

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН  
“ВКЛАД АКАДЕМИЧЕСКОЙ НАУКИ В РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ”

КОСМИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ,  
ДОСТИЖЕНИЯ И ВЫЗОВЫ

© 2021 г. А. И. Григорьев<sup>а,\*</sup>, О. И. Орлов<sup>а,\*\*</sup>, В. М. Баранов<sup>а,\*\*\*</sup>

<sup>а</sup> Государственный научный центр РФ “Институт медико-биологических проблем РАН”, Москва, Россия

\*E-mail: grigoriev@imbp.ru

\*\*E-mail: orlov@imbp.ru

\*\*\*E-mail: info@imbp.ru

Поступила в редакцию 27.05.2021 г.

После доработки 27.05.2021 г.

Принята к публикации 02.07.2021 г.

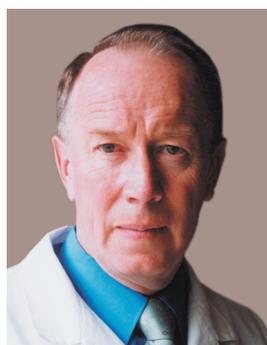
В статье, основанной на докладе, представленном на Научной сессии РАН, освещается история становления космической медицины, её теоретические основы, роль учёных Академии наук в подготовке и осуществлении первого полёта человека в космос. Рассматриваются достижения отечественных специалистов в области космической физиологии, биологии и медицины, способствующие развитию пилотируемой космонавтики. Приводятся примеры внедрения результатов исследований в космосе, а также приборов и устройств, разработанных для медицинского обеспечения экипажей космических объектов, в практическое здравоохранение. Анализируются проблемы медицинского обеспечения будущих межпланетных полётов и пути их решения.

*Ключевые слова:* пилотируемый космический полёт, космическая физиология, медицинское обеспечение экипажей космических объектов, межпланетные миссии.

DOI: 10.31857/S0869587321110050

60 лет назад произошло событие, которое имело громадное общечеловеческое значение, — первый полёт человека в космос. Полёт нашего соотечественника Юрия Алексеевича Гагарина стал не только предметом нашей национальной гордости, но и началом реализации чаяний многих поколений людей, живших и живущих на планете Земля. И поэтому неслучайно Организация Объединённых Наций на своей Генеральной Ассамблее определила 12 апреля международным днём полёта человека в космос.

Американский астронавт Нил Армстронг сказал о Юрии Гагарине: “Он позвал всех нас в космос”. Эта фраза прежде всего означает всплеск энтузиазма учёных всего мира относительно обеспечения космических полётов и создания широкой международной кооперации в этой области, кооперации, которая до настоящего времени успешно осуществляется на разных уровнях. Этот энтузиазм не обошёл стороной и представителей медицины. 12 апреля 1961 г. стал днём рождения не только пилотируемой космонавти-



ГРИГОРЬЕВ Анатолий Иванович — академик РАН, научный руководитель ИМБП РАН. ОРЛОВ Олег Игоревич — академик РАН, директор ИМБП РАН. БАРАНОВ Виктор Михайлович — академик РАН, руководитель научного направления ИМБП РАН.

ки, но и космической медицины. Как и космонавтика, космическая медицина зародилась задолго до своего официального оформления.

**Научные основы космической медицины.** Это новое направление медицины возникло не на пустом месте. Подготовка к полёту человека в космос проходила на фоне формирования системы знаний на базе эволюционной и экологической физиологии, физиологии экстремальных состояний, физиологии труда, и именно эта система составила основу для последующего возникновения и развития космической, гравитационной физиологии, ставшей краеугольным камнем космической медицины. Эта работа в основном выполнялась учениками и последователями школы академика И.П. Павлова. Как известно, в космонавтике есть свой теоретик и свой практик. Так и в космической медицине, можно сказать, что теоретиком являлся Леон Абгарович Орбели – представитель школы И.П. Павлова, который отвечал непосредственно за все вопросы, связанные с обеспечением полёта человека в космос [1]. А практиками были авиационные врачи, военные, яркий представитель которых – Владимир Иванович Яздовский [2]. В 1947 г. был создан Институт авиационной и космической медицины Министерства обороны СССР, и первая группа молодых специалистов пришла на работу в этот НИИ. Многие из них по прошествии десятков лет стали по праву называть основателями российской космической медицины.

Практические работы стартовали в начале 1950-х годов под руководством Сергея Павловича Королёва при участии академиков В.Н. Черниговского, М.Н. Сисакяна, В.А. Энгельгардта и других видных деятелей Академии наук [3]. Первыми в космос полетели животные (собаки). Естественное продолжение эти работы получили на искусственных биологических спутниках Земли “Спутник-2”, “Спутник-5”, которые доказали принципиальную возможность в контролируемых условиях, при отслеживании биологических функций, безопасного орбитального полёта биологических существ. Первые кратковременные полёты человека в космос с точки зрения влияния на его организм факторов космического пространства проходили безопасно, однако с увеличением продолжительности полётов стали обнаруживаться неблагоприятные эффекты длительного пребывания в невесомости. Особенно это проявилось после 17-суточного полёта экипажа космического корабля “Союз-9”. Были поставлены задачи, связанные с системным изучением влияния условий пребывания в космосе на организм человека, с целью разработки средств и методов сохранения здоровья и работоспособности членов экипажей космических кораблей и станций.

Уже в 1963 г. по инициативе С.П. Королёва и М.В. Келдыша при активном участии заместителя министра здравоохранения СССР А.И. Бурназяна был создан Институт медико-биологических проблем (ИМБП), который первоначально называли Институтом космической медицины, но потом, по ряду причин, ему дали более широкое название. На становление и развитие исследований института в разное время оказали решающее влияние его первые директора академики А.В. Лебединский, В.В. Парин, О.Г. Газенко. Институт в широкой кооперации с учреждениями Академии наук, других ведомств и при сотрудничестве с зарубежными коллегами развернул активную работу по изучению влияния факторов космического полёта на организм человека.

**Достижения космической медицины.** Исследования выполнялись широким фронтом, как в космических полётах, так и на земле при моделировании условий пребывания космонавтов на околоземной орбите.

Влияние факторов орбитальных космических полётов на сердечно-сосудистую систему изучалось сотрудниками под руководством академиков В.В. Парина, А.А. Мясникова, Е.И. Чазова. Была установлена ведущая роль перемещения жидкостных сред в верхнюю половину тела в возникновении негативных реакций сердечно-сосудистой системы на невесомость [4].

Академиками Ю.В. Наточиним и А.И. Григорьевым было показано отрицательное влияние условий полёта на функцию почек [5]. Сформированное направление исследований позволило перейти к другой важной задаче, связанной с регуляцией водно-солевого обмена, возникла целая научная школа. Ученики этой школы члены-корреспонденты РАН Б.В. Моруков и Л.Б. Буравкова, академик О.И. Орлов совместно с коллегами изучили проблему нарушения обмена кальция в условиях космического полёта и вымывания кальция из костной ткани, которое наблюдается после космических миссий. Были разработаны соответствующие меры профилактики [6, 7]. Безусловно, важными были результаты исследований влияния космических полётов на респираторную систему, выполненные под руководством академика В.М. Баранова. Установлены значимые изменения в системе внешнего дыхания и газообмена в условиях микрогравитации, приводящие к снижению парциального напряжения кислорода в крови (гипоксемия) [8, 9].

Необходимо вспомнить работы академика В.С. Гурфинкеля, члена-корреспондента РАН И.Б. Козловской и их последователей, которые привели к формулированию концепции гипогравитационного двигательного синдрома как комплекса факторов, нарушающих двигательную функцию в условиях полёта [10].

Конечно, выполнение программы полётов на отечественных орбитальных станциях было бы невозможно без исследований отечественной школы психофизиологии, представленной академиками П.В. Симоновым, М.М. Хананашвили и целым рядом других деятелей науки [11]. Нельзя не сказать и о космической гастроэнтерологии, основанной академиком А.М. Уголевым и его учениками, разработавшими рекомендации по организации питания космонавтов применительно к различным условиям полёта, функциональному состоянию и даже с учётом национальных особенностей членов экипажа [12].

Необходимо также упомянуть системы жизнеобеспечения, в создании которых активно участвовали не только учёные, конструкторы и технологи, но и медики. Именно они, зная физиологию человека, его резервные и приспособительные возможности, формулировали медико-технические требования к системам, обеспечивающим в замкнутом пространстве безопасную комфортную жизнь и деятельность членов экипажей космических объектов, участвовали в испытаниях систем обеспечения жизнедеятельности на соответствие санитарно-гигиеническим нормативам. Говоря о системах обеспечения жизнедеятельности космонавтов, следует упомянуть работы по биологическим системам жизнеобеспечения, которые проводились под руководством академика И.И. Гительсона в ИМБП в Москве и в Институте биофизики в Красноярске. Результаты этих исследований имеют важное значение в свете предстоящих задач по освоению дальнего космоса [13, 14].

Ещё большее значение для будущих межпланетных миссий имеют вопросы радиобиологии и радиационной безопасности. В своё время этими вопросами занимались сотрудники института “Биофизика” под руководством академика Л.А. Ильина [15]. В ИМБП лабораторию с аналогичными задачами применительно к космическим полётам возглавлял член-корреспондент РАМН Е.И. Воробьёв. В настоящее время возможными последствиями повышенного уровня радиации за пределами магнитного поля Земли для здоровья космонавтов продолжают заниматься коллективы академика М.А. Островского, члена-корреспондента РАН Е.А. Красавина и другие учёные. Удалось разработать систему мероприятий по обеспечению радиационной безопасности орбитальных пилотируемых полётов, позволяющую смотреть с оптимизмом на возможность создания подобной системы для будущих межпланетных миссий.

Самым важным достижением космической медицины за период от полёта Ю.А. Гагарина до наших дней следует считать создание системы медико-эпидемиологического обеспечения кос-

мических экспедиций продолжительностью, равной полёту к Марсу и обратно. Врач-космонавт В.В. Поляков провёл в космосе почти 438 суток. Система, включающая в себя различные средства и методы сохранения здоровья и работоспособности космонавтов, опирается на знания, полученные учёными, работающими в разных областях фундаментальной медицины.

**Космическая медицина и здравоохранение.** Прогресс космической медицины сопровождался очень важным эффектом — практическим выходом не только в космонавтику, но и в практическое здравоохранение. Мы научились лучше понимать состояние физиологической нормы, границу между нормой и патологией, оценивать функциональные резервы организма и реакцию организма на различные экстремальные воздействия. Та аппаратура, те методики и средства профилактики, которые разрабатывались для контроля состояния здоровья космонавтов, находили применение в клинической медицине. В этом процессе большую роль сыграла Академия наук, две её программы “Фундаментальные науки медицине” (руководители академики О.Г. Газенко и А.И. Григорьев) и программа “Поддержка инноваций и технологий” (руководители академики Г.А. Месяц и С.М. Алдошин). Эти программы, взаимно дополняя друг друга, создавали единую систему инновационных разработок от фундаментальных исследований до этапа коммерциализации. Опыт этих программ должен быть изучен и использован для расширения и ускорения процессов внедрения результатов в области космических исследований в нашу жизнь на Земле. Один из примеров успешной реализации результатов этих программ — внедрение костюма “Регент” и изделия “Корвит” в практику реабилитации больных с нейромышечной патологией. Эти изделия успешно применяются в клиниках не только нашей страны, но и за рубежом.

В своём ежегодном послании 20 апреля 2021 г. Президент РФ В.В. Путин упомянул телемедицину как один из важных элементов, доказавших свою эффективность в ситуации с пандемией COVID-19. Телемедицина начиналась как космический инструментарий. За прошедшие годы была проделана большая работа, прежде всего коллективом под руководством академика А.И. Григорьева совместно с Московским государственным университетом, Медико-стоматологическим и Нижегородским университетами и другими организациями, в процессе которой космические телемедицинские технологии были адаптированы для задач наземного применения, созданы основы телемедицинского образования, отработаны технологии организационного и правового обеспечения этой области здравоохранения [16]. Телемедицина оказалась инструментарием, в очередной раз доказавшим свою эффек-

тивность в процессе борьбы с коронавирусной инфекцией. Оказались востребованными и знания, полученные космическими медиками в области физиологического, физического и психологического стресса в условиях длительной изоляции. Сейчас эта работа продолжится в составе центра мирового уровня – Павловского центра интегративной физиологии, который создан на базе Института физиологии им. И.П. Павлова, Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова, ИМБП и Электротехнического университета им. В.И. Ульянова (Ленина).

**Современные вызовы.** На данном этапе пилотируемой космонавтики внимание большинства учёных и конструкторов приковано к проблематике межпланетных полётов. Надо признать, что технологии медицинского обеспечения таких миссий будут принципиально отличаться от того, что используется сейчас во время орбитальных полётов. Во-первых, специалисты столкнутся с факторами, с которыми не встречались ранее: это отсутствие магнитного поля Земли, галактическое излучение и др. Во-вторых, придётся поменять парадигму профилактических мероприятий, которые должны быть более гибкими, персонализированными, с использованием искусственной гравитации. Парадигма медицинского обеспечения в условиях автономных космических полётов должна базироваться на широком применении искусственного интеллекта, что мы называем между собой “интеллектуальным телемедицинским контуром”. Необходимо создать научно-технологический задел для более широкого применения робототехнических средств и передовых технологий на более поздних этапах экспансии человека в космос.

Конечно, нельзя забывать о тех технологиях, которые должны быть разработаны в преддверии начала программы освоения Луны, именно освоения, а не просто посещения. В связи с этим требует серьёзного изучения целый ряд вопросов, в частности, проблема лунной пыли. Работы в этом направлении уже начаты, их необходимо активизировать. Речь идёт о программе участия в полётах автоматических станций к Луне и на её поверхность и программе “БИОН-М”. С учётом планируемых изменений в федеральной космической программе потребуется коррекция программы полёта биологического спутника “БИОН-М” № 2, главная задача которого – комплексная оценка влияния космической радиации на живые организмы. В скором времени начнёт реализовываться, как мы надеемся, программа “Возврат” (тот самый “Ноев ковчег”), которая позволит оценить состояние биологических объектов после длительного пребывания в межпланетном космическом пространстве. Для транспортно-корабля, который в беспилотном режиме будет осуществлять облёт Луны, готовится специальная биологическая программа исследо-

ваний. Полученные результаты позволят специалистам точнее оценить степень рисков и принять меры для сохранения здоровья и работоспособности космонавтов при выполнении лунных миссий.

Коротко о проекте “Международная космическая станция”. Медико-биологическая часть “Долгосрочной программы научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС” представлена в двух разделах – “Человек в космосе” и “Космическая биология и биотехнология”. Они будут продолжаться до конца существования МКС с акцентом на перспективные российские программы. Всё, что предлагается для космических миссий, первоначально исследуется на земле в условиях комплексных экспериментов на различных моделях.

Работа по освоению космоса, особенно в области космической медицины, практически с самого начала пилотируемой космонавтики проводилась при широком международном сотрудничестве. Один из примеров – программа “Интеркосмос”, организованная по инициативе и под руководством Академии наук, возглавляемая академиком Б.Н. Петровым, в рамках которой проводились исследования не только по космической физике и другим направлениям, но и по космической биологии и медицине. Следует упомянуть российско-американское сотрудничество в области космической медицины, за которое с российской стороны отвечают Госкорпорация “Роскосмос” и Академия наук, а с американской – NASA. Эту работу координирует Российско-американская совместная рабочая группа по исследованию в области космической биологии и медицины, которой в нынешнем году исполняется 50 лет. В разные годы её возглавляли академики О.Г. Газенко и А.И. Григорьев. Сейчас российская сторона выдвинула концепцию создания международного центра для отработки технологии медицинского обеспечения межпланетных полётов. В рамках этой концепции реализуется программа “SIRIUS”, которая создана ИМБП РАН совместно с NASA при участии других международных партнёров. Программа представляет собой серию изоляционных экспериментов, в рамках которых учёные уже начали отрабатывать методики для будущих межпланетных полётов.

Дальнейшее развитие технологий космической медицины лежит на стыке многих наук, и здесь важно не только развитие традиционного сотрудничества физиологов, медиков, биологов, которое всегда успешно проходит под эгидой Академии наук, но и участие математиков, химиков, специалистов по IT-технологиям, физиков и представителей других дисциплин. И здесь очень важна роль и активная позиция Совета РАН по космосу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев А.И., Григорьян Н.А. Леон Абгарович Орбели. Становление физиологии военного труда, авиакосмической и подводной физиологии / Научная школа академика Л.А. Орбели. М.: Наука, 2007.
2. Яздовский В.И. На тропах Вселенной. Вклад космической биологии и медицины в освоение космического пространства. М.: Слово, 1996.
3. Сисакян Н.М., Парин В.В., Черниговский В.Н., Яздовский В.И. Некоторые проблемы изучения и освоения космического пространства / Проблемы космической биологии. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
4. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967.
5. Газенко О.Г., Наточин Ю.В., Григорьев А.И. Водно-солевой гомеостаз и космический полёт / Проблемы космической биологии. Т. 54. М.: Наука, 1986.
6. Григорьев А.И., Воложин А.И., Ступаков Г.П. Минеральный обмен у человека в условиях изменённой гравитации / Проблемы космической биологии. Т. 74. М.: Наука, 1994.
7. Моруков Б.В., Орлов О.И., Балаковский М.С. и др. Влияние модельной невесомости на обмен кальция и состояние костной ткани экспериментальных животных // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1990. № 2. С. 31–34.
8. Баранов В.М. Газоэнергообмен и внешнее дыхание человека в космических полётах и модельных исследованиях / Проблемы космической биологии. Т. 75. М.: Наука, 1993.
9. Донина Ж.А., Баранов В.М., Александрова Н.П., Ноздрачев А.Д. Дыхание и гемодинамика при моделировании физиологических эффектов невесомости. СПб.: Наука, 2013.
10. Козловская И.Б., Ярманова Е.Н., Егоров А.Д. и др. Развитие российской системы профилактики неблагоприятных влияний невесомости в длительных полётах на МКС / Международная космическая станция. Российский сегмент. Космическая биология и медицина. Т. 1. М.: ИМБП, 2011.
11. Мясников В.И., Замалетдинов И.С. Психическое состояние и групповое взаимодействие космонавтов в полёте / Человек в космическом полёте. Т. 3. Кн. 2. М.: Наука, 1997. С. 246–269.
12. Смирнов К.В., Уголев А.М. Космическая гастроэнтерология. М.: Наука, 1981.
13. Гительзон И.И., Ковров Б.Г., Лисовский Г.М. и др. Экспериментальные экологические системы, включающие человека / Проблемы космической биологии. Т. 28. М.: Наука, 1975.
14. Мелешко Г.И., Шепелев Е.Я. Биологические системы жизнеобеспечения (замкнутые экологические системы) / Под ред. академика О.Г. Газенко. М.: Синтез, 1994.
15. Лебединский А.В., Нефёдов Ю.Г. Проблемы радиационной безопасности космических полётов / Проблемы космической биологии. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
16. Григорьев А.И., Орлов О.И., Логинов В.А. и др. Клиническая телемедицина. М.: Слово, 2001.