

## Космическая биология и медицина в Украине: история и перспективы

*Кратко изложена история становления космической биологии и медицины в Украине, начало которой относится к концу 50-х годов XX столетия. Приведена хронология космических биологических экспериментов, в которых непосредственное участие принимали ученые Национальной академии наук Украины, отмечен их вклад в методологию постановки и проведения космических и модельных экспериментов с различными биологическими объектами — бактериями, водорослями, высшими растениями, крысами, культурами органов, тканей и клеток растений и животных. Подчеркнута роль Государственного космического агентства Украины в успешном развитии космической биологии в Украине. Представлены основные направления исследований, которые ведутся в настоящее время в области космической биологии.*

**Ключевые слова:** космическая биология и медицина, эксперимент, бактерия, клетка, орбитальная станция, космический полет, микрогравитация, биоспутник, гравичувствительность, биорегенеративная система.

Космическая биология и медицина, возникновение и становление которых обусловлено научно-техническим прогрессом и непосредственно связано с проникновением человека в космическое пространство, изучают влияние различных факторов космического полета (перегрузок, невесомости, вибрации, радиации и др.) на организм человека и разнообразные биологические объекты — бактерии, простейшие, грибы, водоросли, высшие растения, насекомые, земноводные, рыбы, птицы, млекопитающие (мыши, крысы, обезьяны). Космическая медицина решает задачи обеспечения жизнедеятельности и безопасности космонавта на всех этапах полета; сохранения его здоровья и высокой работоспособности; разработки способов профилактики и оказания лечебной помощи, а также методов отбора и подготовки космонавтов. Космическая биология создает базу для разработки контролируемых (замкнутых) эко-

логических систем жизнеобеспечения человека в космических летательных аппаратах, значение которых особенно возросло в связи с планами пилотируемых полетов в далекий космос, освоения Луны и посещения Марса и вносит принципиально новые знания в решение фундаментальных проблем современной биологии. Создание таких систем и прогнозирование надежности их функционирования невозможно без глубоких знаний степени и направленности действия факторов космического полета на живые организмы. Исследованиями в области космической биологии заложены новые экспериментальные основы гравитационной биологии (ее возникновение относят к 50-м годам XX столетия), которая выясняет роль гравитации — постоянно действующего геофизического фактора — в существовании живых систем. Находящийся на орбите летательный аппарат представляет собой уникальную лабораторию для проведения исследований влияния невесомости и,



**Академик АМН СССР,  
член-корреспондент АН  
УССР  
Н. Н. Сиротинин**



**Член-корреспондент  
АН УССР  
Л. О. Рубенчик**



**Академик НАМН  
Украины, член-корреспондент  
НАН Украины  
В. А. Кордюм**

следовательно, гравитации на пространственную ориентацию, физиологию и биохимию организмов, морфогенез, клеточную репродукцию и дифференцировку, т. е. процессы, которые лежат в основе роста и развития живых систем.

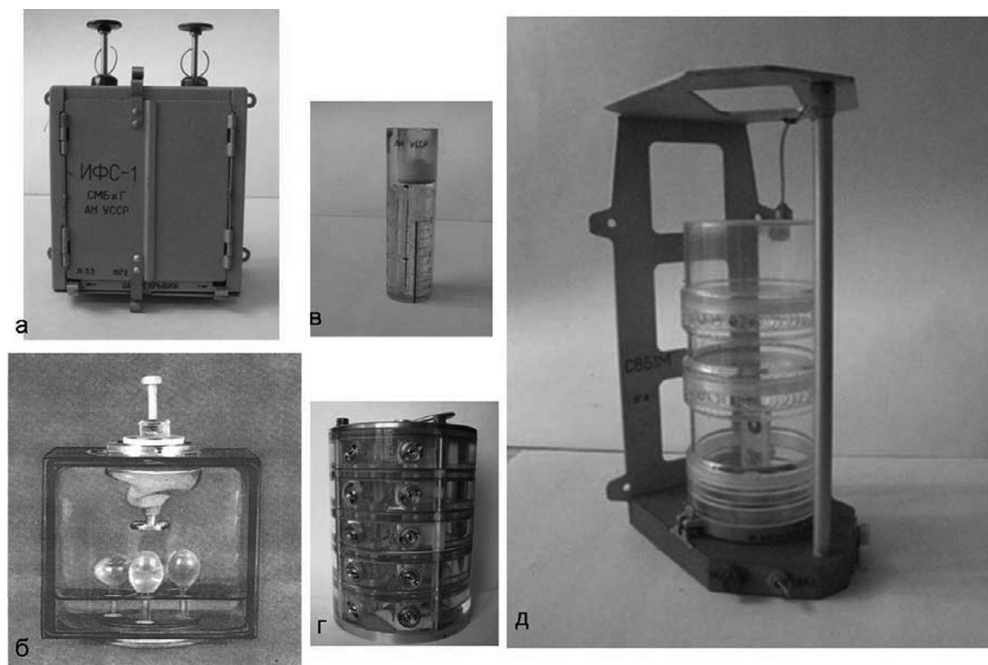
У истоков развития космической медицины и биологии в Украине стоят академик АМН СССР, член-корреспондент АН УССР, физиолог Николай Николаевич Сиротинин (1896–1977) и член-корреспондент АН УССР, микробиолог Лев Осипович Рубенчик (1896–1988). Занимаясь проблемами реактивности и резистентности организма к действию экстремальных факторов, в том числе вопросами кислородного голодания и адаптации к гипоксии, Н. Н. Сиротинин в 1958 году начинает исследования влияния гипокинезии на организм здорового человека. В 1961 году организует в Киеве на кафедре патофизиологии Киевского мединститута первую лабораторию космической физиологии для изучения действия на организм различных факторов космического полета: ускорения, ударных перегрузок, радиации, декомпрессии, а также иммерсионной (возникающей при погружении в воду) невесомости; исследовались перспективы и возможности использования гипотермии, зимней спячки, анабиоза при освоении космического пространства; особенности действия фармакологических веществ в экстремальных услови-

ях. Как вспоминает докт. мед. наук Павел Васильевич Белошицкий (аспирант Н. Н. Сиротинина) на высотах свыше 5000 м собирали космическую пыль с целью определения ее состава и возможности выращивания на ней лишайников, водорослей, грибов в качестве пищевых продуктов для космонавтов; изучали сочетанное влияние на организм низкой или высокой температуры и кислородной недостаточности, разрабатывали наиболее информативные критерии для оценки степени адаптированности космонавтов к гипоксической среде и рекомендаций по использованию адаптации к гипоксикарии для повышения устойчивости к факторам космического полета, выполняли исследования по темам «Моделирование условий жизни на Луне в кратере восточной вершины Эльбруса», «Регенерация и утилизация отходов в изолированных системах». П. В. Белошицкий был непосредственным участником первых экспериментов по исследованию влияния иммерсионной невесомости, комбинированного действия гипоксии и охлаждения или перегревания, моделирования условий жизни на Луне в кратере вершины Эльбруса, проходил подготовку в отряде космонавтов. Стал первым врачом в бывшем Советском союзе, получившим специальность «космическая физиология» (1964). Выполненные под руководством Н. Н. Сиротинина работы по изучению

влияния замкнутых экологических систем на работоспособность и физиологию человека, сыграли немаловажную роль при разработке режимов жизнеобеспечения космонавтов при длительных космических полетах.

В 60-е годы заведующий отделом общей и почвенной микробиологии Института микробиологии и вирусологии АН УССР Л. О. Рубенчик обосновывает использование микроорганизмов как необходимых компонентов замкнутых экологических систем, освещая вопросы поиска и распространения микроорганизмов в космосе, их роли в происхождении жизни. На основе этих представлений Л. О. Рубенчиком и его учеником В. А. Кордюмом разрабатывается теоретическая база будущих космических биологических экспериментов с организмами, которые должны находиться в полете в активном физиологическом состоянии, т. е. расти и развиваться. Обосновывается положение, что именно такой подход предоставит возможность ответить на

наиболее жгучие вопросы, стоящие перед космической биологией в то время, когда стало понятным, что в ближайшем будущем космос станет сферой научной и хозяйственной деятельности человечества. Надо было выяснить, как будет влиять на жизнедеятельность организмов их долгосрочное пребывание вне Земли, будет ли происходить адаптация к условиям космического полета на протяжении жизни одного организма и на уровне поколений, к чему это приведет. Как показали последующие годы, такой подход полностью себя оправдал. Конечно, исследованиям организмов, которые росли и развивались в космическом полете, предшествовала напряженная работа по усовершенствованию методических подходов и созданию технического оборудования для космических экспериментов. Трудности в создании первых приборов для борта заключались в ограничении их веса до нескольких сотен граммов, габаритов — до 10 см и энергопотребления — до единицы ватт. Были разработаны и



**Приборы для проведения космических экспериментов с бактериями и одноклеточными водорослями: (а) «ИФС-1», (б) «ИФС-2», (в) «Рост», (г) «Рост-4», и высших растений, (д) «Светоблок-1»**

созданы специальные культиваторы: «ИФС» (инокуляционно-фиксирующая система), «Рост», «Светоблок-1», «Биоконтейнер» (изготовители: Институт физиологии им. А. А. Богомольца НАН Украины и Экспериментально-конструкторское производство медико-биологического приборостроения Института экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р. Е. Кавецкого НАН Украины), фиксирующие устройства, разработана соответствующая система анализов экспериментального материала.

Параллельно с подготовкой и проведением космических экспериментов Институте ботаники им. Н. Г. Холодного в Киеве проводятся лабораторные работы по моделированию действия отдельных факторов полета — вибрации и ускорения в режиме подъема космического аппарата (совместно с Институтом общей генетики, Москва), изменений напряженности электромагнитных полей (совместно с Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ), Дубна, и Физико-техническим институтом низких температур, Харьков), невесомости (микрогравитации) с использованием горизонтальных клиноставов (постоянное вращение организмов на клиноставах лишает их возможности воспринимать гравитационный стимул); влияние тяжелого компонента космической галактической радиации имитировали путем облучения биологических объектов тяжелыми ионами определенной энергии на ядерных ускорителях (совместно с ОИЯИ, Дубна, и Институтом ядерных исследований, Киев).

С начала 70-х до середины 80-х в Киеве или Каневе по инициативе В. А. Кордюма проводятся ежегодные Всесоюзные рабочие совещания по вопросам круговорота веществ в замкнутых системах на основе жизнедеятельности низших организмов. На совещаниях всесторонне рассматриваются вопросы жизнедеятельности биологических объектов в системах разной степени замкнутости, в том числе особенности роста и развития организмов, перспективных для ис-

пользования в замкнутых экологических системах в реальных условиях будущих космических полетов.

С 1974 г. космические биологические эксперименты с бактериями, водорослями и высшими растениями, культурами органов, тканей и клеток, предложенные и подготовленные в учреждениях Национальной академии наук Украины (Институт молекулярной биологии и генетики, Институт ботаники им. Н. Г. Холодного, Национальный ботанический сад им. Н. Н. Гришко) проводились на биоспутниках серии «Космос», космических кораблях и орбитальных станциях совместно с Институтом медико-биологических проблем (Москва) и НПО «Энергия» (Москва) по национальной и международным программам, в частности советско-американской программе «Союз — Аполлон», советско-французской «Цитос», советско-чехословацкой «Хлорелла», советско-вьетнамской «Азолла». Выдающимся событием в развитии космической биологии в Украине стало проведение «Совместного украинско-американского эксперимента». Приведем хронологию полетных экспериментов в области космической биологии.

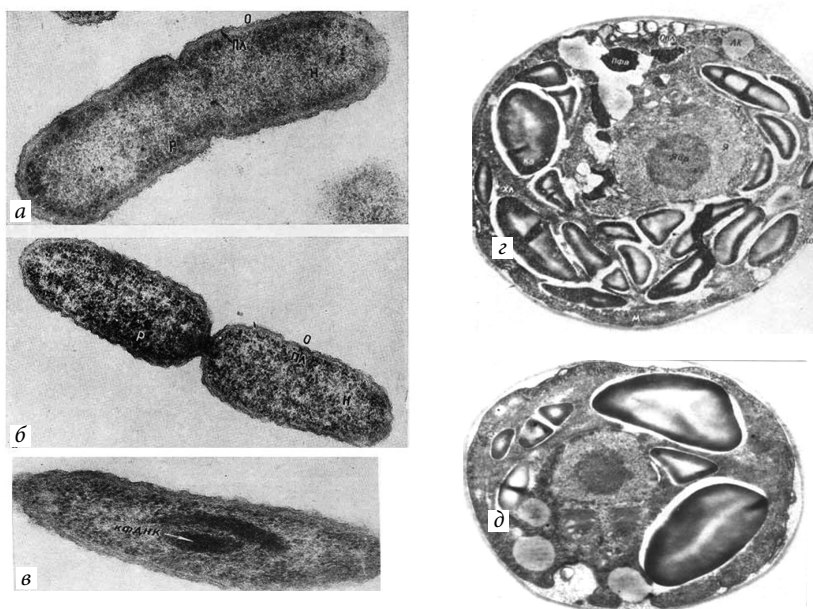
1974—1978 гг. — серия экспериментов с бактерией протей обыкновенный (*Proteus vulgaris*) — палочковидной грамотрицательной бактерией (в греческой мифологии Протей — божество, способное многообразно менять облик), клетки которой очень полиморфны и быстро реагируют на изменения условий; предложены Институтом молекулярной биологии и генетики АН УССР (Киев) совместно с Институтом медико-биологических проблем МЗ СССР; проведены на борту биоспутников «Космос-672», и «Космос-690», космических кораблях «Союз-16», «Союз-19» (в рамках Совместного экспериментального полета «Союз — Аполлон») и «Союз-22», орбитальной станции «Салют-6» (советско-французская программа «Цитос», со стороны Франции: Национальный центр космических исследований Франции и Тулузский университет им. П. Сабатье); исследованы скорость роста, подвиж-



**Космонавт Г. М. Гречко и сотрудники Института ботаники Е. Л. Кордюм и А. Ф. Попова обсуждают результаты экспериментов с хлореллой в космосе**

ность, хемотаксис, строение клеток и активность ферментов, проницаемость мембран в различных условиях выращивания – аэробных (приборы типа «ИФС»), анаэробных и факультативно анаэробных (приборы типа «Рост», «Биотерм-8») [1; 2].

1978–1992 гг. – серия экспериментов с двумя видами одноклеточной зеленой водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*, автотрофный штамм ЛАРГ-1, и *Ch. pyrenoidosa*, гетеротрофный штамм g-1-11). Хлорелла привлекла внимание космических биологов как быстрорастущий живой организм, обладающий способностью очищать атмосферу от вредных примесей и богатый белком, что давало возможность рассматривать ее как источник пополнения запасов пищи в длительных космических полетах будущего. Вследствие достаточно широкого использования хлореллы в космических экспериментах того времени ее стали называть «ветераном космоса». Исследованы скорость роста, размножение, строение и функциональное состояние клеток, содержание полисахаридов и активность ферментов гидролиза крахмала, баланс кальция и инфицирование клетками бактерий в разных режимах



**Фотографии клеток культуры бактерии протей обыкновенный (а–в) и культуры зеленой водоросли хлорелла (г, д), выросших в условиях космического полета. Получены впервые с помощью электронного микроскопа. (а, г) контроль, (б, в, д) полет. Клетки протей в полете отличаются от контрольных меньшими размерами и содержат компактно упакованные фибриллы ДНК (в)**

выращивания – на полужидкой и твердой питательных средах в условиях освещенности и темноте, в трехкомпонентной водной системе (водоросли, рыбы, бактерии). Эксперименты разработаны в Институте молекулярной биологии и генетики и проведены совместно с НПО «Энергия» в приборах типа «ИФС» на борту орбитальной станции «Салют-6», в течение 4,5, 5, 9, 18 и 28 суток и в приборах типа «Биоконтейнер» на борту орбитальной станции «Мир» в течение одного, четырех и 12 месяцев. Сотрудники Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины также участвовали в эксперименте «Аквариум», предложенного ИМБП, в котором хлорелла росла в водной трехкомпонентной среде на борту «Космос-1887», и советско-чехословацком эксперименте «Хлорелла», разработанном специалистами Института молекулярной биологии и генетики АН УССР, Института медико-биологических проблем МЗ СССР и Института микробиологии АН ЧССР и проведенного на борту орбитальной станции «Салют-6» с участием космонавтов Георгия Михайловича Гречко, Алексея Александровича Губарева и чехословацкого космонавта-исследователя Владимира Ремека [3–10].

В этих экспериментах для анализа клеток бактерий и водорослей впервые в мировой космической биологии сотрудники Института ботаники АН УССР использовали метод электронной микроскопии, который дает возможность изучать строение клеток, увеличенных в десятки тысяч раз, и тем самым приблизиться к оценке функционального состояния клеточных органелл и косвенно судить об интенсивности и направленности метаболических процессов в клетке. Поэтому тонкая структура клеток и ее изменения под действием факторов космического полета оказались одними из надежных индикаторов для оценки степени влияния факторов космического полета на функционирование клеток организмов, находящихся в активном физиологическом состоянии во время полета. За цикл работ «Микроорганизмы в космическом полете» В. А. Кордюм,

В. Г. Бабский, Н. Коньшин, В. Г. Манько, Л. В. Поливода (институт молекулярной биологии и генетики), Е. Л. Кордюм, К. М. Сытник (Институт ботаники), Г. С. Нечитайло, А. Л. Машинский (НПО «Энергия») и космонавт Г. М. Гречко удостоены в 1979 году Государственной премии по науке и технике Украинской ССР.

1980 г. – советско-вьетнамский эксперимент «Азолла», разработанный специалистами Института молекулярной биологии и генетики НАН Украины, НПО «Энергия», Академии наук Вьетнама и Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины и проведенный в приборах типа «ИФС» на борту орбитальной станции «Салют-6» с участием космонавта Виктора Васильевича Горбатко и вьетнамского космонавта-исследователя Фам-Туана. Объект исследования – симбиотический водный папоротник азолла (*Azolla pinnata*), широко используемый на рисовых полях Вьетнама как азотное удобрение. Исследованы структура клеток папоротника, азотфиксирующей сине-зеленой водоросли *Anabaena azollae* и ассоциативных бактерий. На борту орбитальной станции «Салют-6» в приборах типа «ИФС» проведен также эксперимент «Протонема», разработанный специалистами Института ботаники совместно с НПО «Энергия». Объект исследования – протонема мха фунария влагомерная (*Funaria hydrometrica*), представляющая собой нити, состоящие из одного ряда клеток, из которых только апикальная клетка растет и делится, интеркалярные клетки не растут, но могут образовывать боковые ветви. Исследованы структурно-функциональная организация зеленых клеток протонемы, в которых происходит процесс фотосинтеза клеток азотфиксирующей водоросли и ассоциативных бактерий [11].

1978–1991 гг. – серия экспериментов с покрытосеменными растениями: горохом (*Pisum sativum*), твердой пшеницей (*Triticum durum*), резушкой Таля (*Arabidopsis thaliana*), бальзамином (*Impatiens balsamina*), огурцами (*Cucumis sativus*), спираделой (*Spirodela polyrhiza*), совместно с НПО «Энергия» на борту

орбитальных станций «Салют-6» и «Салют-7» в приборах «Светоблок» и «Биоконтейнер» [12–16].

Исследованы рост проростков, структурно-функциональная организация клеток вегетативных органов, в том числе гравирецепторных клеток корневого чехлика, баланс кальция, физико-химические свойства цитоплазматической мембраны, интенсивность перекисного окисления липидов. В 1981 году впервые в мире в космическом полете зацвели растения резушки Таля, доставленные на борт орбитальной станции «Салют-6» в фазе двух семядольных листьев. Резушка Таля – однолетнее растение с коротким циклом развития, от семени до семени проходит 40–45 суток, геном которого полностью расшифрован; является универсальным объектом экспериментальных исследований, в том числе и в области космической биологии. Исследовалось строение генеративных органов [14].

1980–1983, 1989 – серия экспериментов Национального ботанического сада им. Н. Н. Гришко НАН Украины с эпифитными и наземными орхидеями, доставляемыми на орбиту в оранжерею «Малахит-2», в создании которой принимали участие специалисты КБ «Южное». Исследование растений после 60-, 110-, 171-суточного пребывания на орбите и возвращения на Землю показало, что эпифитные виды орхидных оказались более устойчивыми к условиям невесомости, нежели наземные виды. Поскольку орхидеи доставлялись на орбиту в цветущем состоянии и цвели длительное время, их пребывание на орбите восхищало космонавтов, которые выражали искреннюю благодарность постановщикам экспериментов. Любовался цветущими орхидеями на борту орбитальной станции Салют-7 и французский космонавт Жан-Лу Кретьен (фото).

1989 г. – эксперименты с культурой протопластов рапса (*Brassica napus*) и супензионной культурой моркови (*Daucus sativa*), подготовленные специалистами Европейского космического агентства и ИМБП с участием сотрудников Инсти-



**Сотрудники ЦБС им. Н. Н. Гришко НАН Украины с оранжереей «Малахит» перед отправкой ее на орбиту.**

**Справа: член-корреспондент НАН Украины Т. М. Черевченко**

тута ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины с целью исследования влияния факторов космического полета на способность протопластов регенерировать клеточную оболочку и образовывать микрокалус. Исследовался состав клеточной оболочки и структурно-функциональная организация клеток микрокалусов. Эксперименты проведены на борту биоспутника «Бион-9» [17].

1989–1991 – эксперименты с каллусной культурой резушки Таля, подготовленные в Институте ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины совместно со специалистами НПО «Энергия» и проведенные на борту орбитальной станции «Мир» в приборах типа «биоконтейнер». Исследованы способность каллусной культуры к морфогенезу в условиях космического полета и особенности дифференцировки гравирецепторного аппарата корней, образовавшихся в каллусной культуре в условиях микрогравитации.

1991 г. – эксперимент с культурой органов картофеля (*Solanum tuberosum*), подготовленный в Институте ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины совместно со специалистами НПО «Энергия» и проведенный на борту орбитальной станции «Мир» в приборе



**Французский космонавт Жан-Лу Кретъен с орхидеями *Dendrobium phalaenopsis* на орбитальной станции «Салют-7»**

«биоконтейнер». Исследованы образование микроклубней, ультраструктура клеток и состав крахмала. Впервые показана способность покрытосеменных растений к вегетативному размножению в условиях космического полета [18].

1989–1996, 2013 – Участие специалистов Института зоологии им. И. И. Шмальгауза НАН Украины под руководством Н. В. Радионовой в международных экспериментах с крысами, тритонами, обезьянами и культурой остеобластов мышей совместно с ГНЦ ИМБП РАН, Европейским космическим агентством и НАСА, проведенных на биоспутниках «Бион-9, -10, -11» и шаттле «Колумбия» (58-я экспедиция). В биопсийном материале, полученном из костей обезьян и крыс и конечностей тритонов после окончания экспериментов с этими животными, исследовалось образование и строение костной ткани для выяснения закономерностей формирования кост-

ной ткани у животных в условиях микрогравитации. На борту биоспутника «Бион-10» в системе культивирования «Биобокс» Европейского космического агентства проведены эксперименты «Кости» и «Мозг» с целью изучения влияния микрогравитации на развитие эмбриональных костей конечностей. Результаты этих фундаментальных исследований раскрывают механизмы гравичувствительности и адаптации костного скелета к изменениям гравитационной нагрузки и могут быть применены для целенаправленной разработки методов диагностики и лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, остеопороза, а также их профилактики в условиях гипокинезии и длительных космических полетов [19–24].



**Зав. отделом цитологии Института зоологии им. И. И. Шмальгауза НАН Украины, д. биол. н., проф. Н. В. Родионова, руководитель исследований формирования костной ткани в условиях микрогравитации в Украине**



1996 – эксперимент «Протонема», подготовленный в Институте экологии Карпат НАН Украины (руководитель О. Т. Демкив) совместно с ИМБП и Огайским университетом (США) и проведенный на биоспутнике «Бион-11». Исследованы пространственная ориентация гравичувствительный протонемы мхов поттии промежуточной (*Pottia intermedia*) и цератодона пурпурного (*Ceratodon purpureus*) в условиях микрогравитации и структурно-функциональная организация апикальной клетки нити протонемы, которая является одновременно местом восприятия гравитационного стимула и осуществления гравитропической реакции. Впервые показана способность протонемы изменять направление роста нитей и формировать спиралевидные дерновинки в условиях микрогравитации [25–29].



**Зав. отделом экоморфогенеза  
Института экологии Карпат  
НАН Украины,  
докт. биол. наук, проф.  
О. Т. Демкив, руководитель  
исследований влияния микрогравитации  
на морфогенез мхов в Украине**

1997 – Совместный украинско-американский эксперимент, проведенный на борту шаттла «Колумбия» (87-я экспедиция, 19 ноября – 5 декабря) с участием украинского космонавта-исследователя Леонида Константиновича Каденюка.



### Полетная эмблема СУАЭ

В подготовке и проведении эксперимента участвовали со стороны Украины Институты НАН Украины: ботаники им. Н. Г. Холодного, молекулярной биологии и генетики, экологии Карпат, микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного, физиологии растений и генетики и Национальный ботанический сад им. Н. Н. Гришко; со стороны США: Канзасский, Луизианский, Огайский, Висконсинский и Северной Каролины университеты и Космический центр имени Дж. Кеннеди, фирмы «Байонетикс» и «Дайнемик». Следует отметить, что при отборе в 1995 году предложений, подготовленных НКАУ для работы украинского космонавта-исследователя во время его полета на борту шаттла «Колумбия» в 1997 году, предложения по космической биологии растений, рассмотренные отделом биологических и биомедицинских наук и прикладных исследований НАСА, оказались наиболее успешными среди предложений других отделов НАСА, координировавших науки в области космического материаловедения и ближнего космоса.

Биология растений, как область науки для совместных исследований ученых США и Украины, была рекомендована координатором этого отдела Томом Скоттом на основании данных экспертизы достижений космической биологии



**Первое рабочее совещание украинских и американских исследователей в Космическом центре им. Дж. Кеннеди. Ноябрь, 1995. В центре: главный руководитель программы СШАЭ штаб-квартиры НАСА Синди Мартин и научный руководитель программы со стороны Украины Елизавета Кордюм**

растений в Национальной академии наук Украины и подготовленных ранее совместных предложений.

Целью эксперимента было изучение влияния микрогравитации на рост и развитие растений. Основные задачи заключались в исследовании в условиях микрогравитации: 1) опыления, оплодотворения и формирования семени; 2) структуры и функционирования фотосинтетического аппарата, 3) структуры, пролиферации и дифференцировки клеток различных ростовых зон корня; 4) состава и содержания фитогормонов, аминокислот и липидов; 5) генной экспрессии; 6) пространственной ориентации высших растений и роли фитохрома в ростовых тропических реакциях; и 7) процесса патогенеза при инфицировании растений грибами и бактериями.

Объекты исследования выращивали: рапс (*Brassica rapa*) в «Установке для выращивания растений», мхи — поттия промежуточная (*Pottia intermedia*) и цера-

тодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*), и сою (*Glycine max*) в «Контейнерах для биологических исследований». Наблюдение за ростом растений на орбите, поливку растений, опыление цветков рапса, фотографирование и фиксацию материала согласно протоколу экспери-



**Экипаж 87-миссии**

мента проводил Леонид Каденюк, который блестяще выполнил все задания, благодаря чему участники эксперимента получили первоклассный материал для лабораторных исследований [30]. Высокую оценку проведения и результатов эксперимента дал профессор Том Скотт (НАСА): «Совместный украинско-американский эксперимент признан настоящим успехом от самого начала до последней публикации, что стало возможным в результате проведения громадной кропотливой работы и прекрасного сотрудничества украинских и американских исследователей на всех уровнях». В рамках эксперимента выполнялась также «Образовательная программа», в рамках которой учителя и школьники США и Украины участвовали в заданиях эксперимента по изучению процессов опыления и формирования семян в условиях космического полета, проводя подобные исследования на земле и сравнивая полученные результаты с полетными. По инициативе Национального космического агентства Украины, Малой академии наук, Государственного эколого-натуралистического центра, Министерства образования и Национальной академии наук Украины систематически проводились семинары для учителей школ со всех областей Украины, школьники которых участвовали в эксперименте. Большая предварительная работа, которую провели координаторы из Малой академии наук (научный руководитель Владимир Назаренко) и из Государственного эколого-натуралистического центра (руководитель Владимир Вербицкий) обеспечила успешное выполнение зада-



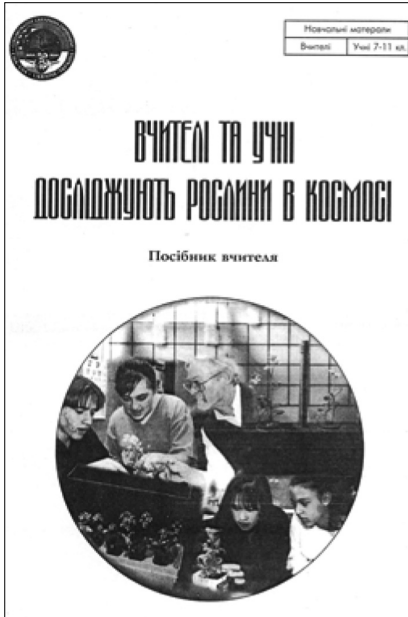
**Космонавт-исследователь  
Л. К. Каденюк фиксирует  
растения рапса**



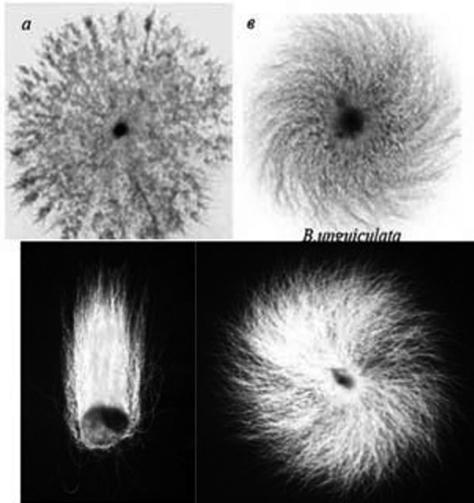
**Космонавт-исследователь  
Л. К. Каденюк опыляет  
цветки рапса**



**Установка НАСА для выращивания растений в космическом полете (а),  
растения рапса, цветущие (б) и плодоносящие на орбите (в)**



Титульная страница пособия для учителей на украинском языке



Дерновинки мхов *Barbula unguiculata* и *Leptobryum rugiforme* спиральной формы, образовавшиеся на свету в земных условиях (а, б), дерновинки мха *Ceratodon purpureus*, выросшие в космическом полете на свету (в), в темноте (г)

ний школьниками в обычных условиях научного кружка. НКАУ организовало издания украинского перевода с английского «Учителя и ученики исследуют растения в космосе» для учителей-координаторов (1500 экземпляров) и пособия для учеников-участников эксперимента (10 тысяч экземпляров). Лучшим участникам эксперимента была предоставлена возможность принять участие в прямом телемосте «Киев – Хьюстон – борт космического корабля “Колумбия”» и задать вопросы украинскому космонавту-исследователю. Также исполнители образовательной программы в составе 9 учеников, 2 учителей и научного руководителя от Украины Владимира Назаренко побывали на старте космического корабля, общались с автором Образовательной программы Полом Вильямсом и своими американскими коллегами, имели возможность совершить интересные образовательно-познавательные экскурсии, предложенные сотрудниками космического центра им. Дж. Кеннеди Томом Дрешелом и Питером Четыркиным.

На протяжении 1980–1991 гг. коллективами кафедры микробиологии Крымского медицинского института и Крымского центра биомедицинских проблем под руководством Ю. С. Кривошеина подготовлено и проведено совместно с НПО «Энергия» более 50 экспериментов на борту орбитальных станций «Салют» и «Мир». Эксперименты базировались на представлениях о положительном влиянии микрогравитации на процесс электрофореза и образование кристаллов, поскольку в условиях микрогравитации не происходит седиментация разделенных материалов из-за отсутствия конвекции, которая разрушает электрофоретическое разделение. Работа велась в трех направлениях: 1) электрофоретическое разделение гетерогенных биологических систем с целью получения высокоочищенных генно-инженерных препаратов (интерферона, инсулина и др.), а также выделение штаммов микроорганизмов – суперпродуцентов ценных лекарственных препаратов (антибиотиков, ферментов и др.). Для реализации этих задач были со-



**Руководители образовательной программы Владимир Назаренко (Украина) и Пол Вильямс (США) в лаборатории Висконсинского университета**

зданы электрофоретические установки первого поколения – «Таврия», «Светлана» и «Робот», второго поколения – «Ручей» и третьего – «Поток»; 2) кристаллизация модельных белков (лизоцин, нейраминдаза вируса гриппа и люцифераза) на установке «Биокрист»; и 3) культивирование микробных и соматических клеток – продуцентов биологически активных веществ в «биореакторе».

Серия экспериментов по разделению фракций клеток и очистки биологически активных веществ с помощью методов зонального электрофореза и изофокусирования выполнена в автоматическом режиме на установке «Каштан» на спутниках серии «Космос» и «Фотон» по заказу Конструкторского бюро общего машиностроения, г. Москва.

Ряд комплексов регенерации атмосферы биоспутников, которые прошли успешную эксплуатацию на борту «Биона-1» и до «Биона-11», создан НПО «Респиратор». Были также созданы самоходные передвижные установки для проведения первичной обработки экспериментального материала непосредственно на месте приземления биоспутников.

Новые возможности для развития космической биологии и медицины в Украине были получены благодаря созданию Национального космического

агентства Украины (НКАУ) при Кабинете Министров Украины в 1992 году и принятия первой (1994–1997), второй (1998–2002), третьей (2003–2007) космических программ, а также и четвертой Общегосударственной целевой научно-технической космической программы Украины (2008–2012). Фундаментальные и прикладные разработки в области космической биологии и медицины (координатор Е. Л. Кордюм) были включены в программы и финансировались НКАУ. Приоритетными направлениями этих разработок были определены такие, в которых результаты работ украинских ученых получили международное признание и развитие которых достаточно обеспечивалось наличным научно-техническим потенциалом.

**Фундаментальные направления:**

– биология клетки в условиях микрогравитации, выяснение клеточных и молекулярных механизмов гравичувствительности живых существ;

– роль кальция в биологических эффектах микрогравитации, выявление гравитационно- и кальций-зависимых клеточных процессов;

– биология развития в условиях микрогравитации, создание концепции роста и развития растительных и животных организмов под влиянием измененной гравитации;



**Экспозиция подопытных крыс в горизонтальном клиностате для исследования влияния моделированной микрогравитации на иммунную систему, руководитель**

**д. биол. н., проф. Л. И. Остапченко (Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко)**

– процессы старения, его темпы и особенности в условиях измененной гравитации;

– взаимоотношения прокариотических (патогенных, ассоциативных и симбиотических) и эукариотических организмов в условиях микрогравитации, оценка патогенности бактерий и вирусов в этих условиях;

– космическая медицина.

**Прикладные направления:**

– разработка космических клеточных биотехнологий и усовершенствование технологий электрофореза в условиях микрогравитации для получения препаратов биологически активных веществ и гомогенных клеточных популяций для медицины, фармацевтической промышленности и сельского хозяйства;

– создание способов космического растениеводства и утилизации отходов для использования в замкнутых (контролируемых) системах жизнеобеспечения человека в длительных космических полетах;

– использование экспресс-методов оценки состояния организмов в условиях космического полета и проведения экологического и радиобиологического мониторинга состояния биосферы;

– усовершенствование существующего и создание нового поколения космического оборудования для проведения космических биологических и биотехнологических экспериментов;

– разработка программ биологических и биотехнологических экспериментов для биоспутников типа «Бийон», кораблей многоразового использования «Шаттл» и Международной космической станции.

В проведении работ в этих направлениях принимали участие в разные годы от 14 до 27 учреждений НАН Украины, Академии медицинских наук (АМН) Украины, Министерства здравоохранения Украины и высшие учебные заведения

Большая работа была сделана по подготовке программы биологических экспериментов на борту украинского орбитального модуля, разработка которого планировалась НАНУ и НКАУ начиная с 1998 года. Программа была составлена и опубликована в журнале «Космічна наука і технологія» в 2000 году (т. 6, № 4, С. 90–128) под названием “Space Biology, Biotechnology and Medicine”. Она четко демонстрирует громадный научно-технический потенциал Украины для фундаментальных и прикладных разработок в области космической биологии и медицины на основе новой методологии, оригинальных идей и подходов. Всего было предложено 46 экспериментов (проектов) во главе с ведущими учеными в различных направлениях биологии и медицины от 27 учреждений НАН Украины, АМН Украины, высших учебных заведений. От НАН Украины – институты: ботаники им. Н. Г. Холодного (проекты «Семя», «Крахмал», «Полак», «Мембрана», «Спирулина»), зоологии им. И. И. Шмальгаузена (проекты «Остеогенез», «Регенерация»), молекулярной биологии и генетики (проекты «Оранжевая», «Экспрессия», «Гениранс»), экологии Карпат (проект «Протонема»), физиологии растений и генетики (проекты «Фотосинтез-1», «Этилен», «Спектр», «Мессенджер-1», «Мессенджер-2», «Опухоли растений»), физиологии им. А. А. Богомольца (проект «Нетклетки»), гидробио-

логии (проект «Утилизация»), клеточной биологии и генетической инженерии (проекты «Меристема», «Фрагментация»), микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного (проекты «Бактериофаг», «Вирус», «Индукция»), кибернетики (проект «Сенсор»), биохимии им. А. В. Палладина (проекты «Липосомы», «Иммунитет», «Тромбоциты»), физики (проект «Магнет»), химии поверхности (проект «Биопан»), биокolloидной химии (проект «Биоминерализация»), проблем природопользования и экологии (проект «Биомедконтроль»), сорбции и проблем эндозоологии (проект «Биосорбент»), геохимии, минералогии и рудообразования (проект «Биоминералы»), центральный ботанический сад им. Н. Н. Гришко (проект «Субстрат»), государственный научно-медицинский центр (проект «Флуориметр»), опытно-конструкторское бюро института патологии, онкологии и радиобиологии (проект «Биолаборатория»); от АМН Украины – институты: геронтологии (проекты «Микроциркуляция-1», «Старение»), медицины труда (проект «Комфорт»), урологии и нефрологии (проект «Микрофлора»), научный центр радиационной медицины (проекты «Теледиагностика», «Гомеостаз-2»); а также: украинский институт онкологии и радиологии Министерства здравоохранения Украины (проект «Гомеостаз-1»), Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко (проект «Стойкость»), Киевский международный университет гражданской авиации (проект «Микроциркуляция-2»). Проекты предусматривали как эксперименты по основным направлениям исследований в области космической биологии и медицины, так и разработку и создание соответствующего бортового оборудования для проведения экспериментов, в частности космической оранжереи, биолаборатории, проточного спектрофотометра и др. Разработки финансировались НКАУ, а 28 проектов из предложенных получили также финансирование Украинского научно-технологического центра (УНТЦ) согласно соглашению между НКАУ и



**Выращивание вирус-инфицированных растений пшеницы на горизонтальном клиностате «Цикл-2» для исследования влияния моделированной микрогравитации на систему «вирус – растение – хозяин», руководитель д. биол. н. Л. Т. Мищенко (Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко)**

НАСА (2000–2003), что стало важной вехой в развитии космической биологии и медицины в Украине. С 2012 года работы по космической биологии финансируются в рамках Целевой комплексной программы НАН Украины по научным космическим исследованиям (руководитель программы академик НАН Украины Я. С. Яцкив).

В результате выполнения фундаментальных и прикладных исследований широкого плана, включая космические и наземные эксперименты по влиянию моделированной микрогравитации с использованием различного типа клиноставов, Украина, как показал анализ состояния мировой космической биологии, стала одним из основных центров проведения комплексных исследований биологии клетки в условиях микрогравитации на современном научно-методическом уровне. Украинскими учеными получены новые знания о реакциях бактерий, растений и млекопитающих на организменном, клеточном и молекулярном уровнях на действие постоянного фактора космического полета – микрогравитации и выдвинуты оригинальные

концепции чувствительности организмов к гравитации, а также роста и развития растений в условиях микрогравитации и механизмов их адаптации к этим условиям [31–45]. Украине принадлежит приоритет в открытии гравитационной чувствительности растительных клеток, не специализированных к восприятию гравитации, и установлению ряда общих закономерностей влияния микрогравитации на живые организмы. Приведем некоторые примеры. Так, сделан вывод, что рост одноклеточных организмов – бактерий и водорослей – усиливается в орбитальном полете при оптимальных условиях их культивирования и замедляется при неблагоприятных [7].

Впервые показано, что гравичувствительная протонема мхов в условиях микрогравитации в темноте, в отличие от наземного контроля, образует спиралевидную дерновинку, нити которой в основном закручиваются вправо по отношению к направлению роста в гравитационном поле [25; 28]. Одновременно установлено, что невозможность осуществления гравитропической реакции в условиях космического полета из-за отсутствия вектора гравитации компенсируется фототропизмом, т. е. односторонне направленный свет обеспечивает в этих условиях нормальное пространственное расположение растений [13]. Впервые доказана возможность формирования органов вегетативного размножения у растений в отсутствие гравитации на примере клубней картофеля – одной из сельскохозяйственных культур, рекомендованных для выращивания в космических летательных аппаратах [18]. Установлен важный аспект влияния микрогравитации – возрастание агрессивности патогенных организмов [46; 47]. Согласно гипотезе гравитационной декомпенсации последовательность событий в клетках, не специализированных к восприятию гравитационного стимула, в условиях микрогравитации происходит следующим образом: изменения поверхностного натяжения цитоплазматической мембраны → изменения физико-хими-

ческих свойств мембраны → изменения в проницаемости мембраны, ионном транспорте активности мембранно-связанных ферментов → перестройки метаболизма → физиологические ответы [31]. В поисках механизмов гравичувствительности клеток рассмотрена роль цитоскелета как индикатора клеточных функций, определяющих гравичувствительность организмов [48–51]. Сделано открытие негативной гравитропической реакции корня в слабом комбинированном магнитном поле с частотой, резонансной циклотронной частоте ионов кальция [52; 53]. Установлена различная чувствительность этапов нейросекреторного процесса к измененной гравитации, что легло в основу допущения о неодинаковой чувствительности к гравитации различных участков мозга крыс [54–57], а также нарушение прооксидантно-антиоксидантного равновесия в лимфоцитах селезенки крыс под влиянием моделированной микрогравитации [58]. Установлено, что длительное влияние моделированной микрогравитации снижало активность протекания инфекционного процесса в системе «вирус – растение – хозяин – пшеница» [59–61]. Выявленный эффект угнетения репродукции вируса при клиностаировании открывает новые возможности использования этого явления в биотехнологиях получения безвирусного растительного материала. Оригинальные фундаментальные данные и концепции используются для разработки способов биомедицинского обеспечения космонавтов и технологий биорегенеративных систем как звена контролируемых систем жизнеобеспечения, в частности агротехники для космического растениеводства и создания зеленого конвейера – непрерывного выращивания быстрорастущих пищевых растений. Результаты работ обобщены в более 300 научных трудах, в том числе в 9 монографиях, опубликованных в отечественных и зарубежных журналах и других научных изданиях.

По проекту «Биолаборатория-М» созданы установочный макет и действующий холодильно-морозильный блок.





**Биолаборатория-М.  
Холодильно-морозильный  
блок и макет термостата**

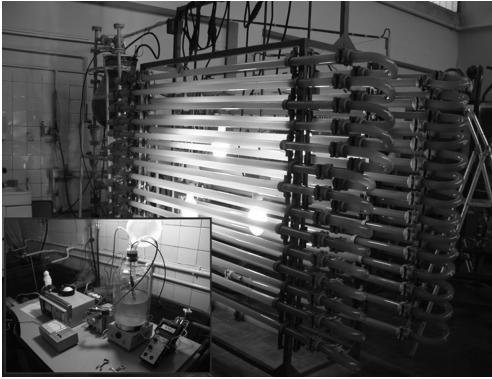
Предложена трофическая цепь с использованием водных организмов «микроводоросли — беспозвоночные — рыбы» для поддержания газового режима в помещениях будущих станций на Луне и Марсе для получения ценных кормовых и пищевых продуктов, регенерации водной среды, а также улучшения психологического состояния экипажа космической станции. В основу научной концепции проекта исполнителями под руководством академика НАН Украины В. Д. Романенко положены особенности метаболизма микроводорослей, способствующие утилизации углекислоты, являющейся конечным продуктом в процессе дыхания человека и животных, ее дальнейшее использование для построения органического вещества и выделения растениями кислорода в процессе фотосинтеза. Следующее гетеротрофное звено включает пресноводных беспозвоночных, имеющих высокую питательную ценность и способных активно потреблять микроводоросли. Полученную биомассу беспозвоночных предлагается использовать не только как корм в процессе выращивания рыб, но и как компонент питания экипажа станции. Трофическую гидробиологическую цепь замыкают рыбы, метаболиты которых, выделяемые в процессе их роста, развития и размножения использу-

ются для выращивания различных растений, в том числе овощей.

Сотрудники Института молекулярной биологии и генетики участвуют в международном эксперименте совместно с ЕКА и Германией «BIOMEX» (биологический и марсианский эксперимент), в котором объектом исследования является «комбуча» — биоопленка, состоящая из сообщества микроорганизмов, продуцирующих целлюлозу. Эксперимент, цель которого состоит в исследовании влияния факторов космического полета на выживаемость микроорганизмов и структуру целлюлозы (направление «Астробиология»), проводится на платформе, смонтированной на наружной части МКС, продолжительность эксперимента 18 месяцев (июль 2014 — февраль 2016). Ведутся совместные наземные эксперименты по влиянию моделированной микрогравитации на участие липидов в передаче внешних и внутренних сигналов в клетке (институты НАН Украины: ботаники им. Н. Г. Холодного, органической химии и нефтехимии, Институт экологии и наук об окружающей среде Университета Восточного Парижа, Франция) и взаимосвязь гравитационных и фототропизмов (Институт ботаники им. Н. Г. Холодного, Центр исследований природы, Литва).



**Академик НАН Украины  
В. Д. Романенко**

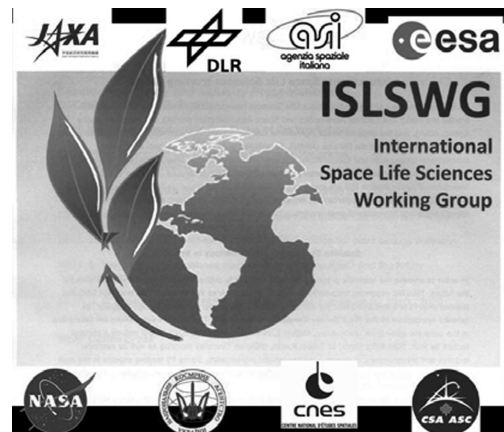


**Трубчатый фотореактор и экспериментальная установка замкнутого типа с регулируемыми параметрами водной и газовой фаз (справа внизу) для культивирования микроводорослей**

В апреле 2000 года Украина была избрана членом Международной рабочей группы по космической биологии и медицине (International Space Life Sciences Working Group, ISLSWG), членами которой являются НАСА, Европейское космическое агентство и космические агентства Канады, Германии, Франции, Японии и Италии. Основная цель деятельности группы, которая была организована в 1991 году, — стимулировать международное сотрудничество и координацию исследований в области космических наук о жизни, содействовать эффективному использованию космических аппаратов и Международной космической станции. Сегодня Группа осуществляет свою деятельность под девизом: «XXI столетие — эра совместных исследований космоса объединенным и динамичным международным научно-исследовательским сообществом». Принятие Украины в члены Группы явилось должной оценкой ее вклада в мировую науку и признанием ее как достойного партнера в развитии космической биологии и медицины в XXI столетии. На научном семинаре «Сотрудничество НАСА и НАСА в сфере космических исследований», организованном НАСА с участием НАСА и Национальной академии

наук Украины 21–22 октября 2004 года и приуроченном к очередному заседанию Группы в Киеве, докладывались и живо обсуждались результаты фундаментальных и прикладных исследований, которые финансировались УНТЦ.

Научная и практическая ценность полученных результатов была признана научной общественностью и рассматривалась как основа для продолжения сотрудничества ученых США и Украины в области наук о жизни в космосе. Лауреатами Премии Президента Украины в области науки и техники для молодых ученых в 2003 году стали три сотрудника Института ботаники им. Н. Г. Холодного, кандидаты биологических наук Н. И. Адамчук, О. А. Артеменко и М. А. Соболев, за цикл работ «Гравичувствительность растений и грибов на клеточном и молекулярном уровнях». В 2011 году авторы книги, изданной в издательстве «Академперіодика» в 2007 году на двух языках, украинском и английском, «Растения в Космосе» (авторы Е. Л. Кордюм, Д. К. Чепмен) и “Plants in Space” (authors E. L. Kordyum, D. K. Chapman), в которой детально освещаются события подготовки и проведения СУАЭ, удостоены Премии Международной академии астронавтики. Издание имеет научно-справочный характер и основывается на официальных документах, материалах рабочих совещаний и публикаций в «Научных записках», которые





**Президиум научного семинара «Сотрудничество НКАУ и НАСА в сфере космических исследований». Слева направо: исполнительный директор НТЦУ А. Худ, заместитель генерального директора НКАУ Э. И. Кузнецов, заместитель администратора Управления по научным и исследовательским миссиям НАСА Т. Лом, заместитель председателя Совета по космическим исследованиям НАН Украины Я. С. Яцкив, начальник Управления по космическим программам и научным исследованиям НКАУ О. П. Федоров (Киев, октябрь 2004 г.)**

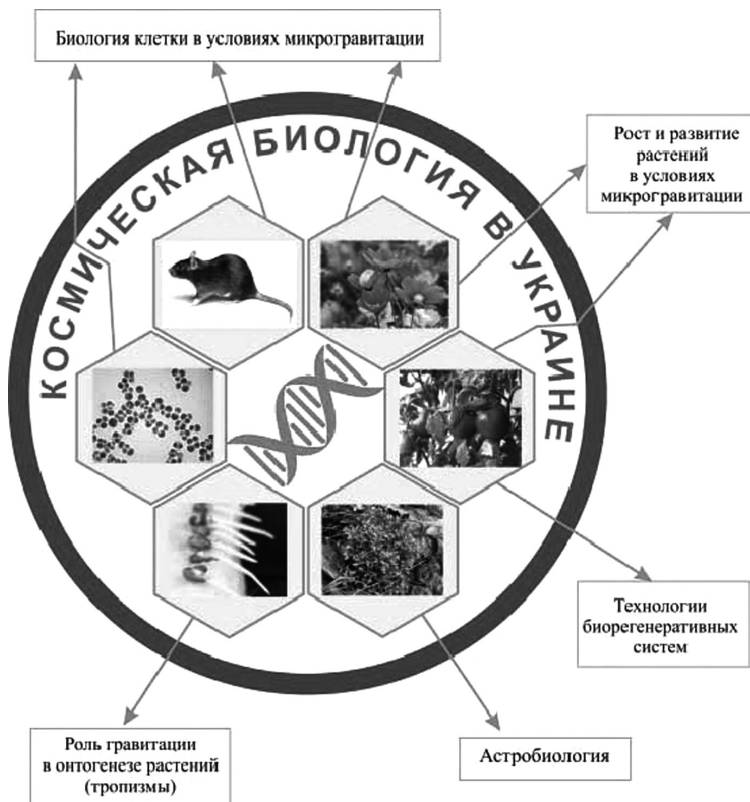


**Вручение Премии Международной академии астронавтики за книгу «Растения в Космосе» Е. Л. Кордюм на заседании академии в г. Кейптаун, ЮАР (октябрь, 2011 г.)**

периодически печатались в США на протяжении трех лет (1996–1998).

Сегодня в центре внимания космической биологии в мире остаются общебиологическая проблема – познание роли гравитации в функционировании биосферы, и ее экспериментальная основа – разносторонние исследования влияния микрогравитации на живые системы на различных уровнях их организации, прикладная роль которых значительно возросла в связи с широкими планами освоения Луны и пилотируемых полетов в дальний космос, посещения Марса. Как известно, открытый космос является враждебным для всего живого, космонавты живут и работают в искусственной среде, создание и поддержание которой обеспечивается физико-химическими системами жизнеобеспечения. Будущие длительные экспедиции требуют громадного количества метаболических ресур-

сов, т. е. воды, пищи, кислорода, слишком тяжелых для существующих ракет, и не могут быть осуществлены без высокого уровня кругооборота. Для решения этой проблемы биорегенеративные системы определены комплементарными звеньями физико-химических систем жизнеобеспечения пилотируемых летательных аппаратов. Кроме того, в замкнутом пространстве кабины космического корабля значительно увеличивается риск микробных инфекций и химического отравления. Поэтому высшие растения и другие фотосинтетические организмы являются ключевыми компонентами биорегенеративных систем как источники кислорода и производства пищевой биомассы в длительных космических полетах. Значительно активизировались исследования по астробиологии – процессов, связанных с происхождением, эволюцией и распространением жизни в Космосе.



Исследования по космической биологии в Украине, которые проводятся в настоящее время и планируются на ближайшие годы, учитывают мировые приоритеты в тех направлениях этой области, где достижения украинских ученых признаны научной общественностью и достаточно обеспечены научно-техническим потенциалом:

- роль гравитации в жизни растений (тропизмы);
- биология клетки в условиях микрогравитации;
- рост и развитие растений в условиях микрогравитации;
- технологии биорегенеративных систем жизнеобеспечения;
- астробиология.

Исследования концентрируются на оригинальном фактическом материале, полученном украинскими учеными

в предыдущие годы, на разработанных оригинальных концепциях и гипотезах с использованием новых методологических подходов, методов и моделей для подготовки и проведения наземных и космических экспериментов с учетом тенденций развития современной биологии и направлены на решение фундаментальных проблем космической и гравитационной биологии, прикладных задач биомедицинского обеспечения космонавтов и создания биорегенеративных систем жизнеобеспечения. Успешное развитие космической биологии в Украине способствует поддержанию имиджа Украины как космического государства, поскольку программы по наукам о жизни в космосе являются приоритетными в космических программах НАСА, Европейского космического агентства и национальных космических агентств.

1. *Pіcm і розвиток Proteus vulgaris в умовах космічного польоту* / Є. Л. Кордюм, В. Г. Манько, В. А. Кордюм та ін. // Доповіді АН УРСР: Сер. Б. – 1976. – № 11. – С. 1036–1038.
2. *Ультроструктура* клеток *Proteus vulgaris*, выросших в орбитальном полете в аэробных условиях / Е. Л. Кордюм, А. Ф. Попова, С. А. Уварова и др. // Доклады АН УССР: Сер. Б. – 1976. – № 12. – С. 1127–1130.
3. *Biological investigations of higher and lower plants at board Soyus 19* / E. L. Kordyum, N. P. Dubinin, E. M. Vaulina et al. // COSPAR, Life Sci. Space Res. – 1977. – No 5. – P. 251–54.
4. *Kordyum E. L. Biological studies of Chlorella pyrenoidosa (strain g-11-1) culture grown under space flight conditions* / E. L. Kordyum, A. F. Popova, K. M. Sytnik // COSPAR, Life Sci. Space Res. – 1980. – No 18. – P. 281–284.
5. *Growth and cell structure of Proteus vulgaris when cultivated in weightlessness in Cytos apparatus* / E. L. Kordyum, K. M. Sytnik, V. A. Kordyum et al. // COSPAR, Life Sci. Space Res. – 1980. – No 18. – P. 285–289.
6. *Prospects of autotrophic link functioning in biological life-support systems based on cell biology studies* / E. L. Kordyum, E. M. Nedukha, A. F. Popova et al. // Acta Astronautica. – 1983. – No 10. – P. 225–228.
7. *Микроорганизмы в космическом полете* / [К. М. Сытник, А. В. Кордюм, Е. Л. Кордюм и др.]. – Киев : Наукова думка, 1983. – 142 с.
8. *Ultrastructural and growth indices of Chlorella culture in multicomponent aquatic systems under space flight conditions* / A. F. Popova, E. L. Kordyum, K. M. Sytnik et al. // Adv. Space Res. – 1989. – No 9. – P. 79–82.
9. *Грибы и водоросли – объекты космической биологии* / [Л. Ф. Горовой, Т. Б. Касаткина, А. Ф. Попова и др.]. – Проблемы космической биологии, т. 69. – Ленинград : Наука, 1991. – 221 с.
10. *The submicroscopic organization of Chlorella cells cultivated in solid medium under microgravity* / A. F. Popova, K. M. Sytnik, E. L. Kordyum et al. // Adv. Space Res. – 1992. – No 12, 1. – P. 141–146.
11. *Nedukha E. M. Optical and electron microscopic studies of the Funaria hygrometrica protonema after cultivation for 96 days in space* / E. M. Nedukha, E. L. Kordyum // Adv. Space Res. – 1981. – No 1. – P. 159–162.
12. *Kordyum E. L. Influence of orbital flight conditions of formation of genitals in*

- Muscari racemosum and Anethum graveolens / E. L. Kordyum, A. F. Popova, A. L. Mashinsky // COSPAR, Life Sci. Space Res. – 1979. – No 17. – P. 301–304.
13. *Растительная* клетка при изменении геофизических факторов / [К. М. Сытник, Е. Л. Кордюм, Е. М. Недуха и др.]. – К. : Наукова думка, 1984. – 135 с.
  14. *Особенности* формирования андропея и гинецея у *Arabidopsis thaliana* (L.) Неунф в условиях космического полета / Е. Л. Кордюм, К. М. Сытник, И. И. Черняева и др. // Биологические исследования на орбитальных станциях «Салют». – М. : Наука, 1984. – С. 81–96.
  15. *Современные* проблемы космической клеточной фитобиологии. Проблемы космической биологии / [Е. Л. Кордюм, К. М. Сытник, Н. А. Белявская и др.]. – Т. 73. – М. : Наука, 1994. – 230 с.
  16. *Kordyum E. L.* Effects of altered gravity on plant cell processes: results of recent space and clinostat experiments / E. L. Kordyum // Adv. Space Res. – 1994. – No 14. – P. 77–85.
  17. *The effect of exposure to microgravity on the development and structural organization of plant protoplasts flown on Biokosmos 9* / O. Rasmussen, D. Klimchuk, M. Tairbekov et al. // *Physiol. Plantarum*. – 1992. – No 84. – P. 162–170.
  18. *Development of potato minitubers in microgravity* / E. Kordyum, V. Baranenko, E. Nedukha et al. // *Plant Cell Physiol*. – 1997. – No 38. – P. 1111–1117.
  19. *Rodionova N. V.* Ultrastructural changes in osteocytes in microgravity conditions / N. V. Rodionova, V. S. Oganov, N. V. Zolotova // *J. Adv. Space Res.* – 2002. – No 30. – P. 765–770.
  20. *Rodionova N. V.* Changes of cell-vascular complex in zones of adaptive remodeling of the bone tissue under microgravity conditions / N. V. Rodionova, V. S. Oganov // *Adv. Space Res.* – 2003. – No 32. – P. 1477–1481.
  21. *Rodionova N. V.* Intaraction of cells in zones of bone resorption under microgravity and hypokinesia / N. V. Rodionova, O. V. Polkovenko, V. S. Oganov // *J. Grav. Physiol.* – 2004. – No 11. – P. 147–151.
  22. *Родионова Н. В.* Цитологічні механізми перебудов у кістках при гіпокінезії та мікрогравітації / Н. В. Родионова. – К. : Вид-во «Наукова думка», 2006. – 240 с.
  23. *Родионова Н. В.* Клеточные механизмы потери костной ткани в условиях микрогравитации / Н. В. Родионова // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2013. – № 47. – С. 128–130.
  24. *Структурно-функциональные изменения в клетках костной ткани в условиях космического полета* / Н. В. Родионова, О. Н. Нестеренко, Е. В. Скрипченко и др. // *Космічна наука і технологія*. – 2015. – № 21. – С. 49–53.
  25. *Гравіморфогенез* протонемі листяних мохів / О. Т. Демків, Є. Л. Кордюм, М. Г. Таїрбеков та ін. // *Доповіді НАН України*. – 1998. – № 7. – С. 163–166.
  26. *Gravi- and photostimuli in moss protonema growth movements* / O. Demkiv, E. Kordyum, Y. Khorkevtsiv Y. et al. // *Adv. Space Res.* – 1998. – No 21, 8/9. – P. 1191–1195.
  27. *Demkiv O.T.* Changes of protonemal cell growth related to cytoskeleton organization / O. T. Demkiv, Ya. D. Khorkevtsiv, O. I. Pundiak // *Cell Biol. Int.* – 2003. – No 27. – P. 187–189.
  28. *Ростовые движения протонемы мхов в условиях микрогравитации* / О.Т.Демків, Е.Л.Кордюм, М.Г.Таїрбеков и др. // *Авиакосм. экологическая медицина*. – 1999. – № 3. – С. 18–24.
  29. *Лобачевська О. В.* Гравічутливість в онтогенезі мохів / О. В. Лобачевська, Я. Д. Хоркевців // *Космічна наука і технологія*. – 2014. – № 20. – С. 55–61.
  30. *Кордюм Є.Л.* Рослини в космосі (Plants in Space) / Є. Л. Кордюм, Д. К. Чепмен. – К. : Академреоедіка, 2007. – 215 с.
  31. *Kordyum E. L.* Biology of plant cells in microgravity and under clinostating / E. L. Kordyum // *Int. Rev. Cytol.* – 1997. – No 171. – P. 1–78.
  32. *Kordyum E. L.* Plant reproduction system in microgravity: experimental data and hypotheses / E. L. Kordyum // *Adv. Space Res.* – 1998. – No 21, 8/9. – P. 1111–1120.
  33. *Кордюм Е. Л.* К вопросу о роли амилопластов и ядра статоцитов корневого чехлика в гравирецепции / Е. Л. Кордюм, Дж. А. Гайкема // *Докл. НАН Украины*. – 2001. – № 5. – С. 157–161.

34. *Kordyum E. L.* Gravisensitivity of plant cells: Experimental data and hypotheses / E. L. Kordyum // *J. Gravit. Physiol.* – 2002. – No 9. – P. 219–220.
35. *Kordyum E. L.* Calcium signaling in plant cells in altered gravity / E. L. Kordyum // *Adv. Space Res.* – 2003. – No 32. – P. 621–630.
36. *Kordyum E. L.* A role for the cytoskeleton in plant cell gravisensitivity and Ca<sup>2+</sup> signaling in microgravity / E. L. Kordyum // *Cell Biol. Int.* – 2003. – No 27. – P. 219–221.
37. *Microgravity* effects the photosynthetic apparatus of *Brassica rapa L.* / S. M. Kochubey, N. I. Adamchuk, E. L. Kordyum et al. // *Plant Biosystems.* – 2004. – No 138. – P. 1–9.
38. *Acting* organization and gene expression in *Beta vulgaris* seedlings under clinorotation / L. E. Kozeko, G. V. Shevchenko O. A. Artemenko et al. // *J. Gravit. Physiol.* – 2005. – No 12. – P. 187–188.
39. *Kozeko L.* The stress protein level under clinorotation in context of the seedling developmental program and the stress response / L. Kozeko, E. Kordyum // *Microgravity Sci. Technol.* – 2006. – No 18. – P. 254–256.
40. *Subnucleolar* location of fibrillarin and NopA64 in *Lepidium sativum* root meristematic cells is changed in altered gravity / M. A. Sobol, F. Gonzalez-Camacho, V. Rodriguez-Vilarino et al. // *Protoplasma.* – 2006. – No 228, 4. – P. 209–219.
41. *Romanchuk S. M.* Er-bodies in *Arabidopsis thaliana* seedlings are sensitive to simulated microgravity and ionizing radiation / S. M. Romanchuk, E. L. Kordyum // *ELGRA News Letter.* – 2014. – No 9. – P. 10–11.
42. *Kordyum E. L.* Plant cell gravisensitivity and adaptation to microgravity / E. L. Kordyum // *Plant Biology.* – 2014. – No 16. – P. 79–90.
43. *Brykov V.* Clinorotation impacts root apex respiration and the ultrastructure of mitochondria / V. Brykov, E. Kordyum // *Cell Biol. Int.* – 2015. – No 39. – P. 475–483.
44. *Molecular* mechanisms of gravity perception and signal transduction in plants / Ya. S. Kolesnikov, V. Kretynin, I. D. Volotovskiy et al. // *Protoplasma.* – 2015. – DOI 10.1007/s00709–015–0859-5.
45. *Дослідження* впливу модельованої мікрогравітації на біліпідний шар цитоплазматичної мембрани рослинних клітин / Є. Л. Кордюм, О. М. Недуха, В. П. Грахов та ін. // *Космічна наука і технологія.* – 2015. – № 21, 3. – С. 40–47.
46. *Plants, plant pathogen, and microgravity* – deadly trio / J. A. Leach, M. Ryba-White, Q. Sun et al. // *Gravit. Space Biol. Bull.* – 2001. – No 16. – P. 15–23.
47. *Growth* in microgravity increases susceptibility of soybean to fungal pathogen / M. Ryba-White, O. Nedukha, E. Kordyum et al. // *Plant Cell Physiol.* – 2001. – No 42. – P. 657–664.
48. *Application* of GFP-technology for cytoskeleton visualization on board the International Space Station / E. Kordyum, G. Shevchenko, A. Yemets et al. // *Acta Astronautica.* – 2005. – No 56. – P. 613–621.
49. *Shevchenko G. V.* Organization of cytoskeleton during differentiation of gravisensitive root cells under clinorotation / G. V. Shevchenko, E. L. Kordyum // *Adv. Space Res.* – 2005. – No 35. – P. 289–295.
50. *The* role of the cytoskeleton in plant cell gravisensitivity / E. L. Kordyum, G. V. Shevchenko, I. M. Kalinina et al. // *The plant cytoskeleton: a key tool for agro biotechnology*; Eds. Y. B. Blume, W. V. Baird, A. I. Yemets, D. Breviario. – Berlin: Springer, 2008. – P. 173–196.
51. *Kalinina I. Shevchenko G., Kordyum E.* Tubulin cytoskeleton in *Arabidopsis thaliana* root cells under clinorotation / I. Kalinina // *Microgravity Sci. Techn.* – 2009. – No 21. – P. 187–190.
52. *A weak* combined magnetic field changes root gravitropism / E. L. Kordyum, Ya. M. Kalinina, N. I. Bogatina et al. // *Adv. Space Res.* – 2005. – No 38. – P. 1229–1236.
53. *Cyclotron-based* effects on plant gravitropism / E. Kordyum, M. Sobol, Ya. Kalinina et al. // *Adv. Space Res.* – 2007. – No 39. – P. 1210–1217.
54. *Cholesterol* depletion attenuates tonic release but increases the ambient level of glutamate in rat brain synaptosomes / T. Borisova, N. Krisanova, R. Sivko et al. // *Neurochemistry Int.* – 2010. – No 56. – P. 466–618.
55. *Neurotoxic* potential of lunar and martian dust: influence on em, proton gradient, active transport, and binding of glutamate

- in rat brain nerve terminals / N. Krisanova, L. Kasatkina, R. Sivko et al. // *Astrobiology*. – 2013. – No 13. – P. 679–692.
56. *Tarasenko A.* New insights into molecular mechanism(s) underlying the presynaptic action of nitric oxide on GABA release / A. Tarasenko, O. Krupko, N. Himmelreich // *Biochim. Biophys. Acta*. – 2014. – No 184. – P. 1923–1932.
57. *Neuromodulatory* properties of fluorescent carbon dots: Effect on exocytotic release, uptake and ambient level of glutamate and GABA in brain nerve terminals / T. Borisova, A. Nazarova, M. Dekaliuk et al. // *Int. J. Biochem. Cell Biol.* – 2015. – No 59. – P. 203–215.
58. *Остапченко Л. І.* Молекулярні механізми регуляції активності циклонуклеотид- та кальційзалежних протеїніназ лімфоїдних клітин в умовах радіаційного впливу / Л. І. Остапченко. – Київ : Фітосоціоцентр, 1999. – 108 с.
59. *Clinostating* effects on biochemical characteristics and productivity of healthy and virus-infected wheat plants of dwarf Apogee variety / L. T. Mishchenko, A. M. Silayeva, I. A. Mishchenko et al. // *Adv. Space Res.* – 2004. – No 34. – P. 1607–1611.
60. *Mishchenko L. T.* Aspects of adaptive answering formation in virus-host plant pathosystem for different wheat cultivars under simulating microgravity condition / L. T. Mishchenko // *J. Gravit. Physiol.* – 2007. – No 14. – P. 214–215.
61. *Вірусні* інфекції картоплі та їх перебіг за умов модельованої мікрогравітації / [Міщенко Л. Т., Поліщук В. П., Таран О. П., Гордейчик О. І.]. – К. : Фітосоціоцентр, 2011. – 144 с.

Одержано 22.012.016

Е. Л. Кордюм

### Космічна біологія і медицина в Україні: історія та перспективи

*Коротко викладено історію становлення космічної біології та медицини в Україні, яка починається з кінця 50-х років ХХ століття. Наведено хронологію космічних біологічних експериментів, в яких безпосередню участь брали вчені Національної академії наук України, висвітлено їх внесок у методологію постановки та проведення космічних та модельних експериментів з різними біологічними об'єктами – бактеріями, водоростями, вищими рослинами, пацюками, культурами органів, тканин і клітин рослин і тварин. Підкреслено роль Державного космічного агентства України в успішному розвитку космічної біології в Україні. Представлено основні напрями досліджень, які проводяться у нинішній час в галузі космічної біології.*

**Ключові слова:** космічна біологія і медицина, експеримент, бактерія, клітина, орбітальна станція, космічний політ, мікрогравітація, біосупутник, гравічутливість, біорегенеративна система.