируемых полетов по применению нагрузочных упражнений для мышечной и костной систем и размещению аппаратуры слежения и управления космическим аппаратом в центральном поле зрения космонавта-оператора. Полученные в экспериментах на животных данные о модифицирующем влиянии невесомости на радиочувствительность организма были использованы при обосновании нормативов радиационной безопасности в длительных пилотируемых полетах.

Помимо прикладного необходимо иметь в виду и другой, теоретический аспект проведения в настоящем и будущем биологических исследований в космосе - это возможность решения ряда фундаментальных проблем не только гравитационной и космической биологии, но и общей биологии. Еще на заре космической эры Н.М.Сисакян, О.Г.Газенко и А.М.Генин писали: "Нетрудно видеть, что развитие космической биологии послужит не только целям межпланетных путешествий и освоению человеком космоса. В перспективе космическая биология будет способствовать построению наиболее общих концепций биологии, касающихся проблем жизни вообще" ("Проблемы космической биологии", М.: изд-во АН СССР, 1962, т. 1, с. 26). Следует отметить, что эксперименты на животных и других биообъектах в космических полетах уже сейчас позволили глубже понять не только механизм влияния невесомости, но и физиологическую роль гравитации - одного из наиболее стабильных и неизменных факторов эволюции жизни на Земле. Впереди еще много животрепещущих проблем в науках о жизни, в решении которых большая роль будет принадлежать космической биологии.

Благодарность

Выполнение крупномасштабных программ биологических экспериментов в космических полетах под силу только хорошо организованным и четко структурированным коллективам, состоящим из ученых, инженеров и технического персонала. Такие коллективы в свое время были созданы в ГНИИ авиационной и космической медицины МО СССР, а затем в институте медико-биологических проблем. Перечислить фамилии всех участников этих коллективов невозможно - их было очень много и, к сожалению, многие уже ушли из жизни.

В этой связи, пользуясь случаем, что актовая речь произносится на Ученом Совете, посвященном годовщине создания института, хочу выразить сердечную признательность и благодарность за большой вклад в космическую биологию прежде всего сотрудникам нашего института:

- научным руководителям программы "Бийон" академикам О.Г.Газенко и А.И.Григорьеву;
- научным руководителям биологических разделов программы "Бийон": В.В.Португалову, Е.А.Савиной, М.С.Гаевской, Л.В.Серовой, Г.П.Парфенову, М.Г.Таирбекову, А.С.Капланскому, В.И.Королькову, И.Б.Козловской, В.С.Оганову, А.Р.Котовской, Ю.И.Кондратьеву, А.М.Бадакве, В.А.Филимоновой, И.А.Поповой, И.А.Тиграняну, В.П.Кротову, В.Я.Климовицкому, А.М.Алпатову, Б.С.Шенкману;
- техническим руководителям работ по программе "Бийон" и проекту "Фотон -М": Б.А.Адамовичу, В.И.Милявскому, В.К.Голову, В.С.Магедову, И.А.Смирнову, П.Э.Солдатову, А.Т.Логунову, С.А.Иванову;
- всем сотрудникам института, кто проводил или обеспечивал проведение исследований по программе "Бийон" и проекту "Фотон - М".

Естественно, что успешное выполнение программы "Бийон" было бы невозможным без надежной научной аппаратуры и космических аппаратов.

Спасибо всем тем, кто этим занимался в СКТБ "Биофизприбор" и ЦСКБ Прогресс. Особая благодарность А.А.Златорунскому - бывшему директору и главному конструктору СКТБ "Биофизприбор" и Д.И.Козлову - почетному генеральному конструктору ГНПРКЦ "ЦСКБ - Прогресс".