

**Государственный научный центр РФ Институт медико-биологических проблем  
Российской академии наук**

**4. Информация о научных проектах Федеральной космической  
программы России, находящихся в стадии разработки:**

**Проект «БИОН-М» №2**

Успешная реализация проекта «БИОН-М» №1, получение приоритетных и важных научных результатов, которые высветили целый ряд новых ранее неизвестных проблем в области воздействия факторов космического полета на животный организм, являются основанием для продолжения исследований на беспилотных биологических спутниках серии «БИОН-М». В связи с этим в Федеральной космической программе на 2016-2025 годы запланированы запуски космических аппаратов «БИОН-М» №2 и «БИОН-М» №3.

Развитие пилотируемых космических программ связано с выходом человека за пределы орбиты Земли, поэтому становятся актуальными такие нерешенные проблемы, как биологические последствия комбинированного воздействия невесомости и длительного облучения космической радиацией, а также определение факторов, которые приводят в организме животных к тем или иным изменениям и нарушениям, выявленным в результате исследований в проекте «БИОН-М» №1. В связи с этим основной целью научной программы в проекте «БИОН-М» №2 является комплексное исследование комбинированного биологического действия невесомости и высокого уровня космической радиации на организм на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях.

Для достижения заявленной цели планируется поднять орбиту полета КА «БИОН-М» №2 до 1000 км. В результате реализации заявленной цели появится

возможность проведения сравнительного анализа результатов, полученных в проектах «БИОН-М» №1 и №2.

Научная программа, которая будет реализована во время полета космического аппарата «БИОН-М» №2, состоит из 9 разделов, которые перечислены ниже.

1. Эксперименты с животными.
2. Эксперименты с культурами клеток животных.
3. Эксперименты с растениями, культурами растительных клеток, семенами и водорослями.
4. Эксперименты с микроорганизмами.
5. Экзобиологические и астробиологические эксперименты.
6. Биотехнологические эксперименты.
7. Радиобиологические эксперименты и радиационные исследования.
8. Исследования и эксперименты по космическому материаловедению.
9. Физические и технические эксперименты.
10. Образовательные эксперименты.

Первый и второй разделы посвящены экспериментальным исследованиям по гравитационной физиологии на животных, общецелевой установкой которых и является разработка фундаментальных основ создания новых технологий обеспечения жизнедеятельности человека при полетах в условиях комбинированного действия невесомости и космического излучения.

Третий, четвертый и пятый разделы посвящены исследованиям влияния факторов космического полета и открытого космического пространства на биологию растений и микроорганизмов, а также их сообществ, т.е. познанию общих закономерностей жизни во Вселенной.

Шестой и восьмой разделы включают биотехнологические, технологические, физические и технические эксперименты.

Седьмой раздел представляет собой комплекс радиобиологических и дозиметрических экспериментов, необходимых для решения задач обеспечения радиационной безопасности новых космических пилотируемых аппаратов.

Девятый раздел включает в себя эксперименты, которые готовят учащиеся из различных школьных учреждений Российской Федерации и зарубежных стран.

В целом научная программа во время полета космического аппарата «БИОН-М» №2 является повторением (за некоторым исключением) научной программы «БИОН-М» №1, т.к. во время полета космического аппарата «БИОН-М» №2 необходимо получить результаты, которые можно будет сопоставлять с результатами, полученными во время полета космического аппарата «БИОН-М» №1.

В научной программе «БИОН-М» №2 не планируется продолжения ряда экспериментов, которые входили в научную программу «БИОН-М» №1. В частности, не предполагается проведения экспериментов с песчанками и рыбами, т.к. во время ЛИ КА «БИОН-М» №1, к сожалению, эти животные погибли из-за отказа оборудования, а эксперименты с гекконами и улитками исключены из научной программы по желанию их постановщиков.

В научную программу «БИОН-М» №2 включены эксперименты с плодовой мушкой *Drosophila melanogaster*. Данный биологический объект был использован в полете космического аппарата «Фотон-М» №4, сравнительный анализ биоматериала, полученного после экспонирования во время полетов космических аппаратов «Фотон-М» №4 и «БИОН-М» №2, будет представлять большой научный интерес в связи с различной радиационной нагрузкой.

Основным объектом исследований при реализации научной программы в проекте «БИОН-М» №2 являются мыши линии C57BL/6. Планируется разместить на борту космического аппарата 75 мышей.

Эксперименты с животными на борту космического аппарата «БИОН-М» имеют своей целью исследование системных, клеточных и молекулярных механизмов адаптации организма животных к условиям космического полета (микрогравитации, радиации). После подготовки и отбора животные совершат 30-суточный космический полет на биоспутнике «БИОН-М» №2. После возвращения животных будут проведены исследования на живых животных и их тканях, направленные на выявление механизмов адаптации ЦНС, сенсорных систем, мышечной и костной систем, водно-солевого обмена, сердечно-сосудистой, выделительной и репродуктивной систем к условиям космического полета и динамики их реадаптации к условиям нормальной гравитации.

Мыши линии C57BL/6 будут являться объектами двух дополняющих друг друга экспериментов, в которых самцы и самки совершат длительный космический полет при разном типе питания. Часть животных будет потреблять стандартный сухой комбикорм и воду (в виде геля), а другие животные – пастообразный корм, что сопряжено с приблизительно трехкратным повышением потребления жидкости.

В ходе полета у мышей предполагается проводить оценку:

- гемодинамических показателей (артериального давления и частоты сокращений сердца) и электромиограммы - при помощи вживляемых телеметрических датчиков;
- скорости метаболизма - по данным потребления кислорода, продукции углекислого газа и тепловыделению;
- двигательной активности и социального поведения – по данным видеорегистрации поведения.

Исследование животных в послеполетный период будет направлено на оценку отставленного влияния факторов космического полета на различные системы млекопитающих и динамики их реадаптации к условиям Земной гравитации. Для этого предполагается сочетать неинвазивные методы,

включающие тестирование различных функций в стандартизированных условиях и их мониторинг в условиях свободного поведения животных, и исследования тканей различными биохимическими, молекулярно-биологическими и гистологическими методами.

Ключевыми направлениями исследований будут механизмы адаптации нервной, опорно-двигательной (мышечной ткани и скелета), сердечно-сосудистой и выделительной систем млекопитающих. Исследования по каждому из этих направлений будут иметь комплексный характер и проводиться на разных уровнях: от описания изменений на организменном уровне до выявления их клеточных и молекулярных механизмов.

Реакции каждой из систем будут исследованы в динамике. Первой временной точкой будет момент, максимально приближенный к моменту посадки, после чего исследование будет проводиться во время острого периода реадaptации животных (приблизительно через 12 ч после возвращения), после его окончания (через 5 суток) и после двух недель реадaptации мышей к земным условиям.

Данные, полученные в экспериментах с мышами в полете биоспутника «БИОН-М» №2, который будет обращаться по высокой круговой орбите, будут анализироваться в сопоставлении с результатами, полученными ранее в программе «БИОН-М» №1, высота орбиты которого была ниже, что позволит охарактеризовать реакцию животных на высокий уровень космической радиации.

Для содержания и исследования животных в полете «БИОН-М» №2 будет использовано два типа научной аппаратуры, один из которых является существенной модификацией использованного в программе «БИОН-М» №1 оборудования (БИОС-01М), а второй – новым перспективным оборудованием (БИОС-02), все оборудование для содержания мышей имеет наименование МЛЖ-02. Необходимость использования двух типов научного оборудования

обусловлена двумя причинами. Во-первых, это необходимо для обеспечения двух принципиально разных типов питания животных. Во-вторых, БИОС-02 является новым перспективным оборудованием, которое в дальнейшем планируется использовать для содержания и исследования мышей в экспериментах с искусственной силой тяжести на борту биоспутника «БИОН-М» №3; в полете «БИОН-М» №2 будет проведена апробация такого оборудования и новой технологии кормления.

Предварительный перечень НА для проведения биологических, экзобиологических, технологических, радиобиологических и дозиметрических исследований на борту КА «БИОН-М» №2, утвержденный Советом РАН по космосу 03.12.2014 года представлен в таблице 1. В таблице 2 представлен состав научной аппаратуры, необходимый для реализации научной программы во время полета космического аппарата «БИОН-М» №2.

**Таблица 1** – Предварительный перечень НА

№ №	Научная аппаратура	Цели эксперимента
1.	МЛЖ-02	Комплексные исследования влияния невесомости на организм животного и его отдельные функциональные системы.
2.	ББ-2Б	Получение новой научной информации об эпигенетической роли силы тяжести в развитии многоклеточного организма ( <i>D. melanogaster</i> ). Исследование темпов мутационного процесса и состояния систем, связанных с устойчивостью к субоптимальным условиям ( <i>D. melanogaster</i> ). Изучение биологических свойств микроорганизмов экспонируемых в условиях космического полета.

		<p>Изучение биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства и внутри спутника.</p> <p>Образовательная программа.</p>
3.	БИОКОНТ	<p>Исследование микробиологических параметров бактерий-хищников (бделловибрионов) в условиях космического полета в суспензированной, иммобилизованной на углеродно-волоконистом материале и лиофилизированной культурах.</p> <p>Исследование физико-химических и биологических изменений почвенного биогеоценоза (монолит естественного чернозёма) в условиях космической невесомости.</p> <p>Структурно-функциональное исследование роста и развития чистой грибной культуры и грибной споровой массы (<i>Pleurotus ostreatus</i>), а также слоевища грибных симбиотических организмов (лишайники <i>Peltigera aphthosa</i> и <i>Hypogymnia physodes</i>) в условиях космического полета.</p> <p>Исследование механизмов специфических ростовых реакций высших растений (культуры протонем мхов), вызываемых существенной элиминацией вектора гравитации в условиях космического полета.</p> <p>Исследование изменений белкового профиля клеток высших растений (гаметофоры мха <i>Physcomitrella patens</i>) в условиях космического полета методами протеомики.</p>

4.	ППН-Б (1-6)	<p>Исследование радиационных полей внутри и на поверхности КА «БИОН-М» № 2 пассивными и активными средствами радиационного контроля.</p> <p>Изучение биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства и внутри спутника.</p>
5.	ППН-Б (7)	<p>Исследование влияния космической радиации на выживаемость и генный мутагенез у прокариот.</p> <p>Изучение действия факторов открытого космоса на поверхности космического аппарата на абиогенный синтез пептидов и нуклеотидов в условиях сухих пленок.</p>
6.	ППН-Б (8)	<p>Изучение влияния условий космического полета на микробный комплекс, выделяемый из многолетнемерзлых отложений.</p>
7.	Дозиметр РДЗ-БЗМ	<p>Исследование радиационных полей внутри КА «БИОН-М» № 2 активными средствами радиационного контроля</p>
8.	СПД-М	<p>Исследование радиационных полей внутри и на поверхности КА «БИОН-М» № 2 пассивными средствами радиационного контроля</p>

9.	МЕТЕОРИТ-2	Исследование возможности выживания микроорганизмов на материалах, имитирующих основы метеоритов и астероидов.
10.	БИОКУЛЬТИВАТОР-2	Изучение влияния факторов космического полета на декомпозицию органического материала.
11.	МТЭ-2	Исследование процесса получения электричества с помощью микроорганизмов - электрогенов в условиях невесомости.
12.	БЕЛКА-2	Изучение процессов для выращивания кристаллов белков методами жидкостной диффузии и диффузии из газовой среды в условиях невесомости.
13.	КАРБОН-2	Исследование влияния факторов открытого космического пространства на электрофизические и оптические свойства полупроводниковых структур и изделий на их основе.
14.	МРТ-2 (темп.датчики)	Контроль и анализ текущего теплового состояния биоконтейнеров научной аппаратуры, размещаемой на внешней поверхности СА.

15.	СИГМА-2	Проведение комплекса медико-биологических экспериментов по следующим направлениям: С культурами клеток <i>in vitro</i> ; Микробиологические исследования; Исследования влияния факторов космического полета на семена растений.
16.	Активный дозиметр в КНА	Изучение биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты в условиях открытого пространства.
17.	Активный дозиметр-спектрометр	Изучение биологически значимых характеристик космического ионизирующего излучения и эффектов его воздействия на биообъекты внутри спутника.
18.	КРИСТАЛЛ-М	Исследование процессов зародышеобразования и роста кристаллов белков в условиях микрогравитации

**Таблица 2** – Состав научной аппаратуры, необходимый для реализации научной программы во время полета космического аппарата «БИОН-М» №2.

№	Шифр космического эксперимента	Научная аппаратура
1	МЛЖ-02	<b>МЛЖ-02 (1)</b>
		<b>МЛЖ-02 (2)</b>
		<b>МЛЖ-02 (3)</b>
		<b>МЛЖ-02 (4)</b>
		<b>МЛЖ-02 (5)</b>

2	МСКД	<b>Блок ББ-2Б-2</b>
		<b>Блок ББ-2Б-2</b>
		<b>Блок ББ-2Б-2</b>
	БИОФРОСТ	<b>Блок ББ-2Б-2</b>
	БИОРАДИАЦИЯ-2	<b>Блок ББ-2Б-1</b>
	Образовательная программа	<b>Блок ББ-2Б-1</b>
3	МУЛЬТИИНКУБАТОР	<b>СИГМА-2</b>
5	ТРАНСКРИПТОМ-МСК	<b>Модуль</b> <b>Сигма-2И</b>
6	ФИТО-2	<b>СИГМА-2</b> <b>Модуль</b> <b>Сигма-2ФГ</b>
	ГЕНЕТИКА-2	
	РОДИОЛА	
	ФЛОРА-БС2	
7	БИОМИКРОБ	<b>СИГМА-2</b> <b>Модуль</b> <b>Сигма-2М</b>
8	ЭНДОФЛОРА-2	
13	БИОКОСМ	<b>БИОКОНТ-БМ</b> <b>Блоки:</b> <b>Биоконт-БМ1</b> <b>Биоконт-БМ2</b> <b>Биоконт-БМ3</b> <b>Биоконт-БМ4</b>
14	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	<b>БИОКОНТ-БМ</b> <b>Блоки:</b>

		<b>Биоконт-БМ1</b> <b>Биоконт-БМ3</b>
15	ГРАВИСЕНСОР-3	<b>БИОКОНТ-БМ</b> <b>Блоки:</b> <b>Биоконт-БМ5</b> <b>Биоконт-БМ6</b>
	ВОЗРОЖДЕНИЕ	<b>БИОКОНТ-БМ</b> <b>Блоки:</b> <b>Биоконт-БМ7</b> <b>Биоконт-БМ8</b>
16	МЕТЕОРИТ	<b>«МЕТЕОРИТ»</b> <b>(4 образца)</b>
17	ЭКЗОБИОЛОГИЯ	<b>ППН-Б</b> <b>В составе:</b> <b>ППН-1Д</b> <b>ППН-1К</b> <b>ППН-2Д</b> <b>ППН-2К</b> <b>ППН-3Д</b> <b>ППН-3К</b> <b>ППН-4Д</b> <b>ППН-4К</b>
18	ЭКЗОБИОФРОСТ	
19	ЭКЗОМИКОЛОГИЯ	
	БИОРАДИАЦИЯ-2	
20	БИОРАДИАЦИЯ-2	<b>СПД-М</b>
21		<b>Активный дозиметр</b> <b>«РДЗ-БЗМ»</b>

22		<b>ТРИТЕЛЬ-Б</b>
23		<b>Пузырьковые детекторы</b>
24		<b>ППН-Брадоз</b>
25	<b>БИОУТИЛИЗАЦИЯ</b>	<b>БИОКУЛЬТИВАТОР-2</b>
26	<b>МТЭ-2</b>	<b>МТЭ-2</b>
27	<b>БЕЛКА-2</b>	<b>БЕЛКА-2</b>
	<b>КРИСТАЛЛ-М</b>	<b>КРИСТАЛЛ-М</b>
28	<b>КСКМ</b>	<b>КСКМ</b>
29	<b>МОНИТОР-А</b>	<b>МОНИТОР-А</b>
30	<b>КАРБОН-2</b>	<b>КАРБОН-2</b>
31	<b>МРТ-2</b>	<b>МРТ-2</b>