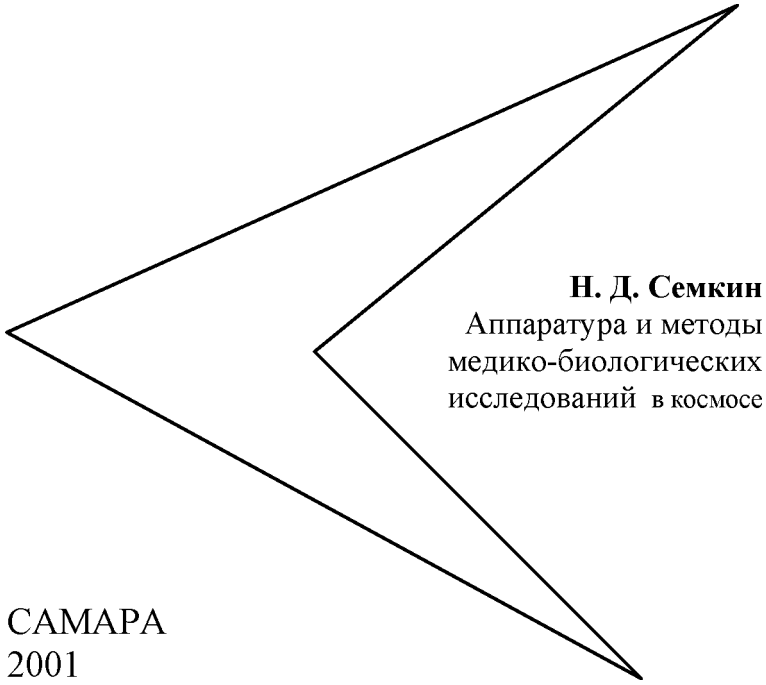
Самарский
Государственный
Аэрокосмический
Университет
Имени академика С. П. Королева

ЧАСТЬ I



Н. Д. Семкин

Аппаратура и методы медико-биологических исследований в космосе

САМАРА
2001

Учебное издание

Семкин Николай Данилович

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ В КОСМОСЕ

В 2-х частях

Часть I

Учебное пособие

Редактор Т. К. Кретинина
Корректор А. Ю. Кузьмин

Лицензия ЛР №020301 от 30.12.96.

Подписано в печать 16.06.2001 г. Формат 60x84 л/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 9, 53. Усл. кр. – отт. 9,65. Уч.-изд. л. 10,25. Тираж. 100 экз. Заказ 49. Арт С-5 (Д1)/2001.

Самарский государственный аэрокосмический
университет им. академика С. П. Королева
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 151.

критериальными методиками конечной точки по числу колоний, формируемых выживающими клетками, числу клеток, манифестирующих измеренный сдвиг, по вероятности злокачественного перерождения и т.д. При прочих равных условиях эффекты воздействия радиации являются функцией поглощенной дозы для данного типа излучения. Однако при одной и той же дозе облучения разные виды ионизирующих излучений не обязательно вызывают одинаковое проявление эффекта. Это естественно, поскольку микроскопическое распределение поглощенной энергии и вызываемые ею химические процессы различны даже тогда, когда среднее значение переданной энергии (поглощенной дозы) может быть идентичным. Отличия в биологическом действии разных типов ионизирующих излучений при одинаковой поглощенной дозе определяются в рамках понятия "качество" излучения.

Исторически рентгеновские лучи рассматривают в качестве эталонного типа радиации, по сравнению с которым оценивают поражающее действие всех других типов радиации. В области радиационной защиты для оценки биологического поражения относительно рентгеновских лучей используется эквивалентная доза H.

$H = \overline{Q}D$, где Q - средняя величина количественного фактора - коэффициента качества, определяемого как функция ЛПЭ в бесконечности ($ЛПЭ_{\infty}$) вместо определения его как функции линейной энергии. Следует отметить, что ЛПЭ используется без наложения ограничений на максимальную энергию вторичных электронов, которую они генерируют (например, используемая величина численно равна тормозной способности). Единицей эквивалентной дозы является Зиверт (Зв). Величина 1 Зв предполагается (в интересах обеспечения радиационной защиты) равной по биологическому действию 1 Гр рентгеновских лучей.

Часто отмечается различие излучений с низкой, от источников γ- и рентгеновского излучения, и высокой (тяжелые ионы высоких энергий) ЛПЭ. Электроны, высвобождающиеся в ткани при действии рентгеновских лучей, имеют средние значения ЛЭП порядка 2-3 кэВ/мкм, в то время как у γ-лучей средние значения ЛПЭ лежат в диапазоне от 0,2 до 0,5 кэВ/мкм. Излучение, характеризующееся значениями ЛПЭ 3,5 кэВ/мкм или ниже, относится к радиации с низкими величинами ЛПЭ, в то время как излучение с более высокими ЛПЭ считается радиацией с высокими уровнями ЛПЭ. Однако даже низкоуровневые по ЛПЭ источники γ-лучей могут создавать вторичные электроны с ЛПЭ 10-30 кэВ/мкм, так что в их энергетическом спектре представлена компонента с высокими значениями ЛПЭ. Для сравнения укажем, что радиация с высокой ЛПЭ формируется тяжелыми заряженными частицами высоких энергий (ТЗЧ) и может передавать на единицу длины пробега в 1000 раз больше энергии, чем радиация с низким уровнем ЛПЭ. В то время как вторичные электроны с низким уровнем ЛПЭ могут проходить через промежутки между нитями ДНК, равные приблизительно 3 нм, некоторые ионы с высокой ЛПЭ могут вызвать такой

Министерство общего и профессионального образования РФ

Самарский Государственный Аэрокосмический Университет им. С. П. Королева

Н. Д. Семкин

Аппаратура медико-биологических исследований в космосе

Учебное пособие

ЧАСТЬ I

Самара

УДК 539.1

Аппаратура медико-биологических исследований в космосе:
Учеб. Пособие / Н. Д. Семкин; Самар. гос. аэрокосм. ун-т.
Самара – В 2-х частях, часть I, стр. 127

В учебном пособии изложен материал, отражающий различные методы и способы проведения медико-биологических исследований в космосе, аппаратуру для космических исследований, способы измерения физиологических и биологических параметров, параметров космической среды, влияние различных факторов космической среды на состояние живых организмов.

Пособие предназначено для студентов Самарского Государственного Аэрокосмического Университета, а также могут быть использованы студентами, обучающимися по профилю "Биомедицинские аппараты и системы".

Ил. 31, Табл. 6. Библиогр.: назв. 49.

Печатается по решению редакционно-издательского своета Самарского Государственного Аэрокосмического Университета.

Рецензент: проф., доктор техн. наук А. Н. Комов

© Н. Д. Семкин
© Самарский Государственный Аэрокосмический Университет

близкими к ним по физическим характеристикам.

Репарация молекул до состояния, предшествующего облучению, возможна благодаря рекомбинации, восстановлению и заживлению. Рекомбинация – процесс слияния ионов или радикалов с образованием молекулы, из которой они произошли. Восстановление (реституция) представляет собой процесс химического восстановления измененных молекул до их первоначального состояния без участия ферментативных или других биокаталитических механизмов. При заживлении (репарации) идет процесс восстановления жизнедеятельности молекул посредством каталитических процессов, имеющих место в жизнедеятельности клетки.

Из механизмов, инициирующих повреждение молекулы ДНК, наиболее важны разрывы нитей. Однонитевые разрывы эффективно восстанавливаются за счет внутриклеточных механизмов заживления. Двунитевые разрывы могут возникать или как два однонитевых разрыва, находящихся рядом, при прямом действии излучения, либо в результате взаимодействия разрывов двух независимых одинарных нитей, разделенных некоторым расстоянием, меньшим критической величины, которая, однако, в настоящее время не известна. Двунитевые разрывы восстанавливаются менее эффективно, чем однонитевые разрывы, и гораздо чаще приводят к гибели клетки.

Гибель клетки в целом определяется как потеря репродуктивной способности, поскольку тяжело поврежденные клетки часто сохраняют способность функционировать в той мере, в какой химические участки, обеспечивающие эти функции, сами не повреждены излучением. Выживание клетки является наиболее объективным параметром, поддающимся количественной оценке в лабораторных условиях, индикатором способности клеток делиться в колониях. В организме гибель клетки выявляется только в тех случаях, когда функция органа или ткани нарушена. Модификация клеточной деятельности может наступить в результате нелетальных повреждений молекулы ДНК, приводящих к злокачественному перерождению. Это есть начальное событие в цепочке сдвигов, приводящих к развитию онкологической патологии. Дальнейшие события, провоцируемые повторным воздействием радиации или стимуляцией так называемых промоторных субстанций, предшествуют моменту, когда клетка может быть отнесена к категории "предраковых". Предраковые клетки не всегда приводят к развитию злокачественной опухоли. Требуются дальнейшие трансформации в клетке и окружающих ее тканях для формирования стадии так называемого прогрессивного роста. Даже при отсутствии инициирующей фазы онкологического заболевания стойкие изменения в клеточной ДНК могут проявляться как мутации. Такие мутации, когда они имеют место в репродуктивных клетках, могут превращаться в наследуемые сдвиги и проявляться в потомстве облученного организма. Эти изменения в клетке, которая сохраняет свою репродуктивную целостность, известны как "генетические эффекты".

Эффекты действия излучения измеряются в соответствии с различными

в ионизации и возбуждении атомных и молекулярных компонентов ткани, происходит за очень малый интервал времени, сопоставимый с временем пересечения их падающими частицами (~10^{-16} с). Исходная структура поглощения энергии как бы хранится в улетучивающейся химической памяти, целиком состоящей их всех химических радикалов и молекулярных веществ, оставшихся после начальной, так называемой физической, стадии передачи энергии. Первичная ионизация обычно генерирует вторичные энергетичные электроны, которые проходят через вещество и вызывают ионизацию. Через ~10^{-12} с от момента начальных ионизаций электроны в полярных жидкостях типа воды (являющейся основным структурным компонентом ткани) захватываются ("растворяются") или вступают в связь с другими молекулами, образуя высокоактивные химические компоненты ("свободные радикалы"). Свободные радикалы, в свою очередь, претерпевают дальнейшие химические реакции до того, как они инактивируются (в течение интервала 10^{-6} с).

Химические реактанты распространяются по ткани из очага их образования, реагируя с окружающими компонентами среды до того момента, пока структура передачи энергии не будет "считана" биологически чувствительными участками облучаемых молекул, главным образом молекул дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в клеточных ядрах. Эффекты воздействия радиации на чувствительные участки могут быть зафиксированы, восстановлены до исходного уровня за счет репаративных процессов или модифицированы клеточными механизмами. Когда первоначальное повреждение полностью не восстановлено, трансформированная клетка может погибнуть (или дать потомство дочерних клеток, которые погибнут через определенное число делений). Если клетка не погибнет, она (или ее потомство) может проявить измененные свойства в виде дальнейшего повреждения органов и тканей, с которыми она взаимодействует. Временная шкала, связанная с биологическими проявлениями радиационного поражения, имеет сходство с временной шкалой развития других биологических процессов. Эффект поражения может развиваться длительное время, днями или даже годами. Клетка является фундаментальным элементом живого организма. Хранителем информации, необходимой для синтеза внутриклеточных протеинов и воспроизводства клетки, являются молекулы ДНК - наиболее чувствительное звено к действию радиации из всех компонентов клеточных структур, участвующих в клеточной деятельности. Таким образом, действие радиации на живые клетки рассматривается на основе взаимодействия радиации с ДНК. Когда излучение передает свою энергию непосредственно молекулам ДНК мишени, это рассматривается как "прямое" воздействие. Любая модификация ДНК химическими промежуточными продуктами, главным образом продуктами радиолиза окружающей воды, обозначается как "непрямое" воздействие. Неудивительно, что прямые воздействия в большей степени связаны с действием тяжелых частиц, а непрямые воздействия обусловлены рентгеновскими лучами и излучениями,

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ 9

ВВЕДЕНИЕ 9

НЕВЕСОМОСТЬ 10

1.1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ 10

1.2. ЗНАЧЕНИЕ СИЛ ГРАВИТАЦИИ В РЕГУЛЯЦИ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ ОРГАНИЗМА 11

1.3. ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ НЕВЕСОМОСТИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА 13

1.4. СОСТОЯНИЕ ПОНИЖЕННОЙ ВЕСОМОСТИ (СУБГРАВИТАЦИЯ)14

1.5. ИМИТАЦИЯ НЕВЕСОМОСТИ 16

1.6. ИМИТАЦИЯ СУБГРАВИТАЦИИ 17

ИОНИЗИРУЮЩАЯ РАДИАЦИЯ 17

2.1. РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ЗЕМЛИ 18

2.2. ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ (ГКЛ) 22

2.3. СОЛНЕЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ 22

2.4. ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ 23

НЕИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ 31

3.1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И ОКЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ 33

3.2. ГИПО(ГЕО)МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ 34

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 36

4.1 ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА 37
Биологические источники 39
Конструкционные материалы 39
Технологические процессы 40

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИИ 40

5.1 ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТКАНЯХ НА АТОМАРНОМ И МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЯХ 40

5.2 ОБЩЕСОМАТИЧЕСКИЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ: РАННИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ 43

5.3 ОБЩЕСОМАТИЧЕСКИЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ:ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ 48

ВЛИЯНИЕ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ 50

6.1 БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ИЗЛУЧЕНИЙ) 50
Нейрофизиологические исследования 50
Гематологические и иммунные реакции 51
Поражение глаз: возникновение катаракты 52
Старение, тератогенез, генетические эффекты 53

6.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СВЕРХНИЗКИХ ЧАСТОТ
Нейтроэндокринная и сердечно-сосудистая системы 54
Кровь. Иммунные реакции 56
Рост и развитие. Онкологические и генетические наблюдения 57

6.3 ГЕОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ: РЕАКЦИЯ ЗДОРОВОГО И БОЛЬНОГО ОРГАНИЗМА. БИОРИТМЫ 58

6.4 МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (УФИ) 59

6.5 МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НЕВЕСОМОСТИ И ПРОЦЕССЫ АДАПТАЦИИ К ОТСУТСТВИЮ ВЕСА 65
Влияние невесомости на нервную систему 69

Человек. Все продукты выделений человека вносят свою долю в состав газообразных загрязнений ИГА космического корабля. Они выделяются в пространство корабля из легких, желудочно-кишечного тракта, мочевыводящих путей, через кожу, волосы и рот.

Дыхательные пути. Через легкие выделяются главным образом водяные пары, углекислый газ и окись углерода. Анализ выдыхаемого воздуха показал наличие следующих микропримесей: аммиака, формальдегида, уксусного альдегида, ацетона, метанола, пропанола, этана и высших углеводородов.

Желудочно-кишечный тракт и мочевыделительная система. Желудочно-кишечный тракт и мочевыделительная система являются источником выделения фекалий, кишечных газов и мочи. Образующиеся газообразные компоненты содержат индол, скатол, двуокись углерода, водород, сероводород, метан, азот, фенолы, кислород.

Внешние покровы. Кожа и ее потовые железы являются источником летучих веществ, таких, как аммиак и фенолы, наряду с целым рядом других микропримесей. Кожа и волосы служат также источником образования твердых частиц, которые могут находиться в воздухе во взвешенном состоянии.

С учетом всего сказанного относительно загрязнений становится очевидным, что человек в герметически замкнутом пространстве является важным источником образования токсических веществ. Нельзя допустить накопления этих вредных продуктов в ИГА выше безопасных уровней.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Соединения, обладающие относительно высокой упругостью паров, выделяются из твердых материалов, из углеводородных смазок и рабочих жидкостей механизмов. Их источниками являются пластики, предметы тулета, смазочные и изоляционные материалы, краски, клеи, остатки растворителей после обезжиривающих обработок.

Содержание кислорода и температура атмосферы изменяют интенсивность выделения этих веществ и их состав.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Разнообразные процессы, осуществляемые на борту космического корабля, являются другим важным источником загрязнений ИГА. Многие из этих загрязнений встречаются в виде твердых или жидких аэрозолей.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИИ

5.1 ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТКАНЯХ НА АТОМАРНОМ И МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЯХ

Биологические эффекты радиации обусловлены поглощением энергии излучения в тканях. Поглощение энергии, выражающееся главным образом

Изоляция людей и оборудования в герметически замкнутых пространствах может приводить к постепенному накоплению в воздухе химических загрязнений и микрофлоры до токсического или инфекционного уровня.

ИГА космических кораблей представляет собой динамическую смесь газов, специально предназначенных для обеспечения дыхания, таких, как кислород, азот, водяные пары, двуокись углерода. Помимо этого существуют другие компоненты, рассматриваемые как загрязнения, которые являются нежелательными, если не потенциально опасными, и содержание которых должно контролироваться. Загрязнения имеют различное происхождение в том числе:

– биологическое (человек, микроорганизмы);

– техническое (конструкционные материалы, технологические процессы).

Равновесная концентрация загрязнений и время, необходимое для ее достижения, являются ведущими факторами при определении скорости удаления вредных примесей, требуемой для достижения в атмосфере заданного равновесного уровня:

$$C = \frac{W}{b}\left[1 - e^{-\frac{bt}{a}}\right]$$

где C – концентрация загрязнений в мг/м^3 за время t;

W – количество загрязнений, образующееся за сутки в мг;

b – объем атмосферных утечек (м^3) за сутки при давлении X фунтов на 1 кв. дюйм; t – истекшее время в сутках.

Время для достижения 99% равновесной концентрации после герметизации может быть ориентировочно оценено с помощью уравнения:

$$T_{ДНЕЙ} = 4{,}6 \cdot \frac{a}{b},$$

где a – общий эффективный объем помещений в м^3;

b – объем утечек (м^3) за сутки при давлении X фунтов на 1 кв. дюйм.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

Микрофлора**.** В космическом корабле уровень микробного загрязнения воздуха зависит от продолжительности пребывания человека, от числа членов экипажа, условий их работы, фильтрующей способности и величины воздухообмена системы очистки от химических веществ, а также системы регенерации воздуха. Он зависит также от наличия специальной дезинфекционной аппаратуры и газового состава атмосферы.

Данные о влиянии состава воздуха на микробную популяцию позволили высказать предположение, что ИГА может самоочищаться, в результате чего происходит понижение степени бактериального заражения атмосферы. Однако эта проблема все еще не является предметом глубокого изучения.

Влияние невесомости на сердечно-сосудистую систему. 69
Влияние невесомости на обмен веществ. 70
Влияние невесомости на костно-мышечную систему. 70
Реакции, обусловленные со стороны афферентного звена нервной системы 71
Реакции организма, связанные с отсутствием весовой нагрузки на костно-мышечную систему 75
Ограничения, вытекающие из влияния невесомости на человека и другие действия невесомости на организм 77

РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ЗЕМЛИ: НИЗКИЕ ОКОЛОЗЕМНЫЕ ОРБИТЫ 79

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ 81

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА 81

9.1 ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ 82

9.2 ХРОНИЧЕСКАЯ ТОКСИЧНОСТЬ 84

9.3. КОМБИНИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ 85

ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМОСЕ 85

10.1 ИССЛЕДОВАНИЯ НА БИОСПУТНИКАХ СЕРИИ "КОСМОС" 85
Особенности ночного сна обезьян на Земле и в условиях космического полета на биоспутнике «КОСМОС-1667» 90
Биологические эксперименты на биоспутнике «КОСМОС-1887» 92

10.2 ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ "САЛЮТ–6" 98
Исследования искусственной силы тяжести. 104
Исследования на микроорганизмах, культуре клеток, грибах, растениях 106.
Динамика изменения культуры PROTEUS VULGARIS при выращивании в устройстве Рост-4М2 на станции «Салют-7» 115
Субмикроскопическая организация клеток ANABAENA AZOLLAE STRAS в условиях космического полета 120
Ритм репродукции клеток растений IN VITRO и IN VIVO в условиях микрогравитации 124

Влияние одиночных попаданий тяжелых ионовгалактических космических лучей на семена LACTUCA SATIVA, экспонированные на орбитальных пилотируемых станциях «САЛЮТ-6» и «САЛЮТ-7» 127

10.3 ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМОСЕ НАД ЖИВОТНЫМИ. АППАРАТУРА 134
Результаты исследований 137
Сравнительный анализ биологических эффектов электромагнитных излучений. Поражение глаз. Катарогенез 141

10.4 ПРОЕКТ "АРАГАЦ" (1990Г.) 144
Эксперимент "Эхография" 144
Эксперимент "Минилаб" 147
Эксперимент "Виминаль" 149
Эксперимент "Физали" 150
Эксперимент "Цирцея" 151

10.5 ПРОЕКТ «МЕДИЛАБ» 153
Экспериментальные и общетеоретические исследования 153

10.6 АППАРАТУРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 162
Проблемы радиационной безопасности космических полетов в программе «ИНТЕРКОСМОС» 162
Радиационные одиночные сбои микроэлектроники космических аппаратов, обусловленные событиями солнечных космических лучей 168
Измерение освещенности на искуственном спутнике Земли «КОСМОС-1129» 170
Вклад компании Кайзер-Фред в проект Фотона. 174
Автоматическое устройство POLISON для проведения экспериментов на Фотоне 175
Эксперимент TRAMP 177
Радиационная дозиметрия 178
Радиационная биология 178
Экобиология 179
Биобокс 180

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 **181**

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 **189**

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕРМИНОВ 189

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ: 193

ЛИТЕРАТУРА **195**

весьма сложной, требует оригинальных методов реализации с учетом высокой надежности и безаварийности при использовании.

По всей видимости, практическое применение найдут датчики многоцелевого назначения, способные при малом объеме анализируемого газа давать полный ответ об основных составляющих газовой среды, а также сигнализировать о наличии следов микропримесей в концентрациях порядка нескольких частиц на миллион. Для долговременных космических полетов система измерения и регулирования должна быть более совершенной, чем для кратковременных полетов. Это относится, во-первых, к регулированию содержания кислорода и газов-разбавителей, например, азота, и, во-вторых, к постоянному контролю концентраций различных газов, загрязняющих атмосферу. От системы, используемой в долговременных полетах, требуется способность регулировать концентрации не только основных газов атмосферы, но и газов, которые присутствуют в очень малых количествах. Система должна обеспечивать своевременное предупреждение для принятия необходимых мер противодействия подъему следовых (малых) концентраций загрязнителей до токсических уровней. Для выявления тенденций в изменениях концентраций следовых загрязнений система должна обладать достаточно высокими чувствительностью и стабильностью. Наиболее подходящими для данных целей могут быть методы, основанные на газовой хроматографии, масс-спектрометрии, инфракрасном анализе.

4.1 ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.

Проектирование и конструирование космических кораблей с точки зрения поддержания жизненных условий вынужденно ограничивается удовлетворением минимальных биологических потребностей человека.

Нормальная жизнедеятельность и работоспособность человека в условиях космического полета обеспечивается благодаря использованию герметических кабин регенерационного типа, в которых до полета или во время полета устанавливается, а затем на протяжении всего полета поддерживается искусственная газовая атмосфера (ИГА). Нахождение во время космических полетов людей, а также животных и растений в среде с ИГА является непременным условием, т.к. ИГА защищает в полете живые организмы от неблагоприятного влияния космического пространства. Одновременно ИГА является источником кислорода, необходимого для дыхания.

Использование ИГА в кабинах космических кораблей ставит перед специалистами – биологами, физиологами, врачами и инженерами – вопрос о том, какой должна быть ИГА Каким физиолого-гигиеническим и техническим требованиям она должна прежде всего удовлетворять? Речь идет о рациональном выборе основных параметров ИГА, таких, как величина общего барометрического давления, ее химический состав: выбор газов-разбавителей, допустимый диапазон колебаний в ней парциального давления кислорода (PO_2), углекислого газа (PCO_2), температуры и других параметров.

за это время углекислоты зависит в основном от уровня энерготрат и в меньшей мере от состава суточного рациона. Основное потребление кислорода увеличивается по нелинейному закону с увеличением веса тела, но главной переменной, определяющей уровень энерготрат, является мышечная деятельность, которая оказывает наибольшее влияние на потребление кислорода. По приблизительным расчетам известно, что на каждый литр потребленного кислорода высвобождается 5 ккал энергии. Суточное потребление кислорода человеком небольшого роста варьирует от 300 л (1500 ккал) в покое до 1000 л (5000 ккал) при тяжелой физической работе.

Вследствие различного уровня физическое активности в пределах умеренной работы весовое потребление кислорода для человека весом в 70 кг может изменяться в пределах от 0,5 до 1,0 кг в сутки. В стандартных условиях газовой среды в кабине космического корабля потребление кислорода космонавтами составляет 7,3 - 7,5 л на 1 кг веса. Однако, учитывая серьезные последствия даже кратковременного воздействия гипоксии, основные расчеты систем обеспечения жизнедеятельности целесообразно проводить исходя из стандартного потребления кислорода 1 кг на человека в сутки.

Исходя из нормального значения дыхательного коэффициента *RQ*, можно вычислить количество углекислоты, выделяемой при поглощении кислорода. Так, если величина потребленного кислорода составляет 1000 л в сутки при дыхательном коэффициенте *RQ* = 0,83, то выделится 830 л углекислоты.

Искусственная атмосфера, создаваемая в гермообъектах сравнительно малого объема, находится в ярко выраженной зависимости от экипажа и находящегося в них оборудования. В соответствии с длительностью полета выбирается малый или большой объем информации, характеризующий состав искусственной атмосферы по основным показателям (0$_2$, CO$_2$, влажность) или с учетом микропримесей. В период кратковременных полетов достаточным является определение содержания 0$_2$, CO$_2$ и влажности. При осуществлении длительных космических полетов появляется прямая необходимость дополнительного определения типа и количества микропримесей, в основном токсичных, выделяемых человеком и оборудованием.

Контроль за составом микропримесей необходим для поддержания комфортных условий обитаемости, а также для оценки функциональной деятельности экипажа и работоспособности систем, обеспечивающих регенерацию и кондиционирование искусственной атмосферы, и аппаратуры, расположенной внутри жилого отсека корабля.

В случаях медленного, периодического роста микропримесей или быстрого нарастания их целесообразно одновременно с системой контроля непрерывного или периодического действия иметь систему аварийной сигнализации, предупреждающей экипаж и позволяющей ему принять меры по устранению неисправностей или поддержанию уровня содержания примесей не свыше предельно допустимого. В условиях замкнутого объема и с учетом воздействия факторов космического полета проблема является

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие посвящено рассмотрению вопросов проведения медико-биологических исследований в космических условиях с целью выявления жизнеспособности организмов и человека в различных условиях, контроля, проведения экспериментов на борту космического аппарата с целью изучения параметров космического пространства, условий окружающей внешней и внутренней среды космического аппарата.

Приведены сравнительные характеристики влияния различных факторов на живые организмы, в том числе и на человека, реакции человека и животных на воздействие различных факторов космического среды, методы и способы измерения физиологической, биологической информации и параметров космического среды, а также устройства их реализующие; представлены структурные и принципиальные схемы некоторых из них.

В пособии отражается влияние различных факторов космического полета на состояние человека и животных, биологические эффекты, описываются космические исследования и эксперименты. Кроме того дан обширный обзор, посвященный особенностям проведения биомедицинских измерений и различным методам определения физиологических, биологических, а также параметров космической среды и описано комбинированное действие факторов космического полета.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из существенных особенностей космической биологии и медицины состоит в том, что для накопления необходимой научной информации, для обеспечения медицинского контроля в полете и решения диагностических и прогностических задач она вынуждена использовать дистанционные методы измерения. В космонавтике физиологам впервые пришлось столкнуться с необходимостью строгого согласования объема передаваемой информации с пропускной способностью телеметрических каналов, с построением измерительно-информационных систем и программированием их работы. Важнейшее значение приобрели выбор методов исследования, адекватным целям медицинского контроля в космосе, соответствующая модификация выбранных методических приемов и задачи извлечения максимальной информации и состоянии физиологических систем организма из данных, полученных в космических экспериментах.

Впервые передача биомедицинской информации с борта космического корабля на Землю была осуществлена во время полета собаки Лайки на втором советском искусственном спутнике Земли. В последующем на орбитальных физиологических лабораториях – втором и третьем советских космических кораблях-спутниках был апробирован широкий спектр различных физиологических методик для исследования и контроля за состоянием организма в условиях космического полета. На этой основе была разработана система дистанционного медицинского контроля за первым космонавтом Ю. Гагариным.

В программе «Меркурий» закладывалась основа для последующих детальных биоизмерений в пилотируемых орбитальных полетах.

Развитие космонавтики ставило перед врачами и биологами все новые, более сложные задачи. Ни в какой другой области знаний не существует такой динамичности целей, средств и результатов и такой тесной связи между потребностями и развитием научных исследований, как в науках, связанных с изучением и освоением космического пространства. При этом важнейшая роль здесь принадлежит методам исследования, и, в частности, методам получения информации о реакциях живого организма на действие комплекса факторов космического полета. Увеличение продолжительности и дальности полетов обусловливает необходимость прогнозирования состояния здоровья космонавтов, развитие новых подходов к контролю за деятельностью членов экипажей, исходя из представлений о космическом корабле как о полностью автономной системе. Поэтому актуальное значение приобретает автоматизация физиологических и медицинских измерений.

НЕВЕСОМОСТЬ

1.1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Развитие космонавтики выдвигает перед физиологией и медициной ряд новых научно-практических задач, связанных, в частности, с тем, что жизнь и деятельность космонавтов во время полета протекает в специфических условиях невесомости.

Кинетические и динамические условия, которые формируются под влиянием гравитационных, инерционных и внешних сил, придают телам вес, воспроизводят состояние субгравитации (или пониженного веса), а также невесомости, хорошо известны. Вес тела зависит от данной массы, которая подвергается действию данной силы, и от динамических условий, в которых находится тело. Было найдено, что по величине, кратной стандартному ускорению земной силы тяжести (g_0), удобно выражать ускорения, действующие на тело, а по величине, кратной стандартному весу, – силу, действующую на тело. Таким образом практическая система единиц выглядит следующим образом: единица ускорения равна 1g, а единица силы 1 G. Вес в этом смысле означает, что данная масса подвергается действию данной силы тяжести.

Так как реальная сила, действующая на тело и обусловленная ускорением, эквивалентна весу тела, символ G можно использовать в космической биологии и медицине для обозначения как силы, так и веса. Единица ускорения (до) в данной системе является всегда постоянной величиной, т.е. 9,81 м/с^2, в то время как единица силы различна для тел с разной массой.

Во всех случаях свободного движения тела сила инерции уравновешивает гравитационную силу в любой точке траектории. При этом возникает так называемое «свободное от гравитации» состояние. Однако это определение для данных условий является недостаточно точным, так как тело постоянно подвергается действию силы притяжения Земли или других небес-

абсолютно достоверных данных необходим учет очень многих дополнительных факторов, их исключения при проведении экспериментов

ТАБЛИЦА 4. – ВЛИЯНИЕ ГИПОГЕОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВОТНЫХ.

Вид животного	Напряженность МП, нТл (срок воздействия)	Тесты	Результаты
Мыши	100 (4-12 мес)	Развитие, воспроизводство, тератогенные эффекты, поведение животных, морфологические изменения в органах, кровь, увеличение количества опухолей	+
Мыши	50 (4-12 мес)	Развитие, воспроизводство, тератогенные эффекты, поведение животных, морфологические изменения, кровь, увеличение количества опухолей	–
Мыши	100 (до 3 мес)	Развитие, кровь, (ферментные элементы, электролиты) поведение животных, митотическая активность эпителия роговицы, суточные ритмы	–
Крысы	50-100 (8-3 сут)	Морфологические и гистохимические исследования в печени, селезенке, коре надпочечников (содержание гликогена, липидов, СДГ)	+
Кролики	80 (18 ч)	Фагоцитарная активность лейкоцитов, активность щелочной и кислой фосфатаз и трансаминаз в микрофагах	+
Кролики	50-150	Постнатальная смертность и дисперсия веса крольчат, родившихся от матерей, находившихся в ГГМП в период беременности. Отложения жира в почках, сердце (явления дистрофии миокарда) и брюшной полости. Морфологические и гистохимические изменении в легких, селезенке и желудке у крольчат в постнатальном периоде	+
Крысы	290	Поведение, обучение, физическая выносливость, состояние сердечно-сосудистой системы	+
Примечание. + - наличие эффекта, – - эффект отсутствует.			

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Пригодная для дыхания атмосфера, подходящая температура и обеспечение достаточным количеством пищевых веществ и воды — вот минимальные условия, без которых немыслимы жизнь и работа человека в космическом полете. Системы жизнеобеспечения кораблей, отвечающие этим требованиям, должны снабжать кислородом, водой и питательными веществами, удалять углекислоту и другие шлаковые продукты и выделения человека, а также поддерживать температуру в среде обитания с регулированием нагрева и охлаждения.

Общее количество потребляемого в сутки кислорода и выделяемой

3.2 ГИПО(ГЕО)МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Электрические и магнитные квазистатические поля Земли, атмосферное электричество и грозовые разряды, радиоизлучение Солнца и галактики создали такие величины напряженности, к которым человек в процессе эволюции хорошо адаптировался. Поэтому уменьшение силы воздействия этих факторов (по аналогии с микрогравитацией) может сказаться определенным образом на жизнедеятельность космонавтов в полете. Определение напряженности магнитного поля, проведенные на космических аппаратах, показали, что на расстоянии от 8 до 40 земных радиусов индукция МП в периоды, свободные от солнечных вспышек, колеблется от 1 до 30 нТл, а в магнито-возмущенные периоды увеличивается всего на 12-15 нТл.

Слабые МП изучались в опытах на животных и человеке, культуре тканей и растениях. Полученные результаты в целом неоднозначны. Наибольшее количество работ, показавших влияние гипомагнитных полей, представлено советскими учеными в 1970-1980 гг. В этот период число американских и западноевропейских исследователей значительно уменьшилось.

Первые эксперименты на животных по изучению влияния ослабленных геомагнитных полей были проведены еще Чижевским.

Позднее (в 70-х годах) более подробно биологические эффекты ослабленных МП Земли изучались американскими и советскими исследователями (таблица 4). Данные этих исследований противоречивы. Первые наблюдения дали ошеломляющие результаты: был обнаружен канцерогенный эффект. Однако последующие исследования не подтвердили этого наблюдения.

Бейшер у астронавтов, помещенных в такие условия (50 + 30 нТл) перед полетом на Луну, отмечал снижение критической частоты слияния цветовых мельканий. Такие показатели, как масса и температура тела, частота дыхания, кровь ЭЭГ, ЭКГ и психологические показатели не менялись. Копанев и Шакула, хотя и показали в своих исследованиях многочисленные изменения в органах у кроликов, развивашихся in vitro в гипогеомагнитных условиях, считают, что эти нарушения имеют, по-видимому, обратимый характер.

Несомненный интерес должны представлять эпидемиологические наблюдения над лицами, находящимися в реальных условиях экранирования от геомагнитных полей. Нахождение в бетонном бункере (снижение МП Земли в 100 раз) приводило к увеличению периодов циркадных ритмов и изменению времени реакции, хотя в этих случаях трудно выделить и другие факторы обитания (изоляция, газовый состав, психологическая совместимость и т.д.) подобных сооружений. Однако эти исследования чрезвычайно полезны для понимания проблемы ослабленных геомагнитных полей Земли для космических полетов.

Таким образом, немногочисленные экспериментальные исследования и эпидемиологические наблюдения не дают твердой уверенности, что феномен гипо(гео)магнитных полей действительно существует. Для получения

ных тел. Поэтому такое состояние описывается как «невесомое» или как условия «нулевого G», поскольку результирующая сил, действующих на тело и обусловленных гравитацией и инерцией, действительно равна нулю.

С другой стороны, термин «невесомость» широко используется для описания субъективных впечатлений человека для случаев, когда он не ощущает своего веса или находится в условиях нулевого G. Другие состояния, сопровождающиеся уменьшением ощущения весомости, такие, как водная иммерсия, взвешенное состояние или условия, связанные с уменьшением трения, более или менее точно имитируют невесомость и будут рассмотрены ниже. Эффекты таких воздействий основаны на взаимосвязи «гипокинезии», т.е. ограничения пространственных характеристик движения, и «гиподинамии», т.е. снижения его силового компонента. Но данные состояния по самому определению не идентичны состоянию невесомости. При нулевом G тело полностью лишено опоры, невесомо и свободно плавает в пространстве.

Биологические эффекты нулевого G, исходя из физической характеристики этого состояния, должны быть одинаковыми, независимо от того, возникает ли оно внутри или за пределами гравитационного поля Земли. Однако существует предположение, что неоднородность силовых полей может способствовать возникновению межмолекулярных сил в организме; последнее в зависимости от расстояния до небесных тел может приводить к различным последствиям. Поскольку исследование данной проблемы может представлять научный интерес применительно к различным уровням биологических взаимосвязей, изучение медицинских аспектов невесомости имеет первостепенное значение для будущих космических полетов, а также лунных и планетарных экспедиций.

1.2 ЗНАЧЕНИЕ СИЛ ГРАВИТАЦИИ В РЕГУЛЯЦИИ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ ОРГАНИЗМА

Общепринято мнение, что жизнь возникла в условиях фактически постоянного действия земной силы тяжести. Организмы всех позвоночных, включая человека, состоят преимущественно из мягких тканей, жидкостей и скелета. Поскольку влияние гравитационных сил на эти структуры различно, достижение физиологического гомеостаза обеспечивалось в ходе эволюции установлением определенных соотношений между основными компонентами тела. Постоянство внутренней среды организма в значительной мере зависит от способности опорных структур противостоять действию гравитационных сил.

Влияние силы тяжести проявляется и в особенностях распределения жидкой среды у наземных организмов, что связано с наличием гидростатического давления жидкости, или, другими словами, с ее весом. Изменения в распределении крови, возникающие под влиянием гравитационных сил и ускорений, влияют не только на кровообращение, но и на функцию легких, Известно, например, что ввиду значительной разницы в удельном весе крови и воздуха, находящихся с противоположных сторон тонкой и нежной альвеолярной мембраны, легкие раньше других органов повреждаются при

действии перегрузок.

Приспособление к гидростатическим перераспределениям крови у наземных животных обеспечивается участием нервных и гормональных механизмов регуляции. Для человека, имеющего вертикальную ориентацию относительно поверхности Земли, значение этих приспособительных механизмов особенно велико. От действия силы тяжести зависит и регуляция внутренней среды организма, а также его рост, формообразование, энергетика, ориентация, поведение. Частными примерами такой зависимости могут служить явления геотропизма у растений. Допускается также возможность первичного влияния гравитации на клеточные и субклеточные структуры, в частности на распределение ядер и митохондрий в клетках.

Механические эффекты воздействия силы тяжести на опорные структуры и распределение жидкости стимулируют в живом организме комплекс ответных реакций, обеспечивающих его «уравновешивание» с внешней средой. Специфичная для биологических объектов способность активно приспосабливаться к внешним условиям и отражать их в особенностях своего строения и функции обеспечивается участием разнообразных рецепторных образований и координирующей деятельностью центральной нервной системы.

Функции центральной нервной системы с учетом нервно-мышечных и сенсорных реакций на умеренные изменения гравитации в высшей степени пластичны и адаптивны. Нервно-мышечные реакции обычно зависят от положения тела относительно направления силы тяжести. Животные и человек приспособлены к тому, чтобы удерживать и сохранять положение и ориентацию тела с помощью проприоцептивной, зрительной, вестибулярной и статокинетической информации. Интерпретация подобных сигналов и ответные реакции на них состоят в развитии соответствующей сенсомоторной программы, которая зависит от гравитации. Проприоцептивная система включает, в частности, механорецепторы, заложенные в различных участках тела, которые в норме настроены и откалиброваны на земные соотношения между массой и весом, а также вестибулярный аппарат, который очень чувствителен к ускорению и гравитации. Нервные сигналы, вырабатываемые в результате стимуляции этого органа, суммируются в центральной нервной системе с сигналами, вырабатываемыми проприорецепторами, и таким образом сообщают человеку информацию о положении его конечностей, шеи и туловища в пространстве. Суммируются также сигналы, поступающие от органа зрения, и сигналы, вырабатываемые тактильными рецепторами кожи. Ушной лабиринт, глаза и систему проприорецепторов часто называют «триадой ориентации».

Гравитация играет важную роль в регуляции сенсомоторной активности и в некоторых случаях преобразует или блокирует афферентацию с других органов чувств, в том числе и зрительную. Однако при выключении вестибулярной информации устойчивость зрительной афферентации может укрепиться и стать независимой от гравитационного фона. Этот процесс, как оказалось, совершенствуется опытом, обучением и управляется сознанием.

120-150 В/м). При грозах ЭП может достигать 10 кВ/м (на частотах 10 кГц) и на расстоянии 10 км от разряда превышать 3 кВ/м. Изучение биологических и физико-технических аспектов ЭМП грозовых разрядов представляет несомненный интерес для оценки технологий, создающих ультракороткие низкочастотные ЭМ-импульсы.

МП на борту космического корабля, создаваемое внешним магнитным полем Земли, характеризуются тремя основными периодами осцилляций: периодом, равным обращению космического корабля, половиной периода обращения и половиной периода осцилляций. При движении космического корабля наблюдается более сложная картина МП на борту. Так, на высоте 280 км за 1/4 периода обращения, средняя скорость изменения магнитной напряженности составляет 1,5-22 нТл/с. Таким образом, временные вариации интенсивности поля на борту, вызываемые перемещением корабля в околоземном пространстве, существенно превышают вариаций естественного МП Земли.

Гелиофизические факторы, оказывающие влияние на организм, включают три группы: галактические и планетарные процессы, процессы, происходящие на Солнце, и собственно геофизические факторы, связанные с процессами, происходящими в атмосфере, гидросфере и литосфере.

Отметим, что спектр ЭМИ Солнца простирается от радиоволнового диапазона до рентгеновской области, что МП Земли значительно выше, чем у других планет, геомагнитная активность имеет периодический (27-дневные и 11 летние вариации) и спорадический характер. К этому следует добавить уровни МП (по отношению к МП Земли) для различных планет: Лупа - 10^{-6}, Венера - 10^{-4}, Марс- $2 \cdot 10^{-4}$. У Юпитера обнаружены сильные источники радиоизлучений дециметрового и декаметрового диапазонов. Анализ декаметрового излучения приводит к оценке магнитного момента Юпитера, в 10000 раз превосходящего магнитный момент Земли. На этой планете, вероятно, существуют самые сильные в солнечной системе радиационные пояса и магнитосфера.

Исследования по действию геомагнитного и условно "нулевого" МП наиболее интенсивно велись в 70-80 гг. в СССР. Интерес к этой проблеме у западноевропейских и американских ученых был более умеренным.

Трудность анализа влияния факторов среды (особенно МП Земли) на физиологические параметры заключается не только в их значительной сложности и "зашумленности" от множества других воздействий, включая генетические и социальные, но и в том, что в каждом отдельном случае влияет не только абсолютное значение фактора внешней среды, но и градиент его изменений за ближайший отрезок времени. Поэтому методы анализа влияния гелиофизических факторов имеют определенную специфику. В частности, используются методы наложенных эпох, прямого сопоставления, наименьших квадратов, корреляционный и регрессионный анализы, метод решения корреляционных уравнений способом Чебышева. Для сопоставления банков данных по геофизическим показателям и физиологическим параметрам предложена соответствующая программа.

мо также иметь в виду, что ЭМП могут модифицировать реакцию организма на действие других факторов полета, таких как невесомость, гипокинезия, ионизирующее излучение и др., а эти факторы, в свою очередь могут изменить чувствительность организма к ЭМП.

Следовательно, для надежной оценки и прогнозирования состояния человека и его работоспособности, особенно в межпланетных полетах, целесообразно проанализировать данные о биологических эффектах электрических, магнитных, электромагнитных полей и ультрафиолетового излучения.

Развитие новых источников энергии, средств ее накопления и передача на дальние расстояния, сверхдальняя связь, а также связанные с этим проблемы безопасности труда и экологии побудили исследователей провести экспериментальные и эпидемиологические наблюдения по сверхнизким частотам ЭМП и геомагнитным полям. С увеличением числа видеодисплейных терминалов возникли вопросы и по электромагнитной безопасности труда операторов. Особый интерес представляют данные по безопасности космонавта при ультрафиолетовом излучении Солнца.

На сегодняшний день не все ясно в проблеме магнитобиологии слабых ЭМП. Много противоположных, порой исключающих точек зрения на механизмы слабых взаимодействий естественных МП с биологическими тканями. По нашему мнению, многие биологические феномены слабых ЭМП (особенно у человека) пока не могут быть корректно объяснены физическими и химическими законами. В главе приведены разные точки зрения на эту проблему.

Интерес к ЭМП биологических объектов возник не только в связи с возможностью получения дополнительной информации о жизнедеятельности операторов и систем, но и с проблемой информационного взаимодействия живых организмов, в том числе и человека.

Реакции человека на воздействие ультрафиолета многообразны и не однозначны. Применительно к условиям космического полета возникают задачи защиты от негативных последствий его воздействия и использования его положительных эффектов для улучшения состояния здоровья и повышения работоспособности космонавтов.

3.1 ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И ОКЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Электрические и магнитные квазистатические поля Земли, атмосферное электричество и грозовые разряды, радиоизлучение Солнца и галактики применительно к Земле могут быть объединены общим понятием геоэлектромагнитные поля (или геомагнитные поля), а применительно к другим планетам как планетарные ЭМП. Они являются факторами, представляющими экологический и космологический интерес. ЭМП Земли, создаваемые солнечной активностью, колеблются от 10^{-2} до 10^{8} мкВ м$^{-1}$ Гц$^{-1}$.

Среднее значение напряженности (ЭП у поверхности Земли составляет

Так как человек приспосабливается к более широкому спектру ощущений по мере приобретения опыта, реальное воздействие изменяющихся гравитационных условий служит полезным методом подготовки космонавтов.

Сила тяжести является фактором, заметно влияющим на регуляцию внутренней среды организма, поэтому имеются достаточные основания считать, что воздействие невесомости приведет к целому ряду функциональных и морфологических перестроек организма. В наиболее общей форме эти последствия сводятся к возникновению феноменов «неупотребления» или «атрофии от бездействия». Отсутствие гравитационных является причиной возникновения таких изменений саморегуляции, которые направлены на установление адекватных взаимодействий с изменившейся внешней средой. С точки зрения возникающих перестроек данный процесс можно рассматривать как проявление адаптационного процесса. Однако такого рода адаптация сопровождается снижением функциональных возможностей организма и его устойчивости к гравитационным и другим внешним воздействиям. Гипотетический облик человека не только адаптировавшегося, но и гомеостатически приспособленного к невесомости должен отличаться фундаментальной перестройкой опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой, эндокринной и центральной нервной систем. Такая перестройка возможна лишь на основе соответствующих генетических изменений.

1.3 ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ НЕВЕСОМОСТИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Первые экспериментальные исследования влияния невесомости на организм млекопитающих были проведены при запусках ракет одновременно в США и СССР после Второй мировой войны. Ученые обеих стран наблюдали за состоянием различных физиологических функций и поведенческих реакций у мелких животных, в частности, исследовали частоту сердечных сокращений и дыхания, кровяное давление, температуру тела, сенсорные реакции и характер движений, а также рефлекторные реакции и поведение, обусловленные участием ЦНС, и другие функции при изменяющихся ускорениях и кратковременных периодах состояния нулевого G. Данные, полученные в результате опытов, показали, что стресс, связанный с полетом на ракете, включая периоды невесомости, не превышал пределов биологической устойчивости организма млекопитающих.

Суборбитальные и орбитальные полеты космонавтов открыли новую главу в космической биологии и медицине. По мере последовательного увеличения продолжительности полетов от нескольких минут до нескольких недель были проведены обширные медико-биологические исследования как в космосе, так и на Земле.

Они включали предполетные и послеполетные функциональные пробы и обследования космонавтов, медицинские наблюдения в полете, телеметрическую регистрацию физиологических и психологических функций и оценку параметров внешней среды в космическом корабле. Космонавты, среди которых были и врачи, принимали участие в этих исследованиях в

качестве как испытуемых, так и экспериментаторов.

Первостепенный интерес представляло изучение показателей, характеризующих здоровье и работоспособность космонавтов при длительном воздействии невесомости. В том числе исследовались: состояние жизненно важных функций, заболеваемость, устойчивость к нагрузочным воздействиям в полете и после его завершения; простые и сложные двигательные реакции, координация движений, возможности выполнения рабочих операций, в том числе в критических ситуациях, способность проводить научные наблюдения и оценивать их результаты в полете; приспособленность космических кораблей для жизни, работы и отдыха космонавтов в состоянии невесомости.

Сведения, полученные в ходе этих исследований, использовались для совершенствования отбора, подготовки космонавтов, улучшения конструкции космических летательных аппаратов, а также для разработки средств профилактики неблагоприятного влияния длительной невесомости на организм человека.

Наряду с накоплением экспериментальных данных, имеющих прямое отношение к обеспечению космических полетов человека, было исследовано большое количество научных проблем и более общего характера. Они включали в себя: теории, касающиеся биодинамических и биогравитационных реакций (т.е. реакций, обусловленных ускорениями и гравитацией), и систематические исследования биологических проблем, связанных с космическим полетом; исследование процессов и механизмов детренированности, адаптации, гомеостаза, а также биологических ритмов в невесомости; изучение специфических реакций со стороны органов чувств и взаимодействия анализаторов; определение состояния гормональных, иммунологических, регенераторных функций и системы крови в невесомости; использование методов математического моделирования и статистической оценки данных в интересах медицинских и психологических проблем, связанных с пониженной весомостью и невесомостью.

Большинство медико-биологических проблем, возникших на ранних этапах космических полетов, было решено благодаря тщательному отбору и практическому использованию результатов теоретических и экспериментальных исследований. Обильная информация, уже полученная в этой области, приложима не только к проблеме пребывания человека в космосе, но и к повседневным нуждам человечества.

1.4 СОСТОЯНИЕ ПОНИЖЕННОЙ ВЕСОМОСТИ (СУБГРАВИТАЦИЯ)

Передвижение и работа на поверхности Луны и других планет вытекают из таких конкретных проявлений законов механики, которые значительно отличаются от соответствующих проявлений на Земле. Поскольку величина земной гравитации (g_0) – постоянная величина, принятая за 1, ускорение, меньшее чем g_0, проявляется пониженной весомостью и составляет на Луне 1/6 этой величины. С целью подготовки космонавтов к деятельности в такой среде были проведены многочисленные теоретические

равномерному облучению.

Данные для электронов и Υ - квантов в диапазоне высоких и сверхвысоких энергий представлены в таблице 3, основанной на результатах вычисления пространственного распределения дозы в случае нормального падения широкого пучка электронов на полубесконечный слой воды. Значение эквивалентной дозы, приведенные выше, усреднены по диапазону глубины, равному 7,5см.

НЕИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Электрические поля (ЭП), магнитные поля (МП) и электромагнитные поля (ЭМП) как физические факторы профессиональной деятельности и окружающей среды в настоящее время являются самостоятельной гигиенической проблемой, значимость которой в системе "оператор-машина" непрерывно повышается.

ЭМП - неотъемлемая суть мироздания. Вайнштейн считает, что если бы в настоящее время был обнаружен в астрофизике объект, лишенный магнитных полей, то это вызвало бы сенсацию. Астрофизики, помимо слабых МП, по интенсивности в миллионы раз меньше земных, находят сильные и сверхсильные МП. Так, на белых карликах ожидаются поля порядка 10 кТл, а на нейтронных звездах - до 1000 МТл.

Безусловно, феномены, обнаруженные в условиях действия сверхсильных МП, найдут в перспективе применение в космических технологиях. В настоящее время трудно даже предположить сферу применения неионизирующих излучений. Достаточно, например, напомнить читателю о разрабатываемом проекте "Форекаст-2" по совершенствованию авиакосмической техники, спутниковых преобразователях солнечной энергии, спутниковых системах связи и слежения (работающих на мега- и гигагерцевых частотах: 200 МГц-14 ГГц).

По современным представлениям, электромагнитная обстановка на борту космического летательного аппарата, включая внекорабельную деятельность космонавта, определяется вкладом электрических, магнитных и электромагнитных полей от бортовых источников сверхнизкочастотными вариациями электромагнитного поля, обусловленными движениями космического летательного аппарата в геомагнитном поле на околоземных орбитах. При полетах в дальнем космосе, к планетам солнечной системы космонавт будет также вынужден находиться длительное время в гипомагнитной среде и в среде ультрафиолетового излучения Солнца.

Таким образом, человек, особенно в будущих космических полетах, может подвергаться воздействию ЭМ, МП и ЭМИ весьма разнообразного диапазона, напряженностей и градиентов. На ближайшее будущее маловероятно, что эти виды энергии окажутся опасными для экипажей в космическом полете в обычных условиях его протекания. В то же время следует учитывать ряд особенностей, в частности, таких как длительность и непрерывность воздействия с изменяющимися во времени характеристиками, формируемыми в условиях замкнутого металлического объема. Необходи-

Вид излучения и диапазон энергий	КК
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией < 10 КэВ	5
Нейтроны от 10 до 100 КэВ	10
Нейтроны от 100 КэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны > 20 МэВ	5
Протоны с энергий > 2 МэВ (кроме протонов отдачи)	5
α-частицы, осколки деления и другие тяжелые ядра	20

ТАБЛИЦА 3 – МОЩНОСТЬ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ НА РАЗЛИЧНОЙ ГЛУБИНЕ В ВОДЕ ДЛЯ НОРМАЛЬНО ПАДАЮЩЕГО МОНОНАПРАВЛЕННОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ И ϒ-КВАНТОВ НА ЕДИНИЦУ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА, МБЭР/Ч.

Энергия падающих частиц, Мэв	диапазон глубины, см			
	0 - 7,5	7,5 - 15	15,0 - 22,5	22,5 - 30,0
электроны				
100	0,16	0,16	0,14	0,1
200	0,16	0,18	0,19	0,18
500	0,18	0,20	0,22	0,25
1000	0,18	0,21	0,25	0,32
5200	0,20	0,25	0,30	0,42
10000	0,21	0,27	0,37	0,44
20000	0,22	0,28	0,43	0,53
ϒ-кванты				
10	0,007	0,009	0.007	0,007
20	0,010	0.015	0.012	0,013
50	0,013	0,030	0,032	0,028
100	0,016	0,042	0,051	0,065
200	0,019	0,049	0,077	0,095
500	0,021	0,062	0,092	0,14
1000	0,023	0,063	0,12	0,16
5200	0,026	0,081	0,14	0,22
10000	0,029	0,088	0,16	0,24
20000	0,030	0,10	0,15	0,26

В случае протонов решающее значение имеет соотношение длины пробега и толщины фантома в направлении прохождении пучка. Когда пробег полностью укладывается в пределах фантома, наблюдается возрастание эквивалентной дозы вблизи его конца, обусловленное как возрастанием ионизационных потерь энергии (ЛПЭ), так и соответствующим увеличением коэффициента качества. С увеличением энергии в пределах фантома укладывается лишь часть пробега протонов, а так же возрастает роль потерь энергии на неупругие ядерные взаимодействия по сравнению с ионизационными потерями. В области энергий, где основную роль играют ядерные взаимодействия, пространственные распределения эквивалентной дозы протонов и нейтронов в ткани близки между собой. В этой области энергий зависимость эквивалентной дозы от глубины залегания органа в теле человека выражена слабо, и можно считать. Что все тело подвергается

исследования и модельные эксперименты. В качестве критических параметров для условий лунной гравитации изучались: потребление кислорода и баланс углекислоты, питание и водный обмен, работоспособность, движения конечностями и перемещения, мышечная и сенсомоторная деятельность. Задачи, не требующие передвижения, выполнялись с созданием давления в космическом скафандре и без давления. В модельных экспериментах, в которых испытуемый имел устойчивую опору только для одной руки, выполнение задачи требовало на 20% кислорода больше, чем в наземных условиях. Подача давления в скафандр значительно ухудшала показатели различных видов деятельности человека (таблица 1). Энергетика локомоций при 1/6 G представляет многофакторную проблему, все еще находящуюся в стадии исследований. Такие показатели, как походка, сила сцепления с опорой и скорость движения конечностей, в наземных экспериментах были имитированы с удовлетворительной приближенностью.

ТАБЛИЦА 1 – ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ В СКАФАНДРЕ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННОЙ ВЕСОМОСТИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ЧЕЛОВЕКА.

а) Энергетическая стоимость локомоций в скафандре без давления, ккал/час

Скорость движения по наклонной плоскости под углом 10°, км/час	1/6 G	1G
3.2	142	205
6.4	187	430
9.4	329	709

б) Влияние пониженной весомости на локомоций человека

Гравитация, G	Избыт. давл. в скафандре, мм.рт.ст.	Макс. скорость движ, м/сек	Макс. вел. прыжка в высоту, см	Прыжок в длину,см
1	0	3,44	52,0	164,0
1	180	2,8	30,5	100,0
1/6	0	1,64	234,0	366,0
1/6	180	1,22	140,0	214,0

Исследования, показали, что в результате снижения силы сцепления ходьба и бег замедляются у человека приблизительно на 40% по сравнению с наземными условиями. С увеличением скорости движения наклон туловища вперед увеличивается сильнее в условиях лунного тяготения по сравнению с земным.

Первая оценка влияния реальной лунной гравитации на человека была получена в полетах кораблей «Аполлон». В полете «Аполлона-14» 2 члена экипажа (командир корабля и пилот лунного модуля) провели около 34 часов на Луне, включая 9 часов отдыха от интенсивной физической работы, в то время как пилот командного модуля оставался на орбите. Расход энергии составлял у них в среднем 220 – 300 ккал/час. Эта величина приблизительно соответствует ходьбе в наземных условиях со скоростью 5 км/час без использования какого-либо снаряжения или со скоростью 1 км/час в

скафандре. Сопоставление послеполетных данных медицинского обследования показало, что физическое состояние пилота командного модуля, который не подвергался действию 1/6 G, было хуже, чем у двух других членов экипажа. У него отмечалась значительная потеря веса, ортостатическая устойчивость снижалась в большей степени, работоспособность была ниже, потеря общего объема жидкости оказалась большей.

С другой стороны, результаты полета «Аполлона-15» оказались противоположными тому, что было обнаружено в полете «Аполлона-14». Два члена экипажа, которые работали на лунной поверхности, при послеполетных обследованиях имели более выраженное снижение работоспособности по сравнению с пилотом командного модуля. Возможно, значительное увеличение физической нагрузки у экипажа «Аполлон-15» на поверхности Луны нейтрализовало положительный эффект лунной гравитации. Это расхождение в результатах двух полетов кораблей «Аполлон» отчетливо показывает, что работоспособность человека при 1/6 G определяется влиянием нескольких параметров.

1.5 ИМИТАЦИЯ НЕВЕСОМОСТИ

Все мы в той или иной степени испытали когда-нибудь в своей жизни кратковременное состояние невесомости. Например, на аттракционах в парках, когда переваливали через вершину подъема, или во время спуска в скоростном лифте, когда наши ноги на какой-то миг отрывались от пола. В поле земного тяготения ощущение невесомости модно испытать только во время свободного падения или создав на очень короткий промежуток времени силу, противодействующую силе земного притяжения. Еще в 1935 году в Германии Дирингсхофен испытал в течение 8 с. состояние невесомости в самолете, пикирующем с большой высоты, когда двигатель использовался только для преодоления лобового сопротивления. В 1950 году Хейнц и Хабер авиационно-космической медицины ВВС США предложили другой вариант этого метода имитации невесомости. Самолет быстро пикирует, а затем выравнивается и летит вверх по параболе: на первой половине кривой он испытывает постоянное вертикальное торможение 1g, а на второй происходит его свободное падение. В соответствующим образом переоборудованном для таких экспериментов самолете в течение приблизительно 25 сек можно создавать условия невесомости с точностью около ±0,01g, зависящей от квалификации пилота и метеорологических условий. В Советском Союзе для этих целей используют самолет ТУ-104.

Такой способ имитации широко использовался для тренировок первых советских и американских космонавтов. Однако данные условия не полностью соответствуют условиям космоса вследствие кратковременности невесомости, а также из-за того, что после состояния невесомости космонавт испытывает действие ускорения от 1g до 3g.

С 1966 года космонавты начали тренироваться в специальных "бассейнах невесомости". Несмотря на сопротивление, которое возникает при движении тела в жидкости, методы нейтральной плавучести, создаваемой погружением в воду, позволяют ознакомить космонавта с динамикой чело-

Данные о потере энергии заряженных частиц в воде и о соотношении коэффициента качества КК и ЛПЭ $\mathbf{H_2O}$ можно использовать для вычисления коэффициентов качества в зависимости от энергии частицы. В таких вычислениях удобно применять интерполированные значения коэффициента качества, которые можно получить, располагая графической зависимостью КК от линейной передачи энергии в воде. Эта зависимость представлена ниже.

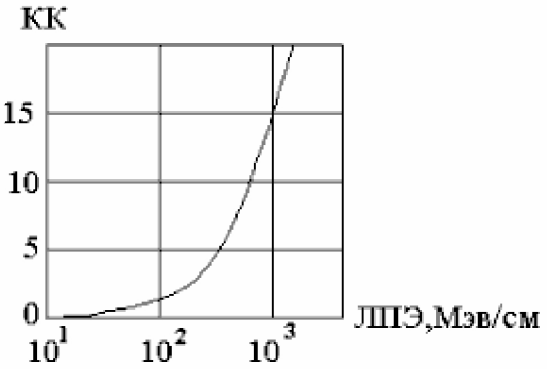


РИСУНОК 6 – ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА КАЧЕСТВА ОТ ЛИНЕЙНЫХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ВОДЕ.

В таблице 2 приведены некоторые вычисленные, с использованием данных приведенных на Рисунок, значения коэффициентов качества в зависимости от энергии для ряда элементарных частиц и некоторых легких ядер. Так для однозарядных частиц коэффициент качества не превышает 14,5 для ядер $^{3}_{2}\mathbf{He}$ и $^{4}_{2}\mathbf{He}$ коэффициенты качества достигают предельного значения равного 20. Для более тяжелых ядер область, где коэффициенты качества имеют предельные значения, включает так же диапазон высоких энергий.

Распределение эквивалентной дозы детально исследовано в применении к полубесконечному слою вещества толщиной 30 см, эквивалентному мягкой ткани, на переднюю поверхность которого падает широкий пучок моноэнергетических нейтронов, протонов, электронов и ϒ-квантов. Так например пространственное распределение дозы нейтронов охватывает диапазон энергий от низких (тепловых) до сверхвысоких, для остальных падающих частиц только для высоких и сверхвысоких энергий.

ТАБЛИЦА 2 – ВЕСОВЫЕ МНОЖИТЕЛИ ИЗЛУЧЕНИЯ

тей, костного вещества и т.п.) в результате столкновения с электронами и ядрами атомов среды падающая частица образует различные вторичные частицы малой энергии. Следовательно локальный радиобиологический эффект определяется совокупностью эффектов от ряда частиц, попадающих в данный объем ткани со всех направлений. По мере прохождения через вещество ткани первичные и вторичные частицы теряют свою энергию, при этом соответственно изменяется передача энергии на единицы пути (ЛПЭ). Поэтому коэффициенты качества, зависящие от ЛПЭ, изменяются вдоль пути частиц в веществе и различны для разных видов частиц.

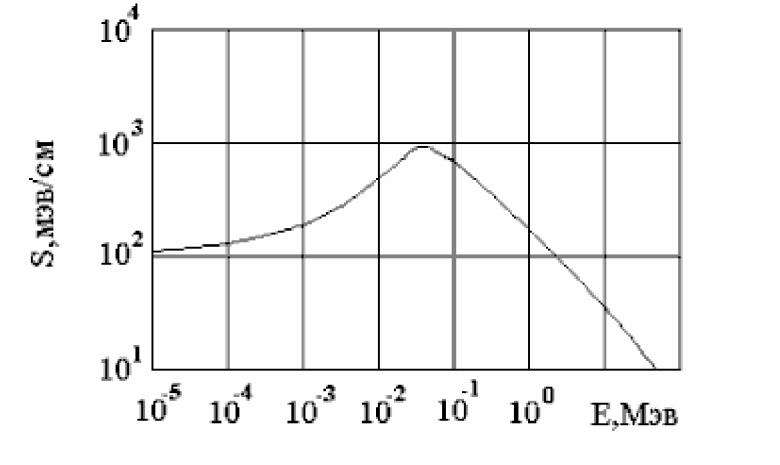


РИСУНОК 4 – ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ ДЛЯ ПРОТОНОВ.

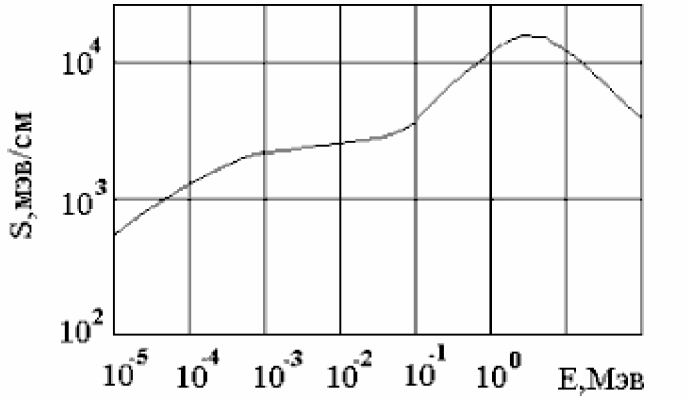


РИСУНОК 5 – ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ ДЛЯ ИОНОВ КИСЛОРОДА.

веческого тела, имеющего три степени свободы. По свидетельствам космонавтов, подводная имитация невесомости имеет значительные преимущества, по сравнению с имитацией невесомости в самолете, так как в условиях бассейна космонавт может последовательно осуществлять все операции, которые производятся при выполнении задания в космосе, и может проверить весь план полета или ту его часть, которая связана с выходом из космического корабля. При тренировках в «бассейнах невесомости» космонавт находится в том же скафандре и использует то же оборудование, с которым он будет работать в космосе. Эксперименты, проведенные в Научно-исследовательском центре ВМС США, показали, что если воду в бассейне заменить жидкостью на основе полидиметилсилоксана (кремнийорганическое соединение), то космонавты могут оставаться в состоянии невесомости в течение нескольких дней и даже недель.

1.6 ИМИТАЦИЯ СУБГРАВИТАЦИИ

На поверхности Лупы космонавт столкнется с трудностями передвижения в условиях гравитации 1/6 g. Для этих условий созданы сложные имитаторы. Один из них это наклонная дорожка – тредбан, на которой космонавт учится передвигаться в условиях пониженной гравитации.

Наклонный тредбан находится под некоторым углом к вертикали. Космонавт подвешен на стропах, которые спускаются с подъемного крана и снимают 5/6 его веса. Благодаря такому устройству давление на подошвы ботинок космонавта составляет лишь 1/6 того давления, которое он обычно ощущает. На этом тредбане космонавт может свободно ходить, бегать и прыгать, что в условиях гравитации 1/6 g гораздо труднее, чем это можно себе представить.

В заключение можно сказать, что космонавт на протяжении месяцев тренировок, предшествующих космическому полету, использует много имитаторов и тренажеров различных типов, с помощью которых он знакомится с условиями космического полета.

После окончания каждого полета достоинства и недостатки каждого устройства рассматривают в свете опыта, полученного космонавтами в полете. Одни, не оправдавшие себя, имитаторы и тренажеры идут, как говорится, на слом, другие совершенствуются, а вместе с ними совершенствуется и весь процесс разработки имитаторов и тренажеров космического полета для обучения космонавтов.

ИОНИЗИРУЮЩАЯ РАДИАЦИЯ

Ионизирующая космическая радиация является одной из множества опасностей, подстерегающих человека в космическом пространстве. В этом многообразии риска попытки ограничить воздействие неблагоприятных факторов полета на членов экипажей космических кораблей реализуются прежде всего в планировании полетного задания, что особенно важно в орбитальных и исследовательских пилотируемых полетах повышенной продолжительности. Угрозе последствий облучения экипажей космической радиацией придается серьезное значение в космических программах США

и России, и не случайно, в течение последних трех десятилетий для сложных пилотируемых полетов большой продолжительности были разработаны нормативнотехнические требования и стандарты по обеспечению радиационной безопасности космических экспедиций на основе оценки вероятности такого рода событий.

Поскольку космическое ионизирующее излучение представляет собой специфическую опасность для здоровья людей, космонавты и астронавты подвергались тщательным наблюдениям и медицинскому контролю как в научно-экспериментальном, так и административном аспектах обеспечения требуемой радиационной безопасности, начиная с самых первых орбитальных полетов. Первичными источниками ионизирующего космического излучения являются радиационные пояса Земли, галактические космические лучи (ГКЛ) и частицы, генерируемые солнечными вспышками, или солнечные космические лучи (СКЛ). Вторичная радиация, в основном нейтроны, генерируется тогда, когда первичная радиация взаимодействует с веществом космического корабля, тканями человека или компонентами верхних слоев атмосферы.

2.1 РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ЗЕМЛИ

Считают, что первичными источниками космического ионизирующего излучения являются: радиационные пояса Земли (РПЗ) галактические космические лучи или излучение (ГКИ) и солнечные космические лучи (СКЛ). Вторичное излучение (нейтроны) возникает при взаимодействии первичной радиации с материалами космического корабля и телом человека.

Радиационные пояса Земли были открыты в 1958 г. при проведении экспериментов на борту первого искусственного спутника США "Эксплорер-1" с помощью счетчиков Гейгера. Позднее их существование было подтверждено в исследованиях на борту космического аппарата "Эксплорер-Ш" и описано в 1960 г. Ван Алленом.

В радиационных поясах заряженные частицы вынуждены перемещаться вдоль |силовых линий магнитного поля под действием силы Лоренца, F

$F=dp/dt=qv\cdot B$

где q, v и p – соответственно заряд, вектор скорости и вектор момента частицы;

B-вектор плотности магнитного потока.

Дифференцирование производится по времени t. Движение захваченных частиц может быть представлено как: вращение вокруг силовой линии поля, перемещение в одной полярной области в другую и продольное перемещение вокруг Земли.

Поскольку энергия заряженной частицы не зависит от статического магнитного поля, ее магнитный момент, μ представляет собой адиабатический инвариант:

$$\mu = mv\sin(\frac{\alpha}{2B}),$$

где α – питч-угол частицы (т.е. угол между вектором ее скорости v и

РИСУНОК 2 – ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ α-ЧАСТИЦ.

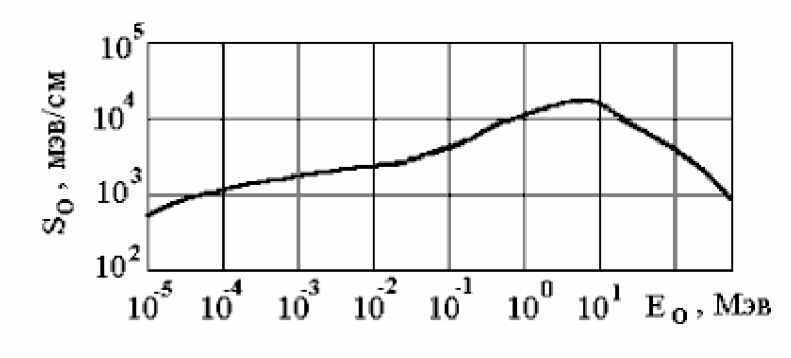


РИСУНОК 3 – ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ ИОНОВ КИСЛОРОДА.

Хотя коэффициенты качества, используемые в области радиационной защиты, табулированы в зависимости от тормозной способности для воды, полезно также иметь данные о ЛПЭ непосредственно для биологической ткани. Далее (рисунок 4) показана зависимость тормозной способности ткани S от энергии для протонов. Рисунок представляет аналогичную зависимость для ионов кислорода. Эти данные относятся к ткани с плотностью ρ=1,0г/см^3 следующего состава (ат.%): H-63,3; O-25,8; C-9,5 и N-1,4. Сравнивая тормозную способность различных заряженных частиц в воде и ткани, можно заметить, что они близки между собой. Это обстоятельство позволяет использовать воду как стандартную среду, имитирующую ткань человека при определении эквивалентной дозы с помощью коэффициентов качества.

Предельно допустимые дозы облучения и пределы дозы для персонального состава выражены в виде нормативных значений эквивалентной дозы в различных органах и тканях тела человека. Поэтому для целей радиационной защиты нужно иметь сведения о пространственном распределении эквивалентной дозы в теле человека при различных условиях воздействия ионизирующих излучений. В ряде ситуаций распределение эквивалентной и поглощенной дозы в теле человека идентично. Примером может служить воздействие Υ-излучения или электронов, когда коэффициент качества равен единице. Для остальных излучений, когда коэффициент качества отличается от единицы, определение эквивалентной дозы для всего тела и критических органов оказывается сложной задачей. В основном на распределение поглощенной и эквивалентной дозы влияют: вид излучения, падающего на тело человека, энергетическое и угловое распределение этого излучения, ориентация тела в радиационном поле и возможные его перемещения во время облучения, а также неоднородность тела (наличие полос-

остается справедливым для протонов, но здесь $\mathbf{Z}_{\mathbf{p}}^{*} \neq 1$.

Для определения эффективного заряда падающих частиц в различных средах использовано эмпирическое соотношение:

$$Z_p^* = Z_i \left[1 - e^{-125\beta Z_i^{-2/3}}\right] \quad (2)$$

Тормозная способность других частиц получена пересчетом от протонов по квадрату эффективных зарядов:

$$S_i(E_i, Z_i, m_i) = \frac{Z_i^{*2}}{Z_p^{*2}} \cdot S_p(E_i m_p / m_i) \quad (3),$$

где m_p и m_i - масса протона и других падающих частиц соответственно.

Результаты выполненных таким способом вычислений тормозной способности воды по отношению к различным падающим частицам (протонам, α-частицам и ионам кислорода) приведены на рисунках рисунок 1, рисунок 2 и рисунок 3.

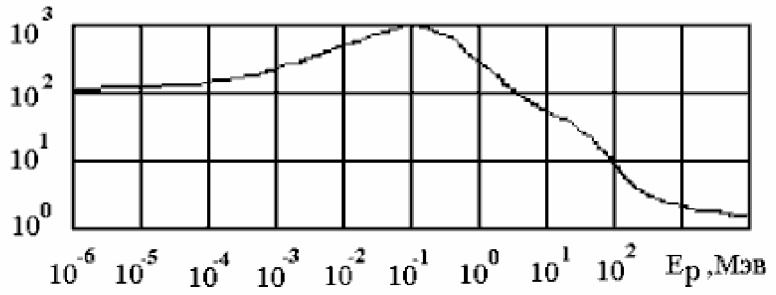
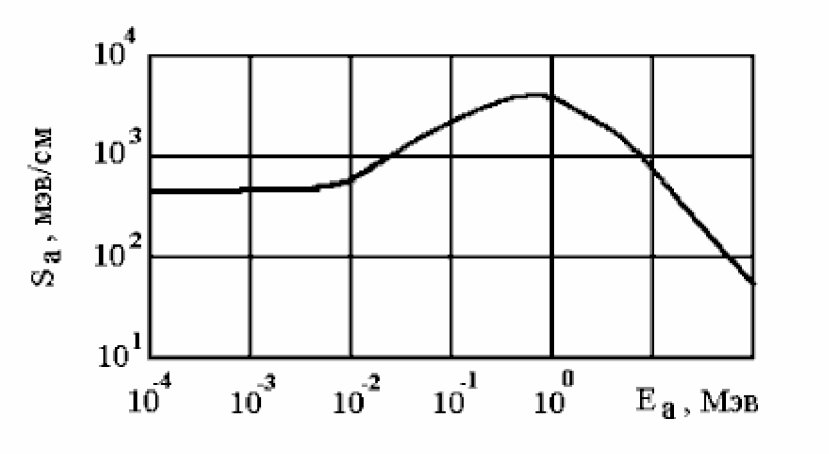


РИСУНОК 1 – ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ.



вектором магнитного поля, B). Зеркальная точка B_m – частицы (местоположение, где она меняет направление движения на обратное) может быть получена из формулы:

$$B_m = \frac{B}{\sin^2 \alpha} = const,$$

где $\alpha = \pi/2$.

Частица при движении вокруг Земли пересекает магнитную оболочку, которая описывается уравнением интегрального адиабатического инварианта,

$$I = \int dl \sqrt{1 - \frac{B}{B_m}},$$

где B – плотность потока вдоль силовой линии, а интеграл определяется вдоль силовой линии.

Первоначальные попытки описать результаты измерений радиации, захваченной геомагнитным полем, основанные на простой дипольной модели этого поля оказались безуспешными. Дальнейшие усилия привели к тому, что в 1961 г. Мак Илвайн предложил использовать двухмерную систему координат, основанную на напряженности магнитного поля, B и параметре L, который связан с радиальным положением частицы. Координаты B и L могут быть получены из условий существования статического магнитного поля в отсутствие электрического поля. Магнитное поле может быть описано в понятиях скалярного потенциала ψ.

Итак,

$$B = - \nabla\psi,$$

где

$$\psi = \frac{M \cdot r}{r^3},$$

причем M – вектор магнитного момента диполя, ориентированный в отрицательном направлении Z, r – положение вектора от центра Земли (величина магнитного момента Земли равна $8{,}1 \cdot 10^{25}$ гаусс·см^3). В сферических полярных координатах напряженность магнитного поля

$$B = B_0 \left(\frac{R_0}{r}\right)^3 \sqrt{4 - \frac{3r}{L}},$$

где B_0 – плотность магнитного потока на экваторе на поверхности Земли (0,32 гаусса), R_0 – радиус Земли (6371,2 км) и L задается формулой:

$$L = \frac{r}{\sin^2 \theta},$$

где θ - угол между осью z и вектором положения, r.

Радиационные пояса Земли заполнены преимущественно протонами и электронами. Ионы частиц с большим зарядом и массой присутствуют в

магнитосферной ловушке в относительно небольших концентрациях и не представляют заметной опасности для человека. Основным источником захваченных частиц является распад альбедных нейтронов, которые генерируются ГКЛ при взаимодействии с атмосферой, частицы из ионосферы и солнечный ветер. Механизмы транспортировки частиц в область захвата геомагнитным полем и ускорения их до высоких энергий разработаны, но еще не вполне доказаны. Вероятными механизмами потерь захваченных частиц могут быть взаимодействие с элементами атмосферы, адиабатические движения в сочетании с рассеянием и диффузией и возмущения магнитных полей в период геомагнитных бурь.

Многие характеристики радиационных поясов испытывают временные вариации под влиянием различных причин.

В работе Чэпмена и Бартелса было рассмотрено влияние изменений в магнитном диполе Земли на радиационные пояса. Основной источник таких вариаций - солнечная активность. Интенсивность ультрафиолетового излучения Солнца возрастает при ее максимуме, что приводит к нагреву атмосферы Земли, увеличению геометрических объемов и повышению плотности атмосферы на больших высотах и усиливает потери захваченных частиц.

Измеренная скорость смещения магнитного диполя Земли составляет 0,27°/год. Диполь не совпадает с осью вращения Земли, он имеет отклонение на 489 км к 20,4° северной широты и 147,3° восточной долготы. Он отклонен также относительно оси Земли на 11,1°. Это отклонение приводит к снижению траекторий частиц радиационных поясов Земли в районе Южной Атлантики у берегов Бразилии. В этой зоне потери заряженных частиц усиливаются вследствие их рассеяния на атомах атмосферы. Описанный феномен известен как Южная атлантическая аномалия (ЮАА) и является основным источником радиационной опасности для экипажей космических кораблей на низких околоземных орбитах.

Восточно-западная анизотропия в потоках захваченных магнитосферой частиц была предсказана в исследовании Ленчека и Синджера и впервые измерена Накано. В нижних участках геликоидальной траектории захваченного протона вектор движения имеет восточное направление. На вершине спиралевидной траектории движение происходит в западном направлении. Искусственный спутник, летящий в восточном направлении, соударяется с задним фронтом частиц, летящих в восточном направлении, и наоборот, с передним фронтом частиц при движении в западном направлении. Частицы, перемещающиеся в западном направлении, формируются в области, где плотность атмосферы выше (низкие высоты). Таким образом, значительная фракция частиц удаляется из орбиты. Различия в потоках частиц, соударяющихся с передними и хвостовыми поверхностями корпуса космического корабля, могут иметь существенное значение для определения дозы облучения. Например, установлено, что они в 2,5 раза выше на хвостовой области спутника для долговременной экспозиции, чем на его передней области.

тиц радиационные потери в интересующих нас диапазонах энергий пренебрежимо малы при неупругих столкновениях тяжелых частиц с ядрами атомов происходит поглощение падающей частицы и возникновение разнообразных новых частиц и возбуждение ядра. Электроны в интересующих нас диапазонах энергий не испытывают неупругих столкновений с ядрами.

Значение коэффициента качества, необходимое для перехода от поглощенной дозы к эквивалентной дозе даны в зависимости от тормозной способности, обусловленной ионизационными потерями при столкновениях (ЛПЭ), для воды. Поэтому необходимо иметь данные о тормозной способности воды для различных заряженных частиц в широком диапазоне энергий. Кроме того, потери энергии заряженными частицами определяют их пробег в веществе. Таким образом, данные о тормозной способности различных сред. Наряду с информацией о ядерных взаимодействиях, необходимы для расчета защиты от заряженных частиц.

При вычислении тормозной способности использовались различные формулы для трех диапазонов β, Z, где β - скорость падающей частицы относительно скорости света и Z - заряд частицы. В диапазоне высоких энергий ($\beta>0{,}04Z^{2/3}$), где падающую частицу можно считать полностью лишенных электронов, использовалась теория Бете с поправками на эффекты оболочек и плотности. Нижняя граница диапазона $\beta=0{,}04Z^{2/3}$ соответствует кинетической энергии около 0,75 Мэв для протонов, 7,5Мэв для α-частиц и 194Мэв для ионов кислорода. Поскольку в этих диапазонах энергий эффективный заряд падающих частиц совпадает с их зарядом, тормозная способность была вычислена для протонов, а для остальных частиц получена пересчетом от протонов по квадрату заряда.

Тормозная способность $S_p(E)$ протонов с кинетической энергией E вычисляется по формуле:

$$S_P(E) = n\left[\frac{4\pi e^2}{m_e C^2}\right]\cdot\frac{Z_p^{*2}}{\beta^2}\left\{\ln\left[2m_eC^2\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right]-\beta^2-\ln\bar{I}-\frac{\overline{C}}{\overline{Z}}-\frac{\overline{\delta}}{Z}\right\} \quad (1),$$

где n - электронная плотность вещества среды, $n=\sum_i \mathbf{N_i Z_i}$, N_i - атомная плотность нуклида $i^{-го}$ типа, а Z_i - порядковый номер нуклида $i^{-го}$ типа; e - заряд; m_eC^2 - энергия покоя электрона; $\bar{\mathbf{I}}$ - средний ионизационный потенциал вещества среды; $\mathbf{Z_p^*}$ - эффективный заряд протона (в рассматриваемой области $\beta\geq0{,}04$, $\mathbf{Z_p^*}=1$); $\frac{\overline{\mathbf{C}}}{\overline{\mathbf{Z}}}$ - поправка на эффект оболочек и $\bar{\boldsymbol{\delta}}$ - поправка на эффект плотности. В следующем промежуточном диапазоне ($0{,}0046Z^{1/3}<\beta<0{,}04Z^{2/3}$) эффективный заряд падающей частицы $\mathbf{Z_i^*}<Z_i$. В области $\beta>0{,}0046Z^{1/3}$ потерями энергии при упругих кулоновских столкновениях между падающей частицей и ядрами вещества, которые не учитываются уравнением (1), можно пренебречь. В этом диапазоне уравнение (1)

сот килоэлектронвольт до нескольких мегаэлектронвольт; высокие энергии - от нескольких мегаэлектронвольт до нескольких сот мегаэлектронвольт; сверхвысокие энергии - выше нескольких сот мегаэлектронвольт.

С учетом состава космического излучения заряженные частицы можно условно разделить на две группы, различающиеся характером взаимодействия в различных диапазонах энергий. Первую группу (легкие частицы) составляют электроны, а вторую (тяжелые частицы) - протоны, α и более тяжелые частицы.

Взаимодействие заряженной частицы может происходить как с электронной оболочкой атома, так и с его ядром. При этом в общем случае возможны упругие и неупругие процессы. Процессы называются упругими, если сумма кинетических энергий взаимодействующих частиц до и после взаимодействия сохраняется неизменной. Примером такого процесса может служить упругое рассеяние легких и тяжелых частиц на ядрах атомов. При упругих столкновениях электронов с ядрами атомов передача энергии ядру - мишени пренебрежимо мала. При упругих столкновениях тяжелых заряженных частиц с ядрами падающая частица, как и в случае электронов, теряет часть своей энергии, передавая ее ядру - мишени, и отклоняется от первоначального направления движения. Потери энергии и угловое отклонение тяжелых частиц при упругих столкновениях с ядрами обычно пренебрежимо малы. Исключение составляют водородсодержащие среды и диапазон низких энергий падающих частиц.

При неупругих процессах часть кинетической энергии падающей частицы передается образовавшимся свободным частицам или квантам. К таким процессам относятся неупругое рассеяние, ионизация и возбуждение атомов, потери энергии на тормозное излучение, расщепление и возбуждение ядер. Взаимодействие заряженной частицы с элементами атома, приводящие к образованию свободного электрона, уменьшению энергии падающей частицы и изменению направления ее движения, называется неупругим рассеянием. Вторичные электроны, обладающие энергией, достаточной для ионизации атомов среды, называют δ-электронами .

Следующий неупругий процесс - ионизация и возбуждение атомов среды при прохождении через нее заряженных частиц. Потеря энергии на возбуждение и ионизацию происходит посредством большого числа дискретных актов взаимодействия, в каждом из которых теряется малая порция энергии падающей частицы. Это позволяет считать торможение тяжелой заряженной частицы непрерывным процессом, а ее траекторию - прямой линией. Модель непрерывного замедления иногда применяют и к прохождению электронов через вещество хотя траектория электронов в диапазоне низких и средних энергий оказывается сильно изломанной линией.

Заряженные частицы, испытывая ускорение или замедление при электромагнитном взаимодействие с электронами или ядрами атома, теряют часть своей энергии на образование так называемого тормозного излучения (радиационные потери). Радиационные потери существенны лишь для электронов в области высоких и сверхвысоких энергий. Для тяжелых час-

Временные колебания интенсивности протонов внутреннего радиационного пояса могут быть также обусловлены проникновением частиц, генерируемых солнечными вспышками. Этот феномен до конца не исследован, особенно в отношении низких околоземных орбит. Данные о существовании потенциального "второго" пояса захваченных протонов были впервые представлены в публикации МакИлвайна на основе материалов исследования, полученных с помощью космического зонда "Эксплорер-XV". МакИлвайн не смог прямо связать это наблюдение с характером солнечной активности, но показал, что второй пояс протонов не был следствием высотного атмосферного ядерного взрыва по программе испытаний "Старфиш". Наличие второго пояса протонов позднее было подтверждено в материалах исследования, проведенного на орбитальном спутнике "Реле-1". Еще позднее, спустя более 20 лет, Петров с коллегами представили данные о возникновении второго пояса протонов на орбитах полета долговременной космической станции "Мир" в период появления крупных солнечных вспышек в сентябре и октябре 1989 г. на основе дозиметрических измерений радиационной обстановки с помощью аппаратуры "Люлин". Лобаков и сотрудники провели измерения и подтвердили возрастание интенсивности потока солнечных частиц во время тех же самых солнечных протонных событий, используя дозиметр "Люлин" и радиометр "Рябина". Другие исследователи также отметили факт существования второго пояса протонов и его распада . Эти самые последние измерения были выполнены с помощью тканеэквивалентного пропорционального счетчика и спектрометра частиц в пяти орбитальных полетах космических кораблей "Спейс Шаттл" в течение 18 мес.

Возникновение второго пояса захваченных протонов было приписано "вспрыскиванию" частиц солнечных вспышек, зарегистрированных 22 марта 1991 г. Проведенные измерения позволили определить пространственно-временную динамику второго пояса. Сопоставительный анализ наблюдений на борту орбитального космического комплекса "Мир" и автоматических непилотируемых спутников позволил выявить экспоненциальный характер спада во времени пика интенсивности протонов второго пояса, равный 10 мес. Популяция протонов во втором поясе возвращалась на уровни, характерные для периода покоя солнечной активности, в течение 18 мес. Повышение поглощенной дозы, обусловленное действием протонов второго пояса, составило приблизительно 20%.

Для корректной оценки доз радиации при будущих полётах необходимы модели, которые включали бы в себя достоверные данные о пространственных и временных вариациях интенсивности захваченных магнитным полем Земли частиц с учетом факторов, вызывающих эти вариации. Для учета изменений характеристик захваченной радиации предложено несколько методов. Один из них состоит в обновлении данных о потоках частиц каждые 5-10 лет с помощью измерений на спутниках.

2.2 ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

(ГКЛ)

ГКЛ состоят из высокоэнергетических ионов, возникших в Галактике, но за пределами солнечной системы. Их интенсивность модулируется изменениями в межпланетном магнитном поле, обусловленными влиянием циклом солнечной активности. Наибольшие эффекты наблюдаются у ионов самых низких энергий. Напряженность межпланетного магнитного поля повышается с увеличением солнечной активности, влияние которой, как правило, распространяется радиально от Солнца на расстояние до 70 астрономических единиц. ГКЛ, поступающие в солнечную систему, значительно откланяются под влиянием более мощных межпланетных магнитных полей, что приводит к уменьшению интенсивности ГКЛ во внутренней гелиосфере.

ГКЛ откланяются также магнитным полем Земли, которое уменьшает их интенсивность внутри земной магнитосферы. Спектр ГКЛ достигает энергий, превышающих 1 ГэВ/нуклон. Ионы с такими энергиями могут проникать на глубину 1 м толщи воды до их остановки. Они имеют среднюю величину свободного пробега между ядерными взаимодействиями около 10 г/см^2.

Измерения, полученные с помощью нескольких спутников, свидетельствует, что интенсивность ГКЛ меняется с удаленностью от Солнца на расстоянии, по крайней мере, в 47 астрономических единиц. Мевальт и сотрудники указывают, что интенсивность протонов падает на 1 – 2% на каждую астрономическую единицу. «Аномальное» повышение интенсивности шести ионов ГКЛ (He, C, N, O, Ne, Ar) обнаруживает корреляцию с циклами солнечной активности. Аномальный компонент формируется тогда, когда солнечная ультрафиолетовая радиация ионизирует нейтральное межзвездное вещество, и возникающие ионы ускоряются внутри гелиосферы. Только 5% потока ионов гелия с энергией выше 10 МэВ/нуклон и 1% с энергией выше 100 МэВ/нуклон обусловлено аномальным компонентом. Их интенсивность снижается примерно на 15% на астрономическую единицу по мере удаления от Солнца.

2.3 СОЛНЕЧНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Излучение, сопровождающее некоторые солнечные вспышки, может представлять опасность при космических полетах человека. В составе СКИ обнаружены главным образом протоны и α частицы, причем отношение флюенсов протонов и α частиц изменяется от вспышки к вспышке в диапазоне от 1 до 100. Примесь более тяжелых ядер составляет менее 0,1%. Плотность потока, энергетическое и угловое распределения, а так же состав частиц меняются не только от одной вспышки к другой, но и во время вспышки. Продолжительность вспышки обычно принимают равной суткам. В большинстве случаев для оценки радиационной опасности и расчета защиты достаточно рассматривать СКИ как источник радиационной опасности при космических полетах.

В настоящее время наиболее распространенным считается экспоненциальное представление спектров СКИ с использованием магнитной жесткости в качестве характеристического параметра. В этом представлении:

$$\mathbf{J_j(>E) = J_{0J} e^{-P_J(E)/P_0}};$$

где J_j(>E)- флюенс протонов (j=p) или α частиц (j=a) с кинетической энергией более E; P_j(E)-магнитная жесткость; J_{0j}-предэкспоненциальный множитель; P_0-характерестическая жесткость для данной вспышки СКИ. На основании существующих данных о солнечных вспышках, можно сделать вывод о том, что подавляющее большинство вспышек СКИ имеет спектр средней жесткости ($75 \le P_0 \le 125$Мв). Наиболее редкими оказываются вспышки СКИ с жестким спектром частиц ($P_0 \ge 125$Мв) [4]. Учитывая данные факторы расчеты показали, что CF для диапазона P_0(50-200Мв) слабо зависят от P_0 и мало отличаются от 0,40-0,43. В связи с этим CF=0,42((протон/(см^2·сек))(мбэр/ч) для всех значений P_0 ($50 \le P_0 \le 200$Мв).

Солнечные вспышки распределены во времени случайным образом, поэтому при оценке радиационной опасности в космическом пространстве учитывают конечную вероятность возникновения вспышек СКИ за время полета любой продолжительности.

Считают, что полет космического корабля случайным образом распределен в пределах фазы максимальной активности составного солнечного цикла. Полный флюенс частиц во время полета получают путем суммирования флюенсов частиц от всех вспышек СКИ, которые могли произойти за это время. Процесс повторяется для большого числа полетов данного типа, что позволяет найти распределение вероятности превышения заданного значения полного флюенса за время полета. Очевидно, что вероятность превысить любое заранее заданное значение полного флюенса за полет имеет конечное распределение отличное от нуля значение. Таким образом, вероятность воздействия на экипаж космического корабля полного флюенса протонов, превышающего J(>30Мэв), получают умножением того, что за время полета произойдет любая вспышка СКИ на вероятность того, что флюенс протонов за это время превысит J(>30Мэв). Распределение накопленной вероятности для флюенса протонов можно преобразовать в распределение вероятности для эквивалентной дозы, если применить способ перехода от плотности потока к мощности эквивалентной дозы с помощью эффективных значений переходных коэффициентов CF.

2.4 ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ

Характер взаимодействия ионизирующего излучения с веществом среды через которую оно распространяется, в существенной степени зависит от вида частицы и энергии. Понятие ‘взаимодействие излучения с веществом’ относится ко всем процессам при которых изменяются энергия, направление движения или вид падающей частицы. При этом имеются в виду лишь первичные или элементарные акты взаимодействия. Различают четыре основных диапазона энергий ионизирующего излучения: низкие энергии - ниже нескольких сот килоэлектронвольт; средние энергии - от нескольких

стоящее время, благодаря наличию этих механизмов определенное количество любых веществ может поглощаться организмом без неблагоприятных последствий.

В большинстве случаев организм способе к восстановлению повреждений без остаточных явлений. Иногда могут иметь место стойкие изменения, как, например, развитие рубца. В таких случаях стойкие изменения в результате единичного или повторного воздействия могут оказать повреждающее последствие на организм. В иных, сравнительно редких обстоятельствах первичное повреждение может вызвать такие изменения физиологических процессов в тканях организма, которые будут сохранятся в течение длительного периода времени после прекращения действия поражающего агента.

Изучение перечисленных явлений составляет предмет токсикологии как науки. Существующий уровень токсикологических знаний недостаточен для обоснованного предсказания эффектов воздействия большинства соединений на организм при любой заданной дозе.

Существуют различные способы выражения концентрации или дозы. В одних случаях количество вещества выражается в виде веса или объема продукта на единицу веса тела животного, например, мг/кг. Когда говорят о концентрации газа или частиц в воздухе, обычно употребляется размерность «части на миллион» (ppm), характеризующая объемные соотношения, или размерность мг/м^3. Полагают, что в условиях космической кабины при изменяемом парциальном давлении атмосферы более рациональным способом выражения данных могло бы быть число микромолей на 1 м^3 или миллимо-лей на 25 м^3. Она выражает молярную концентрацию на единицу объема и, таким образом, эквивалентна парциальному давлению загрязнения.

Поскольку частым исходом отравления является гибель животного, то летальная доза сокращенно обозначается LD, а летальная концентрация – LC. Процент пораженных животных выражается в виде числовых обозначений – 0, 50, 100 и т.д. Так, например, 4-часовая LC_{50} означает, что концентрация, вероятнее всего, будет смертельной для 50% животных при 4-часовой экспозиции.

Количественное соотношение дозы и реакции исключительно важно при теоретической и практической оценке токсического действия. Вообще, чем больше доза, тем сильнее реакция или тем быстрее наступает ее развитие. В ряде случаев время является в равной степени важным фактором при определении эффекта воздействия.

9.1 ОСТРАЯ ТОКСИЧНОСТЬ

Термин «острая токсичность» обозначает вредное действие единичных или повторных высоких доз, вводимых за короткое время, как, например, при вдыхании яда в течение нескольких часов. Данные по острой токсичности загрязнений атмосферы космических кораблей необходимы для нескольких целей. Они служат основой для ориентировочной оценки

огромный ионизационный след, что они инактивируют практически каждую клетку, которую пересекают.

Вторичные электроны так же, как и заряженные частицы, теряют свою энергию не плавно, а ступенчато, в дискретных областях взаимодействия, причем интервалы между этими областями зависят от плотности (и химического состояния) облучаемого материала. Для легких частиц типа электронов и протонов с высокими энергиями, у которых потери энергии минимальны, расстояние между областями взаимодействия частицы с веществом, в которых происходит потеря энергии, может составлять несколько микрометров. Следовательно, статистические характеристики потерь энергии будут значительно флуктуировать, особенно в очень тонких мишенях. Более тяжелые частицы в относительно плотных материалах (типа живой ткани) будут терять энергию с достаточно высокой скоростью, так что приближение непрерывного замедления для потери энергии представляется вполне обоснованным.

Нейтроны, которые не имеют заряда, могут проникать на относительно большие расстояния, вообще не взаимодействуя со средой, поскольку они теряют свою энергию только в ядерных взаимодействиях с атомами среды. Когда имеет место такое взаимодействие, каскад образующихся вторичных ионов может привести к локальной передаче больших количеств энергии. По этой причине нейтроны считаются ионизирующим излучением с высоким уровнем ЛПЭ, а источники нейтронов - наиболее широко распространенными источниками радиации с большой ЛПЭ.

5.2 ОБЩЕСОМАТИЧЕСКИЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ: РАННИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

Нарушения здоровья в результате воздействия космической радиации обычно разделяют на две категории: ранние (острые) и поздние (отдаленные) эффекты. Ранние эффекты проявляются в течение нескольких часов, дней или недель после острого облучения всего тела большими дозами, например, в результате интенсивной солнечной вспышки. Поздние или отдаленные эффекты, как правило, развиваются спустя месяцы или годы после радиационного воздействия и охватывают повреждение тканей, нарушение функции воспроизводства, помутнение хрусталика, возникновение онкологического заболевания, наследственные эффекты и аномалии развития. Из перечисленных отдаленных эффектов исследователи уделяют основное внимание индуцированному канцерогенезу. Члены летних экипажей космических кораблей будут неизбежно подвергаться облучению ГКЛ с малой мощностью дозы и могут также быть облучены СКЛ с высокой мощностью дозы.

Острые эффекты воздействия ионизирующего излучения (но с низкой величиной ЛПЭ) на людей в дозах свыше 100 бэр (1 Зв) изучены достаточно подробно. Эффекты, типичные для облучения всего тела при указанных уровнях поглощенной дозы, представлены в таблице 5. Острые эффекты облучения радиацией с высокими уровнями ЛПЭ изучены значительно ху-

же по отношению к дозе, но в качественном аспекте могут быть признаны идентичными эффектам облучения от источников с низкими уровнями ЛПЭ.

ТАБЛИЦА 5 – ТИПИЧНЫЕ КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ У ЛЮДЕЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВСЕГО ТЕЛА.

тивным дозиметром, обеспечивающим временное разрешение, и поэтому учитывающим динамику ионизирующих потоков вдоль орбиты, а ионы РПЗ и ГКЛ доминируют на различных ее участках.

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

В составе ГКЛ наибольший вклад в дозу облучения в космическом полете вносят ионы Fe, H, O, Si, Mg, He, C, Ne. Наиболее важный диапазон энергии - 0,02-20 ГэВ/нуклон. Для толщины защитного экрана (10 г/см^2), равной длине свободного пробега тяжелого иона ГКЛ, примерно 80% эквивалентной дозы составляют перечисленные 8 ионов, причем половина эквивалентной дозы - от ионов с энергиями более 0,85 ГэВ/нуклон. Ядерная фрагментация приобретает весомое значение при толщине защитного экрана, превышающей одну длину свободного пробега иона.

Бадхвар Г.Д и другие рассчитали уровни эквивалентной дозы от ГКЛ как функцию толщины защитного экрана, взяв самый неблагоприятный вариант спектра ГКЛ в 1977 г. - минимум солнечной активности. Эти результаты значительно отличаются от ранее опубликованных оценок, полученных по модели "CREME" интенсивности ГКЛ. Средняя эквивалентная доза превышает 0,5 Зв для толщины экрана менее 20 г/см^2 из алюминиевого материала.

Кертис и Литоу рассчитали процент клеток площадью 100 мкм^2, которые могли быть поражены в свободном космосе в течение года. Они предположили, что клетки находились на глубине 5 г/см^2 в водном фантоме диаметром 30 г/см^2, размещенном в центре сферической алюминиевой оболочки толщиной 4 г/см^2. В расчетах учитывали вклад фрагментации ионов ГКЛ. Оказалось, что за время экспедиции свыше 60% клеток могут быть поражены одним ионом ГКЛ с зарядом атома от 3 до 28, а 15% экспонированных клеток - двумя попаданиями ионов указанного диапазона атомных номеров. Очевидно, этот компонент тяжелых ионов играет весьма значительную роль в патогенетических механизмах биологического повреждения и эффектах облучения в космическом полете.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ВНУТРИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Все соединения в определенных количествах и концентрациях оказывают неблагоприятное влияние на организм. Токсические вещества после поглощения организмом могут задерживаться или выводиться из него в неизмененном состоянии. Они могут подвергаться биотрансформациям в результате процессов окисления, восстановления и гидролиза до продуктов, обладающих большей или меньшей токсичностью. Как известно в на-

ный тканеэквивалентный счетчик низкого давления. Среднесуточная доза и уровни эквивалентной дозы в течение декабря 1988 г. были 0,322 мГр/сут и 0,617 мЗв/сут. Между мартом и апрелем 1989 г. значения среднесуточной дозы и эквивалентной дозы составили соответственно 0,415 мГр/сут и 0,799 мЗв/сут. Средняя величина коэффициента качества, полученная из этих данных, составила 1,9±0,3. Максимальные уровни доз на борту орбитальной станции "Мир" были зарегистрированы при прохождении космического комплекса через Южно-Атлантическую аномалию (ЮАА). Мощность дозы и эквивалентной дозы были равны 0,755 мГр/ч и 1,050 мЗв/ч соответственно. Средняя величина коэффициента качества, рассчитанная на основе результатов измерения в ЮАА, составила 1,4.

Часть нейтронов, генерированных ионами ГКЛ при взаимодействии с ядрами атомов атмосферы, рассеивалась на орбитальные высоты полета космического корабля. Вторичные нейтроны генерируются ГКЛ и протонами РПЗ при взаимодействии с материалами космического корабля - орбитального комплекса. Измерения доз, флуенсов и энергетических спектров нейтронов проводились в пилотируемых космических полетах эпизодически. Кейт с коллегами для измерения эквивалентов дозы нейтронов в полетах космических кораблей по программе "Спейс Шаттл" использовали активационные фольги с пластиковыми сферами различных диаметров.

Коэффициент качества нейтронов принимался равным 20. На высотах полета 300 и 600 км уровни эквивалентной дозы протонов были соответственно в 2,5 и 14 раз больше, чем эквивалентная доза нейтронов. Для измерения эквивалентной дозы нейтронов на борту советского орбитального комплекса "Мир" был использован пузырьковый детектор и получена величина, равная 0,023 мЗв/сут. Таким образом, результаты измерения, проведенного на орбитальной станции "Мир", совпадают с аналогичными данными, полученными в космических полетах на борту "Спейс Шаттл".

Спектр ЛПЭ позволяет представить себе вклад в дозу излучения с высокой ЛПЭ. Петров проводил измерения интегральных спектров ЛПЭ в кабине космического корабля "Союз" в полетах 1958-1970 гг., используя методику ядерных эмульсий. Коэффициент качества, вычисленный на основе этих измерений, менялся в диапазоне от 1,2 до 1,4. Бентон и Парнелл, используя эмульсии, ДТД и активные спектрометры, измерили спектры ЛПЭ на нескольких космических кораблях США и СССР как в пределах, так и за пределами земной магнитосферы. Поскольку детекторы устанавливались на внутренней поверхности защитного экрана, толщина которого варьировала в широком диапазоне, прямой сопоставительный анализ результатов оказался невозможным. Так как ДТД имеют порог регистрации примерно 5 кэВ/мкм, большая доля протонов в структуре дозы облучения в районе Южно-Атлантической аномалии оказалась неучтенной.

Спектры ЛПЭ в нескольких полетах измерялись также внутри кабины космического корабля "Спейс Шаттл" с использованием тканеэквивалентного пропорционального счетчика. Долевые компоненты ионов РПЗ и ГКЛ могут быть разделены, поскольку пропорциональный счетчик является ак-

Поглощенная доза, бэр*	Ожидаемые физиологические эффекты
10-50	Никаких видимых сдвигов, за исключением незначительных изменений крови
50-100	От 5 до 10% пораженных испытывают тошноту и рвоту в течение приблизительно одних суток. Иногда отмечается повышенная утомляемость, но без резко выраженного нарушения работоспособности. Преходящее снижение числа лимфоцитов и нейтрофилов. Смертельные исходы не наблюдаются
100-200	От 25 до 50% пораженных испытывают тошноту и рвоту в течение приблизительно одних суток. В последующем развивается другая симптоматика острой радиационной травмы. Число лимфоцитов и нейтрофилов падает на 50%. Смертельные исходы не наблюдаются
200-350	Подавляющее большинство пораженных испытывают в течение первых суток после облучения тошноту и рвоту, с последующим развитием другой симптоматики острой лучевой болезни, например, потери аппетита, поноса, небольших кровотечений. Число форменных элементов, циркулирующих в периферической крови, падает на 75%. Смертельные исходы регистрируются от 5 до 50% всех случаев
350-550	Практически все пораженные испытывают тошноту и рвоту в течение первых суток после облучения с последующим развитием других симптомов острой лучевой болезни, например, повышение температуры тела, кровотечения, понос, обезвоживание. Смертельные исходы регистрируются от 50 до 90% всех случаев поражений в течение 6 недель. Выжившие выздоравливают в течение приблизительно 6 мес
550-750	Все пораженные страдают от тошноты и рвоты в течение первых 4 ч с момента облучения, в дальнейшем появляется развернутая клиническая картина тяжелой формы лучевой болезни. Смертельные исходы регистрируются в 100% всех случаев поражений
750-1000	Тяжелая тошнота и рвота продолжаются в течение 3 сут с момента облучения. Средняя продолжительность заболевания до наступления смертельного исхода менее 2,5 недель
1000-2000	Тошнота и рвота развиваются в течение первых 1-2 ч после облучения. Все пораженные погибают в течение 2 недель
4500	Острое нарушение работоспособности в течение нескольких часов после поражения. Все пострадавшие гибнут в течение первой недели с момента облучения
* 100 бэр = 1 Зв.	

Воздействие на людей доз облучения, превышающих 50 бэр (0,5 Зв), вызывает у них появление характерных симптомов, обозначаемых общим термином "лучевая болезнь". Возникновение симптомов, их продолжительность и тяжесть зависят от дозы. Типичные симптомы могут включать в себя головную боль, головокружение, ощущение дурноты, извращение вкусовых ощущений и обоняния, тошноту, рвоту, понос, пониженное артериальное давление, снижение числа лейкоцитов и тромбоцитов, повышенную раздражительность и бессонницу. У людей при остром радиационном синдроме наиболее чувствительны и ранимы три системы органов. Центральная нервная система поражается в наибольшей

степени при воздействиях радиации свыше нескольких тысяч бэр (несколько десятков Зв). Желудочно-кишечный тракт наиболее чувствителен к воздействиям в диапазоне доз от 550 до 2000 бэр (от 5,5 до 20 Зв). Кроветворная система в наибольшей степени поражается при воздействии доз до 550 бэр (5,5 Зв).

Эффекты облучения всего тела в малых дозах 50 бэр (0,5 Зв) или еще ниже обычно носят смягченный характер и проявляются только в течение первых суток с момента облучения. Число форменных элементов крови может снижаться незначительно, однако пострадавшим гарантирована практически 100%-ная вероятность выживания. По мере увеличения диапазона доз до 100-200 бэр (1,0-2,0 Зв) тяжесть продромальных эффектов усиливается. При дозе общего облучения 200 бэр (2,0 Зв) частота возникновения рвотных реакций повышается до 70%; утомление и слабость наблюдаются приблизительно у 30-60% всех облученных. Значительное разрушение стволовых клеток костного мозга может привести к снижению числа форменных элементов, циркулирующих в периферической крови на 25-35%. В результате этих нарушений в период между 4-й и 5-й неделями с момента облучения могут наблюдаться умеренно выраженные кровотечения, повышение температуры тела и инфекционные заболевания на фоне ослабленного иммунитета.

При радиационных воздействиях в диапазоне от 200 до 350 бэр (2,0-3,5 Зв) продромальные симптомы начинают проявляться раньше и поражают большую часть облученных лиц. Умеренно выраженная диарея продолжительностью от 4 до 8 ч после воздействия облучения отмечается у 10% всей пострадавшей популяции. Большинство жертв радиационного поражения отмечает повышенную усталость и на протяжении всех 6 последующих недель испытывают периодическую слабость. В обычных условиях окружающей среды рвота и понос не сопровождаются нарушением водно-электролитного баланса. Однако при повышенной температуре или влажности комбинированные потери воды и солей из организма угрожают тяжелым расстройством водно-минерального обмена. Поражение кроветворной системы проявляется умеренно выраженными кровотечениями, повышением температуры тела, наслоением инфекционного заболевания и язвенных поражений в период от 3 до 5 недель после облучения, причем эти явления наблюдаются у более половины всех облученных лиц. В период с 4 по 5-ю неделю от момента облучения состояние пострадавших осложняется поносами.

Большинство лиц, перенесших облучение в дозе 350-550 бэр (3,5-5,5 Зв), страдают от тяжелых продромальных симптомов. Тяжелые, неукротимые и продолжительные рвоты могут нарушить водно-электролитный баланс. Большинство пораженных отмечают явления утомления и усталости от умеренно выраженных до тяжелой степени тяжести в течение многих недель с момента облучения. При отсутствии лечения 50-90% пострадавших погибают в результате массивного поражения кроветворной системы, на что указывают неодолимые наслоения инфекционных заболеваний и

и работоспособности.

Существует определенная вероятность того, что и некоторые другие сдвиги в функциональном состоянии организма могут ограничить продолжительность безопасного пребывания в условиях длительной невесомости. Одни из них определяются процессами перестройки механизмов нервной и гормональной регуляции вегетативных и двигательных функций в этом состоянии. Другие зависят от степени структурных изменений (например, мышечной и костной ткани), детренированности сердечно-сосудистой системы и обменных сдвигов. Однако при достигнутых сроках пребывания в невесомости наиболее критической формой этих изменений являются нарушения, которые возникают в реадаптационном периоде. Основные из них – снижение переносимости перегрузок, вертикальной позы, ухудшение физической работоспособности и координации основных двигательных актов. Поэтому одной из чрезвычайно важных задач медицинского обеспечения длительных космических полетов является разработка и внедрение системы мероприятий по профилактике этих расстройств.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА ЗЕМЛИ: НИЗКИЕ ОКОЛОЗЕМНЫЕ ОРБИТЫ

Американский спутник для долговременной экспозиции в условиях воздействия космической радиации находился на низкой околоземной орбите в течение 69 мес. Он был выведен на околоземную орбиту в апреле 1984 г. кораблем многократного использования "Спейс Шаттл" - "STS-41c" с углом наклонения орбиты 28,5° и высотой 528 км и изъят с орбиты с последующей доставкой на Землю с высоты 333 км кораблем "STS-32" в январе 1990 г. При толщине защитного экрана более 0,3 г/см^2 протоны радиационного пояса Земли оказываются доминирующим источником суммарной дозы.

Орбитальная лаборатория "Скайлэб" была выведена на низкоорбитальную траекторию полета с углом наклонения в 50° и высотой 435 км в июле 1972 г. На ней отработали три экипажа посещения, каждый в составе трех астронавтов, в период между серединой 1973 и началом 1974 г. Уровень зарегистрированных доз у членов последней экспедиции посещения ("Скайлэб-4") оказался самым высоким среди астронавтов США, подвергшихся воздействию космической радиации. Аналогичные данные получены и для советских космических экспедиций. В большинстве случаев индивидуальные дозы не превышали 5 мЗв за полет, однако для орбитальных полетов продолжительностью более одного месяца эффективная эквивалентная доза составляла более 10 мЗв и достигала 55 мЗв для участников VI экспедиции на "Салюте-6", продолжавшейся 175 суток.

Советская орбитальная станция "Мир" имеет наклонение орбиты 51,2° и среднюю высоту орбиты 350 км. Нгуен и другие ученые произвели измерения доз в полете советско-французского экипажа по программе "Арагац" в период между декабрем 1988 и апрелем 1989 г., используя пропорциональ-

ских функций. При сроках гиподинамии в 3 и более недель среди испытуемых довольно часто отмечается возникновение неустойчивого настроения, раздражительности, навязчивых идей, конфликтных ситуаций, а в отдельных случаях и психических расстройств. Описанные явления общей астенизации способны сыграть роль фактора, в известной мере ограничивающего безопасность и эффективность длительных космических полетов. Нарушения двигательных функций в условиях космического полета, по-видимому, не являются критическими, поскольку выработка навыков координации движений в невесомости протекает относительно успешно. Значительно более неблагоприятными представляются нарушения координации движений, которые могут развиваться в реадаптационном периоде. В грубой форме эти нарушения отмечены при исследованиях с длительным применением постельного режима, а в выраженной форме – после 18-суточного космического полета.

Значительные изменения физической работоспособности и выносливости также могут серьезно ограничить возможность передвижения космонавтов после окончания полета. Поскольку выраженность координационных сдвигов зависит от продолжительности воздействия гиподинамии и невесомости, то они должны учитываться в качестве одного из важных ограничений на пути к дальнейшему увеличению длительности полетов.

Ортостатическая неустойчивость, характеризующаяся выраженным усилением физиологических изменений, появлением головокружения, слабости, тошноты и особенно развитием обморочного состояния при вертикальной позе, представляет собой весьма серьезную проблему, типичную для послеполетного периода. Если признаки ортостатической неустойчивости, отмеченные после кратковременных полетов, были непродолжительными и легко обратимыми, то после 18-суточного полета они проявлялись даже в положении сидя и отличались большей продолжительностью.

Правда, сравнение результатов 14-суточного полета «Джемини-7» с более кратковременными полетами не подтверждает связи между выраженностью ортостатических нарушении и продолжительностью действия невесомости. Предварительные данные медицинского обследования экипажа «Скайлэб» после 28-суточного полета также свидетельствуют о том, что ортостатические нарушения у двух из трех космонавтов были весьма умеренными. Из этого вытекает, что нарушение устойчивости к вертикальной позе зависит не только от продолжительности воздействия невесомости, но и от таких факторов, как условия обитания и использование профилактических средств в полете.

Неврологические расстройства были зарегистрированы при длительной (свыше 30 суток) гиподинамии. Они выражались в развитии симптомов межполушарной асимметрии и правосторонней пирамидной недостаточности и, возможно, были связаны с нарушением мозговой гемоциркуляции и изменениями уровня афферентной импульсации. Можно предположить вероятность возникновения подобных расстройств и при длительных полетах, что повлечет за собой, в частности, ухудшение двигательной функции

кровотечений в период с третьей по шестую недели от момента лучевой травмы. Возможно рецидивирование тошноты, рвоты и полной потери аппетита. Приблизительно у половины пораженных могут наблюдаться явления поноса, нарушения водно-минерального обмена и головные боли. Терминальное состояние может осложниться усилением головокружения, потерей пространственной ориентировки, обмороком, прострацией и симптомами наслоившейся инфекции.

Тяжелая тошнота и рвота в первые сутки после облучения будут наблюдаться практически у всех лиц, получивших дозу облучения в диапазоне 550-750 бэр (5,5-7,5 Зв), часто в комбинации с головокружением и утратой пространственной ориентировки. Стволовые клетки костного мозга и гранулоциты периферической крови почти полностью отсутствуют, и без лечения эти лица становятся легко подверженными инфекционным заболеваниям, включая случаи аутозаражения кишечной флорой от собственного пораженного облучением желудочно-кишечного тракта. Сочетанное лучевое поражение костного мозга и желудочно-кишечного тракта приводит к снижению сроков продолжительности жизни у всех не леченных лиц до 2-3 недель от момента облучения до летального исхода. В клинической картине поражения весьма характерны кровотечения от умеренной до тяжелой степени тяжести, головные боли, гипотония, обезвоживание, нарушение солевого баланса и обморочные состояния.

Облучение в дозах 750-1000 бэр (7,5-10,5 Зв) приводит к дальнейшему уменьшению сроков продолжительности жизни приблизительно до 2,5 недель. Наблюдаемые симптомы во многом сходны с описанными выше при меньших дозах облучения, за исключением того, что тяжелая рвота и тошнота могут продолжаться до трех суток с момента облучения. Артериальное давление снижается на 80% от нормального значения. Умеренное повышение температуры тела в первые сутки облучения может достигать 30 – 45%. Минеральный баланс снижается уже к 6-му ч после облучения и удерживается на низком уровне. У всех пораженных отмечаются головные боли от умеренной до выраженной степени тяжести в первые сутки лучевой травмы. Приблизительно 75% пораженных в течение первой недели пребывают в состоянии глубокой прострации. Воздействия ионизирующих излучений на уровне 1000-2000 бэр (10-20 Зв) провоцируют тяжелую тошноту и рвоту в течение 30 мин после воздействия. Эти симптомы обостряются и проявляются периодически до наступления смерти на второй неделе. Однократное острое воздействие облучения на все тело в дозе 4500 бэр (45 Зв) может привести к смертельному исходу на 32-м ч после воздействия, причем все пострадавшие погибают в течение одной недели от момента облучения.

Обследования жертв атомных бомбардировок в Японии дают наиболее полную картину данных о влиянии ионизирующей радиации с низким уровнем ЛПЭ на здоровье людей. После бомбардировок Хиросимы и Нагасаки выжил 75991 пострадавший. Из этого числа 41719 человек получили дозы ионизирующего излучения более 0,005 Гр. Лица с меньшими дозами

могут служить в качестве контрольной группы. Эти данные периодически обновляются и пополняются Научным комитетом по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций (НКДАР ООН) и Национальной Академией наук США, Национальным исследовательским совещательным комитетом по биологическим эффектам ионизирующих излучений (БЭИИ). Последние эпидемиологические данные были опубликованы БЭИИ. Результаты обоих исследований свидетельствуют, что люди в меньшей степени чувствительны к генетическим эффектам излучений, чем это было принято считать раньше. Кроме того, не было получено убедительных данных о преждевременном старении, изменении продолжительности жизни у потомков оставшихся в живых жертв атомной бомбардировки в Японии. Однако частота появления твердых опухолей оказалась достоверно выше, чем это было установлено в результате предыдущих исследований. Основное отдаленное последствие облучения у уцелевших жертв атомной бомбардировки - раковые заболевания.

5.3 ОБЩЕСОМАТИЧЕСКИЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ: ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Люди, перенесшие радиационное воздействие в нелетальных дозах, как правило, выздоравливают в течение 1-2 мес. Однако частота мутаций, катаракт и некоторых опухолевых заболеваний у этих лиц выше, чем в контрольных популяциях. Генетические эффекты радиации проявляются в повышении частоты мутаций. Однако, как отмечалось выше, генетические эффекты проявлялись неоднозначно у потомков лиц, оставшихся в живых после атомной бомбардировки. Порог развития лучевой катаракты, по-видимому, составляет несколько сот бэр острого облучения радиацией с низкоуровневой ЛПЭ. Более низкие дозы облучения не приводили к развитию этого тяжелого клинического повреждения хрусталика. Канцерогенные эффекты, составляющие основное ядро в оценке угрозы отдаленных последствий облучения, будут проанализированы в доследующих параграфах.

Способность радиации вызывать опухолевые заболевания была впервые отмечена уже через 10 лет после открытия рентгеновских лучей, когда у медицинских работников, которые обслуживали рентгеновскую аппаратуру, стал регистрироваться повышенный уровень частоты онкологических заболеваний. Обширные экспериментальные и клинические наблюдения, собранные и подытоженные с той поры, показали, что радиация в достаточных количествах может вызвать злокачественные новообразования практически во всех органах. Тип опухоли, которая формируется в результате облучения, зависит от площади облученного участка тела, дозы и качества излучения, а также генетического фона, возраста и пола облучаемого лица. Опухоли кожи и костной ткани чаще всего развиваются после локального облучения. Другие твердые опухоли и лейкозы обычно развиваются после облучения всего тела. Более того, облучение может ускорить проявление скрытых существующих в организме злокачественных новообразований, так же как и привести к увеличению абсолютной частоты возно выявляются серьезные нарушения координации движений в статике и динамике.

Описанные изменения опорно-двигательного аппарата являются причиной ухудшения переносимости всех тех нагрузочных, воздействий, при которых повышенные требования предъявляются именно к мышечной системе.

Таким образом, снятие весовой нагрузки на костно-мышечный аппарат является самостоятельным и весьма важным пусковым механизмом в развитии разнообразных нарушений, обусловленных невесомостью. Некоторые авторы склонны придавать ему даже доминирующее значение, хотя это ведет к недооценке роли других патогенетических механизмов. Гиподинамия является широко распространенным в клинической практике и даже в повседневной жизни аналогом рассмотренного механизма. Поэтому проблемы исследований влияния гиподинамии на организм и борьбы с ее последствиями не ограничиваются областью космической медицины, а приобретают и общеклиническое значение.

ОГРАНИЧЕНИЯ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ВЛИЯНИЯ НЕВЕСОМОСТИ НА ЧЕЛОВЕКА И ДРУГИЕ ДЕЙСТВИЯ НЕВЕСОМОСТИ НА ОРГАНИЗМ

Реакции, обусловленные влиянием невесомости на функцию афферентных систем, и нагрузку костно-мышечной системы, по существу, выражают приспособление организма к новым условиям внешней среды, которое протекает по типу «неупотребления» или «атрофии от бездействия». Длительная невесомость может привести к развитию деструктивных процессов, снижению функциональных возможностей организма и его устойчивости к различным стрессовым воздействиям. В связи с этим целесообразно рассмотреть некоторые конечные реакции, способные ограничить или снизить эффективную роль человека в дальнейшем освоении космического пространства.

Астенизация относится к числу наиболее общих проявлений неблагоприятного влияния невесомости на организм. Отдельные ее признаки (ухудшение работоспособности, быстрая утомляемость) обнаруживаются уже в процессе самого полета. Однако в наиболее яркой форме явления астенизации сказываются при возвращении на Землю. Снижение веса тела, мышечной массы, минеральной насыщенности костей, уменьшение силы, выносливости, физической работоспособности ограничивают переносимость стрессовых воздействий, характерных для этого периода перегрузок и действия земной силы тяжести. В частности, после 18-суточного полета ощущение веса воспринималось членами экипажа как 2-2,5-кратная перегрузка; возникали общая слабость, головокружение, повышенная утомляемость. Американские космонавты отмечали, что после полета даже одежда казалась им значительно тяжелее.

Исследования при лабораторной имитации невесомости, которые воспроизводят у испытуемых симптомы общей физической детренированности, достаточно ясно указывают и на возможность астенизации психиче-

новлено признаков деминерализации костей.

Имеются сообщения о том, что потеря кальция с мочой за двухнедельный период имитации невесомости составляла 2 г, и что, следовательно, даже 6 – 12-месячное пребывание в невесомости будет совершенно безопасным для человека. В противоположность этой точке зрения существуют предположения, что потеря кальция, обладающего высокой физиологической активностью, может привести к ряду функциональных расстройств, в частности со стороны автоматизма сердечной мышцы, проведения возбуждения, свертываемости крови и т. д. Нельзя не учитывать также возможных изменений механической прочности скелета вследствие его декальцинации. На основе сравнительно-физиологических исследований было сделано заключение, что снижение весовой нагрузки на костно-опорный аппарат уменьшает эритропоэтическую функцию костного мозга.

Недогрузка мышечной системы, которая даже при кратковременной невесомости выражается отчетливым снижением биоэлектрической активности мышц шеи, спины, бедра, приводит к развитию ряда специфических нарушений. В опытах с гиподинамией и после окончания космических полетов выявляется уменьшение объема мышц, особенно нижних конечностей. Аналитические исследования, проведенные на животных, позволяют квалифицировать это явление как мышечную атрофию. Одновременно перестраивается белковый обмен, возникает отрицательный азотистый баланс. Снижаются ресинтез белка и скорость включения в него аминокислот. В послеполетном периоде у космонавтов отмечены повышенное содержание мочевины в крови, усиленное выведение креатинина с мочой и уменьшение общего содержания калия в организме, что также свидетельствует о распаде мышечных белков.

Не исключено, что именно развитие деструктивных процессов служит причиной увеличения РОЭ, возникновения нейтрофильного лейкоцитоза с лимфо- и эозинопенией, которые довольно часто регистрируются у космонавтов после приземления. С другой стороны, эти сдвиги могут быть обусловлены стресс-реакцией в послеполетном периоде. В пользу такого предположения свидетельствует увеличение экскреции кортикостероидов с мочой и повышение их концентрации в сыворотке крови после полета, а также гипергликемия. Наоборот, в невесомости и при проведении модельных экспериментов обнаруживается снижение активности кортикоадреналовой системы.

Характер двигательной активности и питания в условиях невесомости влияет также и на состояние липоидного обмена, о чем можно судить по увеличению содержания в крови холестерина, лецитина и неэстерифицированных жирных кислот. Уменьшение количества холестерина у американских космонавтов, вероятно, было связано с особенностями рациона и относительно меньшим потреблением пищи.

Невесомость, а также экспериментальная гиподинамия приводят к снижению тонуса мускулатуры, мышечной силы, выносливости и физической работоспособности. В первые дни восстановительного периода закономер-

никновения определенных типов названных новообразований.

Частота встречаемости миелолейкозов и рака молочной железы, легких, щитовидной железы и толстого кишечника, как известно, возрастает после воздействия высоких доз и с увеличением мощности дозы радиации с низким уровнем ЛПЭ. Латентный период, промежуток времени между воздействием радиации и возникновением онкологического заболевания, варьирует в диапазоне приблизительно от 5 лет для лейкозов до более чем 27 лет для злокачественных новообразований глотки и гортани, причем характеризуется также выраженными межиндивидуальными различиями среди заболевших. Средняя продолжительность латентного периода возникновения лейкозов среди уцелевших жертв атомной бомбардировки составила 14 лет (диапазон времени задержки от 5 до 20 лет). Среднее значение латентного периода для всех других разновидностей злокачественного новообразования составляет примерно 25 лет. Суммарный риск возникновения лейкозов, спровоцированных облучением среди уцелевших жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки, составляет 46 смертей на 1000000 человек, подвергшихся радиационному воздействию в дозе 1 бэр (0,01 Зв). Для сравнения отметим, что общий уровень онкологической заболеваемости оценивается в 70 – 165 смертей на 1.000.000 человек, облученных дозой 1 бэр в год. Отсутствие достоверных данных не позволяет оценить эффект мощности дозы облучения на возникновение рака у людей.

Многие источники излучения с высокими уровнями ЛПЭ, формирующие радиационную обстановку в космосе (например, протоны и тяжелые ионы) обладают кинетической энергией, достаточной для того, чтобы преодолеть обычную радиационную защиту космического корабля и тело человека. Получены очень скудные данные в отношении ионизирующих излучений, обусловленных потоком тяжелых ионов. Практически полностью отсутствуют данные радиоэпидемиологической оценки риска ракового заболевания людей, подвергшихся воздействию протонов и тяжелых частиц с высоким уровнем ЛПЭ. Биологические эффекты таких частиц в настоящее время экстраполируются на основе экспериментальных модельных данных, полученных на животных (например, желез Гардера мышей, кожных покровов крыс, молочных желез крыс) и культур клеток млекопитающих. В целом радиация с высоким уровнем ЛПЭ более эффективно, чем фотоны, вызывает возникновение опухолей при малых дозах облучения. Влияние эффекта малой мощности дозы излучения с высокими уровнями ЛПЭ на образование опухолей характеризуется сложными зависимостями и может иметь специфический характер, связанный с облучаемыми тканями. Однако мощность дозы радиации с высокой ЛПЭ, по-видимому, оказывает гораздо меньший эффект на возникновение злокачественных новообразований, чем мощность дозы γ-лучей. Понимание физических характеристик ионизирующего излучения и биологической природы тканей необходимы для того, чтобы адекватно интерпретировать эффекты дробного и растянутого во времени многократного воздействия радиации с низким и высоким уровнями ЛПЭ.

ВЛИЯНИЕ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1 БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ИЗЛУЧЕНИЙ)

Проведение эпидемиологических наблюдений затруднено рядом моментов: порой, отсутствием качественной дозиметрии и сложностью вычленения того или иного фактора внешней, в том числе и космической среды как причины заболевания; отдаленностью последствий таких заболеваний, как рак и генетические эффекты, что затрудняет установление причинной связи; многофакторностью воздействия; психологическими аспектами отношения общества к тем или иным техногенным факторам среды (возникновение массовых фобий могут исказить данные эпидемиологических обследований и свести на нет усилия гигиенистов) и т.д.

Клинические и эпидемиологические обследования людей, контактирующих с ЭМП, чрезвычайно сложны и подчас не лишены субъективизма. Более того, например, область нейрофизиологических наблюдений иногда порождает неоправданный ажиотаж среди неспециалистов, необоснованную тревогу и гиперболизацию (радиофобию) "вредности" ЭМП. Необходимо разумное соотношение полученных эпидемиологических фактов с реально существующими уровнями, создаваемыми источниками ЭМП, и экспериментальными данными.

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные данные свидетельствуют, что при кратковременном воздействии микроволн нейрофизиологические реакции у животных четко коррелируют с тепловыми эффектами. Поведенческие реакции, которые предшествуют явным нейрофизиологическим проявлениям, возникают при достаточно высоких, почти летальных для животных уровнях воздействия (более 4 Вт/кг). Неврологические реакции при малых значениях плотности потока энергии (ППЭ) - менее 1 мВт/см^2 (менее 1 Вт/кг для мышей и крыс) - нельзя признать абсолютно достоверными. Так, параллельные исследования в США и СССР показало, что поведенческие реакции у крыс, облученных энергией с плотностью потока 10 мВт/см^2 (2,45 1Гц) в течение 7 ч, не нарушались. Лишь американские специалисты отметили снижение активности Na–K–АТФаз в центральной нервной системе (ЦНС). На сегодняшний день получен большой банк данных по психофизиологическим эффектам у животных, хотя многие моменты остаются неясными, особенно при длительном, хроническом облучении.

Особый интерес представляют клинические наблюдения за людьми, подвергшимися облучению потока с большой плотностью. Вильямс и Уэбб описали случай переоблучения (ППЭ достигало 16 Вт/см^2) двух военных техников. Субъективно во время облучения один из них отметил ощущение

РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА, СВЯЗАННЫЕ С ОТСУТСТВИЕМ ВЕСОВОЙ НАГРУЗКИ НА КОСТНО-МЫШЕЧНУЮ СИСТЕМУ

Снятие весовой нагрузки на опорно-двигательный аппарат в условиях невесомости служит причиной возникновения ряда системных сдвигов, патофизиологической основой которых является «неупотребление».

Отсутствие необходимости в активном противодействии гравитационным силам и в поддержании позы, уменьшение мышечных затрат на перемещение тела и отдельных его частей в пространстве, уже по чисто теоретическим соображениям, должно приводить к снижению энергообмена и уменьшению требований к системе транспорта кислорода.

Недогрузка мышечной системы и опорных структур, существенная перестройка двигательной координации в безопорном состоянии, кроме этого, создают предпосылки для изменении метаболизма, нейрогуморальных механизмов регуляции соматических и вегетативных функций и развития так называемого «синдрома гиподинамии».

В длительных наземных экспериментах с контролируемым ограничением двигательной активности, ее пространственных (гипокинезия) и силовых (гиподинамия) компонентов систематически наблюдается снижение основного обмена в пределах от 3 – 7 до 20— 22%. Косвенное определение величины газообмена в условиях космического полета, произведенное советскими и американскими авторами по результатам химического анализа регенерационного вещества, показало некоторое снижение энергозатрат до 83,5 – 97,2 ккал/час. Единичные прямые измерения величины газообмена во время космических полетов пока еще не позволяют сделать окончательные выводы, поскольку отмечено как увеличение» так и уменьшение потребления кислорода.

Снижение энергетического метаболизма является одной из причин уменьшения потребности в пище. Такие наблюдения проведены, в частности, при исследованиях с применением водной иммерсии и гиподинамии. Потребление пищи у американских космонавтов, совершавших полеты по программе «Джемини», колебалось довольно широко (от 1000 до 2500 ккал/сутки), а при полетах по программе «Аполлон» составляло в среднем 1680 ккал/сутки, т. е. было пониженным.

Деминерализация костной ткани, которая неоднократно регистрировалась в наземных экспериментах с гиподинамией и после окончания реальных космических полетов, по-видимому, является следствием снижения весовой нагрузки на скелет, поскольку имитация этой нагрузки уменьшает деминерализацию.

Снижение оптической плотности пяточной кости после полетов в ряде случаев достигало 15 – 20% и несколько превышало величины, зарегистрированные при сопоставимых сроках пребывания на постельном режиме. У экипажа «Аполлон-14» методом фотонной абсорбциометрии не было уста-

Вестибулярная функция разнообразными путями связана с функционированием других систем организма. Известно, что длительное обездвиживание и пребывание в невесомости оказывают глубокое воздействие на кровообращение. В условиях невесомости иногда отмечается преобладание влияния блуждающего нерва, которое выражается в брадикардии и желудочно-кишечных расстройствах, что может вызвать тошноту и ощущение дискомфорта; эти явления по ошибке можно легко принять за вегетативные проявления заболевания вестибулярного происхождения. Такие симптомы вполне могут быть вызваны и недостаточностью со стороны сердечно-сосудистой системы в результате того, что при неадекватном восприятии инерционных и динамических внешних условии возникает ощущение угрозы, потребность в мышечной работе и происходит отвлечение циркулирующей крови к мышцам. С увеличением длительности космических полетов и действия невесомости, влияющей на афферентное звено нервной системы, сдвиги со стороны рецепторов системы кровообращения и нервно-мышечного аппарата могут существенно изменить внутреннее состояние организма. В определенных условиях это вызовет функциональные нарушения. Происхождение этих нарушений, вероятно, можно проследить посредством возврата к первичным источникам или к синергическому взаимодействию последних.

К первичным источникам можно отнести: уменьшение активности нервно-гуморальных и нервно-рефлекторных механизмов регуляции в результате сенсорной депривации, нарушение нейро-физиологических реакций, обусловленное неадекватностью или необычностью сенсорного входа, а также недостаточность или срыв нейро-физиологических функций в результате перегрузки или конфликта между отдельными системами.

В связи с действием длительной невесомости возникают два основных вопроса: 1) до какой степени будут изменяться чувственное восприятие и двигательные реакции и 2) будут ли изменения функционального состояния организма настолько значительными, что последующая реадаптация к условиям нормальной силы тяжести окажется трудной и даже опасной? Чтобы решить эту проблему, необходимо, во-первых, более полно осмыслить сложные процессы нейрофизиологической адаптации и, во-вторых, определить компенсаторные возможности организма. В настоящее время имеется достаточно данных, чтобы предсказать реакции организма млекопитающих на пребывание в невесомости в течение нескольких недель или месяцев. Однако эти данные не дают возможности сделать определенные выводы относительно предотвращения нарушений со стороны афферентного звена нервной системы и связанных с этим иллюзорных ощущений и приступов болезни движения и, наконец, относительно желательности полной адаптации человека к состоянию невесомости.

тепла в области шеи и головы, схожее с прогревом под действием солнечных лучей. Пострадавшие ощущали тошноту, чувство головокружения и страха, плохой аппетит, повышенную светочувствительность, у них повысилось артериальное давление. Со стороны органов зрения нарушений не было.

Имеются наблюдения за персоналом, работающим в ЭМП ниже 1 мВт/см. Отмечено достоверное усиление патологической компоненты тревожного поведения и депрессивного состояния, жалобы на потерю памяти, ухудшение самочувствия, снижение порога восприятия.

Однако шведские специалисты провели психофизиологические и клинические наблюдения за операторами военных радиолокационных станций и не наблюдали каких-либо нарушений в состоянии здоровья.

При облучении прямоугольными импульсами МВ-излучения от 200 МГц до 3 ГГц у человека возникают слуховые ощущения. В зависимости от длительности и частоты повторения импульсов воздействующего излучения звук воспринимается как щелчки или чириканье. Импульсная электромагнитная энергия вызывает термоупругую волну давления (пороговая поглощенная энергия составляет в импульсе 16 мДж/кг) в тканях мозга, которая возбуждает рецепторы внутреннего уха за счет костной проводимости. Эти исследования интересны тем, что биологический эффект обнаруживается у человека и при усредненной ППЭ ниже 1 мВт/см^2 (при пиковой плотности мощности 300 мВт/см^2). Гигиеническая значимость этого явления еще не совсем ясна, хотя при определенных параметрах воздействия у человека могут возникнуть реакции, подобные тем, которые бывают на акустический шум и, возможно, на инфразвук.

Джорджевич и соавт. сообщили о результатах 10-летнего наблюдения за 500 операторами радиолокационных станций, облучавшихся ППЭ не более 5 мВт/см^2 в течение 2 ч в день. За 15 лет наблюдений число случаев заболеваний нейровегетативной дистонией и неврозом у персонала радиолокационных станций не увеличилось. Авторы подвергают сомнению корректность термина "радиоволновая болезнь". Американские исследователи отмечали у операторов, подвергшихся случайному переоблучению при ППЭ, превышающей стандарты США, изменения личностных характеристик вплоть до явной симуляции неврологических симптомов. Подчеркивается, что у таких пациентов может длительно сохраняться субъективная переоценка нанесенного электромагнитным фактором вреда.

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И ИММУННЫЕ РЕАКЦИИ

Ряд исследователей делают вывод, что хроническое действие МВ при ППЭ менее 1 мВт/см^2 могут вызвать различные изменения в системе крови, как правило, неустойчивые: чаще лейкопению, реже лейкоцитоз и увеличение количества лимфоцитов. Иногда отмечают моноцитоз, патологическую зернистость нейтрофилов, ретикулоцитоз и тромбоцитопению. Однако более детальный анализ показал, что изменения имеют недостоверный

характер даже при кратковременном воздействии "до ощущения тепла", и свойственны многим другим неблагоприятным факторам условий труда. Сообщения югославских исследователей свидетельствуют об отсутствии существенных изменений в крови у персонала, работавшего в течение 15 лет на радиолокаторах.

Эпидемиологический анализ заболеваемости (в том числе и кроветворной системы) через 24 года после прекращения работы военными операторами, техниками радиолокационных станций, радиотехниками по контролю другого радиоэлектронного оборудования позволили Сильверман и другие сделать вывод о том, что смертность от болезней не превышала 0,017%, По данным ВОЗ, это не превышает среднестатистические значения заболеваемости для мужчин тех же возрастов.

Девятнадцатилетние наблюдения показали, что смертность от раковых заболеваний среди населения в районах дислокации военно-воздушных баз достоверно не отличалась от таковой в районах, где баз не было. Поэтому нахождение стойких изменений в крови в условиях реально существующих на сегодняшний день уровней ЭМП у профессионалов и особенно у населения представляется весьма проблематичным.

Проанализировав некоторые работы по влиянию микроволн на иммунные реакции, можно сделать следующие обобщения: иммунологические реакции проявляются при удельной мощности потока 0,4 Вт/кг и выше (самые четкие и постоянные изменения связаны с температурной реакцией); качественные особенности иммунологических реакций (например, расселение лимфоцитов) во многом напоминают ответ на стероидные гормоны; продолжающееся воздействие ЭМИ приводит к физиологической адаптации или ослаблению иммунологических реакций; эффекты, наблюдаемые in vivo, невозможно повторить при облучении лимфоцитов (в культуре) in vitro: иммунные ответы на микроволны в своей основе напоминают реакции на тепловой фактор, хотя обладают рядом специфических особенностей, связанных со скоростью накопления тепла в организме и его распределением.

Учитывая возможные видовые особенности иммунологических реакций человека в ответ на микроволновое облучение, а также то, что иммунная система обладает большой надежностью и гибкостью, едва ли имеющиеся в литературе сведения могут серьезно настораживать нас с гигиенической точки зрения.

ПОРАЖЕНИЕ ГЛАЗ: ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАТАРАКТЫ

Самым хорошо экспериментально изученным феноменом поражения глаз ЭМП является катаракта. Хрусталик чувствителен к ионизирующему и ультрафиолетовому излучениям. Перенос результатов экспериментов с животных на человека при радиочастотном облучении осложняется различными размерами головы животных и человека и заметными различиями в относительном расположении глаз. Частотная зависимость распределения микроволнового нагрева глаза связана с резонансными эффектами не толь-

ТАБЛИЦА 8 – ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ СИМПТОМЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ У КОСМОНАВТОВ КОРАБЛЕЙ «АПОЛЛОН».

Полет	Космонавт	Возникновение болезни движения в анамнезе			Симптомы иллюзорных ощущений и болезни движения в космическом полете			
		на наземных, воздушных и морских средствах передвижения	при полете по параболе невесомости	при покидании капсулы на море и тренировках по покиданию	Иллюзия переворота	неприятные ощущения в желудке	тошнота	рвота
7	A	X						
	B	X	X	X				
	C	X		X	X			
8	D	X				X	X	X
	E	X	X	X		X	X	
	F	X	X			X		
9	G							
	H			X	X	X		
	1	X	X	X		X	X	X
10	J	X						
	K	X						
	L	X				X		
11	M	X	X	X				
	N	X	X	X				
	O	X	X					
12	P	X						
	Q			X				
	R							
13	S(E)	X	X	X				
	T					X	X	X
	U					X		
14	V	X						
	W	X						
	X							
15	Y(H)			X				
	Z		X		X	X		
	AA							
16	BB(X)	X						
	CC	X	X					
	DD	X	X					
17	EE(L)	X	X			X		
	FF	X	X			X		
	GG	X	X					

ких реакций, как тошнота и рвота, определяется функцией лабиринта. Реакции на ускорение Кориолиса обычно возникают у людей с нормальным лабиринтом и не возникают у лиц с его дефектами. Иллюзия «переворота» также проявляется у людей с нормально функционирующим лабиринтом.

В таблице 8 описаны иллюзорные ощущения и симптомы болезни движения, возникавшие у космонавтов космических кораблей «Аполлон».

Из таблицы видно, что почти у всех космонавтов, летавших на кораблях «Аполлон», в анамнезе отмечены случаи болезни движения, возникавшие на земных, воздушных и морских средствах передвижения. Четыре человека никогда не страдали болезнью движения, и только у троих из 27 в космосе была рвота (не обязательно в результате действия невесомости). Иначе говоря, зависимость между наличием болезни движения в анамнезе и появлением симптомов этой болезни в космическом полете довольно неясна. Неприятные ощущения в равной мере испытывали и советские космонавты. Возможно, это было вызвано тем, что при отсутствии гравитации необычные афферентные сигналы создают ложное ощущение качания и падения, а вслед за этим ощущения дискомфорта в желудке, головокружение и тошноту. Гидромеханические процессы в полукружных каналах также могут способствовать возникновению пространственных иллюзий, особенно ощущения вращения и перевернутого положения тела.

ко глаза, но и головы. При частоте менее 1,5 ГГц размеры глаза и орбиты недостаточны для концентрации поля, поэтому в этом диапазоне частот эффект будет определяться резонансом всей головы. На частотах же выше 1,5 ГГц возможны резонансные тепловые пики в глазу. Поэтому при оценке возможного электромагнитного повреждения у человека необходимо учитывать частоту излучения. Более того, следует принимать во внимание явление рефракции. В связи с этим предложена модель глаза для описания рефракции микроволн (1-35 ГГц) в открытом пространстве.

Достоверное обнаружение катаракты в экспериментах на животных, естественно, побудило профпатологов искать ее у человека, работающего с радиочастотными источниками. К сожалению, опубликованные сообщения часто не содержат должного критического анализа электромагнитной ситуации, возрастных особенностей, дозиметрических и частотных характеристик. При эпидемиологическом обследовании на наличие катаракты необходима полная уверенность, что изучаемая профессиональная категория лиц действительно подвергается микроволновому облучению.

Эпидемиологические наблюдения свидетельствуют, что если катаракта и возникает у профессионалов, то только при ППЭ 90 мВт/см^2 и более. По-видимому, тепловое воздействие может явиться основным патогенетическим механизмом возникновения электромагнитной катаракты и у человека. Анализ клинических проявлений катаракты (или какого-либо другого поражения органа зрения) у более чем 4000 профессионалов, работающих с микроволновыми установками при ППЭ ниже 10 мВт/см^2 дает отрицательный ответ. Однако это ни в коей мере не снимает вопроса о возможности поражения глаз человека при более высоких уровнях воздействия, так как в эксперименте катаракту можно получить абсолютно достоверно.

Доусон и Шваб, рассматривая эпидемиологию катаракты, отводят ЭМИ радиочастот пятое место среди факторов риска, после диабета, солнечного ультрафиолетового излучения, метаболических нарушений (галактоземии, гипотиреоза, гипер-кальцимии) и ионизирующей радиации.

СТАРЕНИЕ, ТЕРАТОГЕНЕЗ, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Влияния того или иного гигиенического фактора на эти феномены всегда находятся под пристальным вниманием общественности. Однако, с медико-биологической точки зрения, они всегда очень сложны для трактовки вредности ЭМИ и требует от исследователя большой осторожности, особенно при слабых воздействиях, сравнимых с естественными шумами. Три показателя могут считаться бесспорными при оценке старения: полная продолжительность жизни, вес и возникновение злокачественных новообразований.

В проведенных исследованиях на животных при облучении до 100 мВт/см^2 не было обнаружено достоверного уменьшения продолжительности жизни. Не было статистически достоверного увеличения опухолей даже на фоне предварительного γ-облучения. Более того, в этих эксперимен-

тах микроволновое облучение вызывает даже незначительное снижение частоты образования опухолей. Исследование тератогенеза чрезвычайно важно для оценки вредных уровней ЭМИ у женщин. В этих исследованиях особенно нужны объективность и корректность исследований и особая осторожность переноса экспериментальных данных на человека. Не должно быть такой ситуации, когда абсолютно непроверенные и не подтвержденные данные выносятся на широкое обсуждение прессой: речь идет о том, что у лиц, подвергшихся радиочастотному облучению, могут рождаться монголоидные дети. Джастенсен подверг суровой и объективной критике этот факт и отверг его как не соответствующий истине.

Наблюдение за беременными женщинами, работающими с МВ установками, не содержат убедительных доказательств тератогенного и эмбриотоксического эффекта. Женщины, подвергшиеся сверхчастотному нагреву как обезболивающему средству во время родов, рожали нормальных детей. Однако женщинам во время беременности следует избегать радиочастотного нагрева плода, поскольку у животных при удельной плотности мощности более 20 Вт/кг могут обнаруживаться тератогенные эффекты.

При анализе большого количество работ, была получена практически логарифмическая зависимость повреждения сперматогенного эпителия у животных в зависимости от интенсивности микроволнового облучения и времени воздействия. Данные о мутагенном эффекте противоречивы. Рамайя и другие) на грызунах показали, что ни один из использованных генетических тестов не выявил мутагенного действия микроволн. В большинстве случаев результаты по влиянию этого фактора на рост, развитие и мутагенные эффекты были отрицательными.

6.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СВЕРХНИЗКИХ ЧАСТОТ

Общество давно и активно использует ЭМП от низких до сверхнизких частот. Ряд наблюдений над персоналом, работающим с низкочастотными электрическими и магнитными полями, и населением, проживающим вблизи линий электропередач, свидетельствовали о неблагоприятном влиянии этих физических факторов обитания. Это побудило к широкомасштабным исследованиям на животных и эпидемиологическим наблюдениям.

НЕЙТРОЭНДОКРИННАЯ И СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМЫ

Исследования, проводившиеся в этой области, во многом противоречивы. Оценки биологических эффектов ЭП и МП сверхнизких частот бывают крайне полярными, что порождает неадекватную реакцию средств массовой информации.

Результаты исследований показали, чтобы вызвать потенциалы действия в нервной клетке наведенные токи должны быть порядка 10-20 мА/м^2. В случае более длинных нервных клеток плотности токов могут быть меньше. Пороговая величина плотности тока, вызывающая потенциалы

Несмотря на то, что длительная невесомость и уменьшение нагрузки на костно-мышечную систему могут оказывать астенизирующее влияние, нет необходимости рассматривать это в качестве преграды для длительных космических полетов, которые планируются в будущем. Во-первых, для сохранения здоровья и неповрежденного состояния организма может оказаться эффективным использование ряда защитных мероприятий, таких, как физические упражнения в полете, предполетная тренировка, специальная диета, лекарственные препараты, искусственная гравитация и другие средства. Во-вторых, некоторые признаки недостаточности, обнаруженные после космического полета, могут быть вызваны не столько влиянием самой невесомости, сколько другими факторами и стрессовыми воздействиями, связанными со специфическими условиями этих полетов. Хотя скорость и пределы обусловленных невесомостью изменений в организме все еще не определены, оказалось, что человек может приспособиться к этим условиям ценой некоторых физиологических потерь.

РЕАКЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СО СТОРОНЫ АФФЕРЕНТНОГО ЗВЕНА НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Хотя в экспериментах на животных и наблюдениях у человека, проведенных во время параболических и космических полетов, были обнаружены некоторые нарушения в организме под влиянием невесомости, большинство таких процессов, как психомоторная деятельность, двигательная активность, а также функции центральной нервной системы, взаимоотношения между членами экипажа и их профессиональные навыки остались неизмененными.

Подобные ощущения были описаны и космонавтами применительно к условиям, когда они находились во взвешенном состоянии внутри или вне кабины космического корабля. Имеются также данные по разнообразным видам деятельности внутри и вне космического корабля при невесомости, а также ее имитации, например по надеванию одежды, использованию поручней, переключателей и ручного инструмента, по выполнению работ на орбите и на Луне, по технике и способам перемещения, по динамике самопроизвольного вращения, методам ограничения скорости и торможения, а также по средствам передвижения в космосе и на Луне. Хотя функция вестибулярного анализатора представляет самостоятельный интерес, следует рассмотреть также механизмы церебрального контроля и значение противодействующих нервных влияний. Многие исследователи показали, что при переходе от земной силы тяжести к состоянию невесомости у некоторых людей повышается подверженность болезни движения. Оказалось, что неблагоприятные реакции в орбитальных полетах могут быть вызваны как отсутствием гравитационной стимуляции отолитов, так и возможным раздражением полукружных каналов во время движений головы и тела. В невесомости отолитовые органы реагируют на изменения ускорения. После начального повышения активности в переходный период они адаптируются к нулевому ускорению и их биоэлектрическая активность понижается. Наблюдения во время параболических полетов показали, что проявление та-

полетов процесс реадаптации к нормальной гравитации протекает весьма напряженно. Общее физическое состояние ухудшается, работоспособность снижается до уровня, наблюдавшегося после пребывания на постельном режиме соответствующей длительности, либо в еще большей степени.

Увеличение легочной вентиляции и потребления кислорода в послеполетном периоде тесно связаны с отмеченными проявлениями детренированности. Вскоре после приземления даже в сидячем положении возникало существенное учащение сердечных сокращений, которое не соответствовало реальной величине нагрузки. Уменьшение потребления кислорода было пропорциональным снижению работоспособности. Однако состояние сердечно-сосудистой системы и легочная функция изменяются не всегда однозначно и необходимы более систематические исследования в этой области. К примеру, установление различий в состоянии сердечно-сосудистой системы у членов экипажа, побывавших на поверхности Луны, и членов экипажа находившихся в это время на лунной орбите, внесло некоторую неопределенность в вопрос о влиянии невесомости и субгравитации на реакции этой системы. Подобная неопределенность должна быть разрешена дальнейшими исследованиями.

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА ОБМЕН ВЕЩЕСТВ

Невесомость влияет на баланс жидкости, обмен белков, жиров, углеводов, минеральный обмен, а также на некоторые эндокринные функции. Почти у всех космонавтов в полете происходило уменьшение массы тела, однако, после полета вес в большинстве случаев, хотя и не всегда, восстанавливался в течение нескольких дней. Основная часть дефицита веса была связана с потерями воды (в том числе и внутриклеточной жидкости), терялись также электролиты, в частности калий, натрий и хлориды. У американских космонавтов потерянный калий в короткие сроки после окончания полета реабсорбировался, однако в этот период имелись и случаи дефицита общего калия в организме, поскольку возрастание уровней адреналина, ренина, альдостерона стимулировало калиевый диурез. Умеренное снижение эритроцитарной массы, которое было обнаружено после полетов по программе «Аполлон», вероятно, было связано с увеличенным содержанием кислорода в атмосфере космических кораблей.

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА КОСТНО-МЫШЕЧНУЮ СИСТЕМУ

Ослабление действия внешних сил на структуры, несущие весовую нагрузку, приводит к потере кальция и других минеральных веществ, важных для поддержания целостности костей. После длительного воздействия невесомости обнаруживались явления легкой мышечной атрофии и некоторая слабость мускулатуры конечностей. Сила и тонус мышц, а также периметры нижних конечностей уменьшались.

Советскими и американскими учеными были обнаружены после воздействия невесомости сдвиги белкового обмена у животных и человека.

действия в клетке, составляет 1 мА/м^2. Проведенные расчеты свидетельствуют, что при внешнем поле 10 кВ/м (50-60 Гц) наведенная в теле человека плотность тока намного меньше даже этой величины. Так, у заземленного человека она в области головы составила 0,6 мА/м^2, шеи 5,5 мА/м^2 в паховой области и ступеней соответственно 2,5 и 20 мА/м^2.

В механизме взаимодействия ЭП с нервной тканью не исключается роль кальциевого механизма и кооперативных эффектов, как это имеет место при действии микроволн, модулированных низкой частотой. Как показали исследования, уровень внеклеточных электрических полей значительно ниже мембранных. Это может быть причиной повышенной чувствительности некоторых тканей к внешним низкочастотным ЭП. Внеклеточное поле, провоцируемое внешним ЭП, может считаться безопасным, если его величина не превышает уровень ЭП живых тканей. На основе анализа ЭКГ и ЭЭГ определена плотность тока в нервной ткани, равная 1 мА/м^2.

Приведенные выше данные по наведенным токам в теле человека, находящегося в ЭП 10 кВ/м, намного выше этой величины. Между тем, культура мозговой ткани in vitro оказалась чувствительной к ЭП. Например, выход кальция из клеток при частоте 16 Гц наблюдали при наведенном токе в мозге, равном 1 нА/м^2 (внешнее поле 3 В/м). Эти данные, хотя и представляют научный интерес, мало дают для практических задач радиационной безопасности. Попытки найти приемлемые объяснения столь высокой чувствительности "кальциевого эффекта" при определенных частотах ЭМП оказались пока недостаточно убедительными.

Изменения катехоламинов под действием ЭП столь не постоянны и разнообразны, что сделать определенные выводы сложно. Ряд последних исследований свидетельствует, что уровень кортикостероидов в крови у собак не менялся даже при напряженности поля 100 кВ/м. Анализ (обзор 400 работ), проведенный "Комитетом по биосферным эффектам" Национальной академии наук США, не дает оснований предполагать наличие изменений нейрофизиологических эффектов при действии слабых ЭП и МП сверхнизкой частоты. И в то же время польские исследователи на добровольцах показали, что при напряженности ЭП (50 Гц) 10 кВ/м реакция человека на звуковой раздражитель удлинялась.

Исследования, проведенные в Швеции, выявили морфологические изменения в мозжечке при 14 кВ/м. Шандала и Думанский при напряженности ЭП в 16 кВ/м отметили разнообразные субъективные жалобы.

Ниже приводятся сведения, представляющие несомненный интерес для космонавтики, по влиянию ЭП и МП сверхнизкой частоты на биоритмы. Найдено достоверное ночное снижение мелатонина и ацетилтрансферазы у крыс после 3-недельного пребывания в ЭП (1,5 и 40 кВ/м). Это свидетельствует о нарушении функции эпифиза. Зальцман на древесных обезьянах показал, что ЭМ и МП сверхнизкой частоты напряженностью 39 кВ/м и 199 мкТл (80 А/м) влияют на биологические ритмы этих животных. Еще в 1974 г. Уивер наблюдал влияние ЭП сверхнизкой частоты низкой напряженно-

сти (2 В/м, 10 Гц) на циркадные ритмы у человека. В этой связи представляют интерес данные по восприятию человеком ЭП промышленной частоты. Так, около 4- 5% испытуемых были способны воспринимать (определять) ЭП напряженностью 0,35 – 1 кВ/м. Это отчасти связано с феноменом пилоэрекции, а для МП и с феноменом фосфена, максимальный эффект которого достигается при частоте 20 Гц (порог восприятия 5 мТл).

Анализируя большое количество работ, Бриджес и Прич, Андерсон и Каун приходят к заключению, что данные о функциональном состоянии сердечнососудистой системы во время или после воздействия ЭП сверхнизкой частоты не дают достаточных оснований для вывода о том, что напряженность поля до 100 кВ/м способна неблагоприятно влиять на работу сердца и сосудов; что касается МП сверхнизкой частоты (5 Гц-1 кГц), то на людях величина интенсивности поля 0,1 Тл (80 кА/м) не оказывала влияния на ЭКГ, ЭЭГ, кровяное давление и температуру тела. Увеличение МП до 2,4 Тл (1,9 мА/м) вызывает даже стимуляцию сердечной деятельности.

Эпидемиологические наблюдения над людьми, постоянно в течение 20 лет находившимися в ЭП (380 кВ/м), свидетельствуют об отсутствии нейроэндокринных, биохимических и гематологических сдвигов. Этот контингент был дополнительно подвергнут в лабораторных условиях воздействию ЭП в 20 кВ/м (50 Гц) с целью оценки возможной повышенной чувствительности. Результаты были отрицательными. Более того, на добровольцах испытали влияние контактного электрического тока, которое соответствовало величине ЭП 36 кВ/м в течение 5,5 ч. Такое воздействие также не оказывало влияния на настроение, память, внимание и мышление.

Канадские и британские исследователи провели наиболее тщательные эпидемиологические наблюдения за лицами, контактирующими с ЭП (3-30 кВ/м). Они не обнаружили нарушений функций со стороны ЦНС (ЭЭГ, психологические тесты), сердечно-сосудистой системы, не изменялось содержание гормонов в крови: тироидина, кортизола, фоликулостимулирующего гормона и тестостерона

КРОВЬ. ИММУННЫЕ РЕАКЦИИ

Результаты гематологических исследований неоднозначны и непостоянны. Анализ большего числа публикаций позволил Бриджесу и Причу сделать следующие выводы: накопленные данные недостаточно убедительны и не могут служить основанием для заключения, что пребывание в ЭМП сверхнизкой частоты вызывает стрессовую реакцию или другие биологические изменения в организме человека или подопытных животных. Случайные находки положительных или отрицательных сдвигов гематологических показателей подлежат дальнейшей тщательной проверке. В большинстве экспериментальных работ (опыты на мышах, крысах и морских свинках) не было выявлено влияния на иммунологическую систему ЭП до 50 кВ/м. Однако несомненный интерес представляют исследования по влиянию митогенов и антигенов на иммунные реакции человека в условиях воздействия ЭП сверхнизкой частоты.

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА НЕРВНУЮ СИСТЕМУ

Переход от 1 G к состоянию нулевого G и первоначальный период пребывания в невесомости часто связаны с нарушениями пространственной ориентировки, иллюзорными ощущениями и симптомами болезни движения, такими, как головокружение, тошнота и рвота. Симптомы болезни движения возникали за счет нарушений функционального взаимодействия анализаторов. Зрительная, слуховая, тактильная, обонятельная и вкусовая чувствительность обычно была нормальной. Психические нарушения и галлюцинации отсутствовали. Сенсомоторные и указательные пробы, вестибулярные исследования, результаты фотографических исследований сетчатки показали отсутствие значительных изменений по сравнению с предполетными данными. Однако влияние невесомости на нервно-мышечную и сенсомоторную координацию проявлялось также в изменениях рефлекторной возбудимости, субъективного восприятия нагрузки, а также в некоторой недостаточности двигательной функции. В целом, со стороны функции центральной нервной системы, двигательной и нервно-мышечной координации, суточной периодики организма и нервно-психических процессов у космонавтов не было обнаружено в полете существенных нарушений. Перемещения фактически облегчались в условиях невесомости. Не было ни одного случая нарушения работоспособности, связанного с дисфункцией вестибулярного органа. Признаки нервно-эмоционального напряжения и неприятное состояние утомления, отмечавшиеся некоторыми космонавтами, могли не иметь прямой связи с невесомостью и определяться другими стрессорами космического полета. Вообще говоря, они не отражались на исходе космических полетов. В частности, это было очевидно по результатам полета «Аполлона-13», который был успешно завершен экипажем, несмотря на исключительный эмоциональный стресс.

ВЛИЯНИЕ НЕВЕСОМОСТИ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ

Хотя состояние сердечно-сосудистой системы исследовалось у животных и человека в период от первых экспериментов и до экспедиции на Луну, картина все еще остается недостаточно ясной. Сердечно-сосудистые сдвиги происходят в результате воздействия большого числа переменных факторов, включая сложные взаимодействия с другими системами организма в невесомости. Детренированность сердечно-сосудистой системы отчетливо демонстрируется непропорциональным учащением пульса и дыхания при действии ускорений во время спуска корабля и явлениями ортостатической неустойчивости после возвращения на Землю. Рентгенологическими исследованиями установлено уменьшение размеров сердца. Анализ фазовой структуры сердечного цикла, электрокардиографических показателей и гемодинамических характеристик, особенно непосредственно после окончания полета, ясно показывает, что сердечная активность до некоторой степени временно ухудшается. Оказалось, что после длительных

Артериальное давление: умеренное снижение, затем стабилизация, тенденция к снижению пульсового давления	Человек (КП)	При ДПР вначале снижение, затем возрастание (симпатический эффект)
Сердце: уменьшение размеров (по данным рентгенологических исследований); признаки снижения сократительной способности (по данным электро- и сейсмокардиографии и результатам фазового анализа сердечного цикла)	Человек (КП, Р)	Описаны случаи увеличения механической активности сердца в полете
Костная ткань: деминерализапия (по данным рентгенофотометрии) за счет потери Са++	Человек, животные, (Р)	При использовании метода фотонной абсорбциометрии изменений не обнаружено
Мышцы: снижение объема ц силы	Человек, животные (КП, Р)	Преимущественно атрофия антигравитационной мускулатуры
Снижение веса (массы) тела на 2—5% от исходного веса	Человек, животные (Р)	Пребывание на Луне в отдельных случаях уменьшало потерю веса тела. После полета вес быстро восстанавливается (исключение – 18-суточный полет «Союза-9»)
Ухудшение переносимости поперечных перегрузок на участке спуска	Человек (КП)	Не во всех полетах
Ощущение тяжести тела, быстрая утомляемость, затруднения при ходьбе, мышечные боли	Человек (Р)	Преимущественно после полетов большой продолжительности без использования профилактических средств
Ортостатическая неустойчивость	Человек (Р)	Развивается и в наземных экспериментах с имитацией невесомости
Снижение физической работоспособности	Человек (Р)	Следствие гиподинамии
Снижение иммунитета	Человек, животные (Р)	Увеличивает опасность инфекционных заболеваний во время и после полета
Увеличение длительности восстановительного периода в продолжительных полетах по сравнению с кратковременными	Человек (Р)	Улучшение условий обитания и использование профилактических средств сокращает продолжительность восстановительного периода
БН — башня невесомости; ПК — парабола Кеплера: КП — космический полет; Р — период реадаптации; ДПР—длительный постельный режим.		

РОСТ И РАЗВИТИЕ. ОНКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Общий вывод, который делают Бриджес и Прич, Андерсоя и Каун, сводится к отрицанию неблагоприятных эффектов ЭП промышленной частоты до 10 кВ/м на рост и развитие животных. Однако отдельные факты (большинство из них получены до 1980 г.), неблагоприятного действия ЭМП на животных и человека требуют дальнейших уточнений. Так, шведские ученые отмечали повышенный уровень врожденных уродств среди детей, родившихся от рабочих, работающих в высоковольтных ЭП. В том же исследовании было обнаружено увеличение хроматидных и хромосомных аберраций в лимфоцитах. В других исследованиях эти наблюдения не были подтверждены.

Особую тревогу вызвали сообщения из США, Великобритании и Швеции о канцерогенном (лейкозы, опухоли мозга) действии ЭП. В частности, в исследовании, проведенном в США, было отмечено, что у детей, отцы которых профессионально подвергались воздействию ЭП и МП риск онкологических заболеваний мозга был выше. В достоверности этих результатов нельзя быть абсолютно уверенным. Тем не менее появление этих данных требует тщательной проверки и дополнительных исследований по выявлению потенциальных связей между ЭМП сверхнизких частот и онкологическими заболеваниями.

В заключение приведем мнение экспертов, собравшихся в 1989 г. в Вене, Они отметили, что в Австрии заболеваемость лейкемией у детей с 1956 по 1986 г. уменьшилась более чем в 4 раза при одновременном увеличении потребления электроэнергии на душу населения в 7,5 раза.

Несколько слов о косвенном эффекте ЭП на космонавта. Известно, что на внутренних поверхностях космического корабля оседает большое количество микроорганизмов. Причинами, способствующими их осаждению из воздушной среды, по-видимому, следует признать влияние электростатических сил.

Большое влияние оказывает электрический заряд частиц и на степень осаждения микроорганизмов и пыли в верхних дыхательных путях человека. Обнаружено, что заряженная пыль задерживается при дыхании примерно в 2 раза эффективнее, чем незаряженная. Несомненный интерес представляют данные о лечебном действии импульсных МП (на основе несущей частоты 50-60 Гц) при таких заболеваниях, как псевдоартрозы и переломы костей. Использование МП интенсивностью приблизительно равное 2 мТл (1,6 кА/м) стимулировало заживление костных переломов.

6.3 ГЕОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ: РЕАКЦИЯ ЗДОРОВОГО И БОЛЬНОГО ОРГАНИЗМА. БИОРИТМЫ

По данным ряда исследователей, магнитовозмущенные дни влияют на энцефалограмму сна человека, вызывают увеличение частоты и смены стадий сна, что свидетельствует об уменьшении его глубины.

В период низкой солнечной активности (1975 г.) степень выраженности психопатологического синдрома у больных нервно-психическими расстройствами коррелировала с МП, характеристика которого соответствовала по амплитуде от долей нанатеслы до десятков нанатеслы с периодом колебаний от 5 до 150 с. В период солнечной активности некоторые исследователи отмечали, что число летных происшествий увеличивается и выявляется связь между уровнем МП Земли и деятельностью мозга.

Довольно неоднозначные и разнонаправленные изменения у людей с клинически выраженными формами ишемической болезни сердца в условиях геомагнитной возмущенности были получены по таким биологически активным соединениям, как гистамин, гистаминаза, ацетилхолиноподобные вещества и холинэстераза. У этого же контингента больных были обнаружены сдвиги в кортикоидной функции (по экскреции с мочой 17-ОКС) надпочечников. По данным некоторых авторов, при возмущении геомагнитного поля у больных ревматизмом изменяется соотношение изоферментов цитохромоксидазы, уровень АТФ в крови.

Мансуров и другие показали, что при перемене знака межпланетного МП усиливаются нервно-психические расстройства у людей с измененной адаптацией. Авторы связывают преобладание процессов раздражения в первые дни после смены знаков секторов с исчезновением определенного вида коротковолновых излучений, отмечают увеличение нарушений сердечного ритма, вегетососудистых пароксизмов и признаков стенокардии. Однако последующие исследования не подтвердили столь серьезных нарушений при смене знака межпланетных МП.

Моисеева и Любицкий, изучая эти корреляции, обнаружили недостоверное уменьшение числа ошибок (время выполнения тестов на оперативную память) и лишь некоторую психическую активацию.

Раевская, рассматривая действие МП Земли отдельно на здорового и больного человека, приводит данные о связи геомагнитных возмущений с увеличением психических и сердечно-сосудистых заболеваний. Ухудшаются показатели внимания и удлиняется время простой двигательной реакции. Укорачивается время проведения пробы на скорость переработки зрительной информации, ухудшаются показатели кратковременной и долговременной памяти, происходит сглаживание межполушарной асимметрии. Однако у здорового человека эти изменения не выходят за пределы физиологической нормы и только у больного организма они могут оказаться значимыми.

Кроме геомагнитного поля, возможно, некоторое значение имеют и такие факторы, как атмосферный инфразвук и колебания концентрации атмосферного радона.

Существует удивительное совпадение частот ЭМП Земли с биологическими ритмами. Особенно эффективна частота в пределах 7-10 Гц. Наи-

Реакция	Условия и объекты наблюдения	Примечания
Ощущения безопорного положения, плавания, падения, переворота, вращения, прилива крови к голове, ухудшение ориентации в пространстве, преобладание роли зрительной информации в оценке положения тела в пространстве	Человек (БН,ПК,КП)	Эмоциональная окраска ощущений (страх, радость и др.) зависит от опыта и тренированности испытуемых. В орбитальных полетах – адаптация
Смещение последовательного зрительного образа при перегрузке – вниз (окулографическая иллюзия), а при невесомости – вверх (окулографическая иллюзия). Иллюзии характерны для начальных периодов пребывания в невесомости	Человек (ПК, КП)	Реальное расположение зрительных ориентиров при перегрузке – выше последовательного образа, а при невесомости – ниже. При фиксации взгляда на ориентире последовательный образ совмещается с ним
Замедление скорости и точности движений; промахи при попытке попасть в центр мишени (отклонение попаданий вверх)	Человек (ПК, КП)	Только в начальной фазе КП, затем адаптация
Ухудшение способности воспроизводить дозированные мышечные усилия и оценивать различия масс незафиксированных предметов	Человек (ПК)	
Развитие болезни движения или отдельных ее симптомов (головокружение, дискомфорт в желудке, тошнота, рвота и т.д.)	Человек (ПК, КП)	Предполагается участие как вестибулярных, так и экстралабиринтных механизмов, а также изменение взаимодействия афферентных систем
Частота дыхания и легочная вентиляция: увеличение при полете по ПК; разнонаправленные сдвиги при КП; возрастание в послеполетном периоде	Человек (ПК, КП,Р)	Изменения в полете зависят от предшествующего действия перегрузок или характера работы
Газообмен: возрастание при полете по ПК; снижение (по данным анализа регенеративного вещества) при КП: увеличение в послеполетном периоде	Человек (ПК,КП, Р)	По анализу проб выдыхаемого воздуха, взятых в КП, отмечено как снижение, так и увеличение. При ДПР – снижение
Уменьшение потребности в пище	Человек (КП)	Отмечается не во всех полетах. Характерно для ДПР
Частота пульса: замедление нормализации после действия перегрузок; в последующем тенденция к урежению, увеличению колеблемости (возможны аритмии по типу бигемении): в конечной стадии длительных КП некоторое учащение	Человек, животные (КП)	При ДПР после начального урежения частота пульса учащается (детренированность)

весомости характеризуется общей астенизацией, угнетением иммунобиологической реактивности, детренированностью, особенно антигравитационной мускулатуры, перестройка гемодинамики, белкового, минерального и водного обмена.

Можно выделить 3 причины наблюдающихся расстройств при действии невесомости:

- снятие гидростатического давления жидкости, особенно крови;
- уменьшение гравитационной нагрузки на костно–мышечный аппарат (гиподинамия) и двигательной активности (гипокинезия);
- изменение функций гравирецепторов.

Воздействуя на эти причины можно уменьшить неблагоприятное воздействие невесомости. Единственно универсальным методом профилактики является искусственная гравитация. Два вопроса этой проблемы требуют строго научного обоснования: определение минимальной эффективной величины искусственной гравитации и определение допустимого для человека по медицинским показателям параметров вращательных систем.

В настоящее время широко разрабатываются и частично прошли апробацию в реальных космических полетах методы профилактики, направленные лишь на отдельные патогенетические звенья или даже симптомы проявления неблагоприятного действия невесомости.

В таблице 7 суммированы некоторые из наиболее общих проявлений процессов адаптации к невесомости и реадаптации к наземным условиям.

ТАБЛИЦА 7 – НЕКОТОРЫЕ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕВЕСОМОСТИ.

большее влияние на такие параметры, как частота дыхания, кровяное давление, температура тела, оказывают магнитные бури и затем градиенты Z- и D-составляющих; наиболее слабо - градиент H-составляющей и К-индекса.

Таким образом, обнаружено влияние МП Земли практически на любую жизненно важную функцию организма. Эта необычная "закономерность", с нашей точки зрения, должна настораживать исследователей и побуждать к дальнейшим более обстоятельным наблюдениям. Деряпа с сотрудниками, проанализировав связь 23 физиологических показателей с К-индексом, обнаружили зависимость только для нейтральных 17-кортикостероидов, уровня витамина B_2 в крови, температуры кожного покрова и скорости кровотока.

Проведенные в Институте медико-биологических проблем исследования годичной заболеваемости, возникновение несчастных случаев с 1946 по 1976 г. не обнаружили ее корреляции с изменением индексов, характеризующих солнечную и планетарную геомагнитную возмущенность. К аналогичным выводам пришли американские исследователи.

Беневоленский и Воскресенский отметили интересную тенденцию подобных исследований (с которой трудно не согласиться). Сопоставляя ретроспективно современные данные гелиобиологических данных с аналогичными материалами, накопленными ранее, можно заметить определенную тенденцию к постепенному "исчезновению" гелиобиологических связей. В результате этого в среде современных исследователей взгляды на гелиобиологию стали порой взаимоисключающими. Неясно, например, как будет себя вести больной и здоровый организм в условиях, когда на природные периодические и апериодические ЭМП накладывается мощный "шумовой" эффект различных природных, социальных и технологических факторов, в частности, мощных искусственных ЭМП.

6.4 МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (УФИ)

Наиболее биологически активная компонента ультрафиолетового излучения Солнца с длинами волн менее 180 им практически полностью поглощается атмосферой. Основная часть длинноволновой составляющей (320-400 нм) достигает поверхности Земли, однако ее биологическая эффективность невелика. Радиация с промежуточными длинами волн 180-320 нм, хотя и поглощается частично озоновым слоем стратосферы, оказывает существенное влияние на биосферу и человека.

Медико-биологические эффекты УФИ принято оценивать на основании его биологически эффективной интенсивности, определяемой путем умножения спектральной энергетической освещенности на спектр действия с последующим суммированием по всему спектру излучения. При этом эффективность излучения в максимуме спектра действия считают равной единице, а величины биологически эффективных интенсивностей и накопленной дозы выражают в приведенных к максимуму спектра действия зна-

чениях. Критическими органами при воздействии ультрафиолета являются кожа, глаза и иммунная система.

Облучение кожи в достаточно высоких дозах вызывает возникновение асептического воспаления, или эритемы. В ее основе лежит гибель клеток эпидермиса с последующей денатурацией белков и ферментативной трансформацией ее продуктов в биологически активные вещества, важнейшим из которых является гистамин. Спектр эритемного действия УФИ имеет максимум на 297 нм и глубокий спад около 280 нм с последующим увеличением эффективности при дальнейшем уменьшении длины волны. Величина минимальной эритемной дозы варьирует в широких пределах в соответствии с этническими и расовыми различиями в пигментированности кожи, ее среднее значение для нормальной незагорелой кожи принято считать равным 200 Дж/м^2. При воздействии минимальной эритемной дозы эритема развивается с латентным периодом 1-8 ч и сохраняется в течение суток и более; с увеличением дозы латентный период убывает, а степень выраженности и длительность существования эритемы растут. Важным следствием облучения в больших дозах являются угнетение потоотделения и снижение сенсорной чувствительности кожи, а также ухудшение общего состояния организма, по-видимому, обусловленное выбросом в циркуляцию избыточного количества физиологически активных веществ. Возникновение эритемы инициирует также адаптивную реакцию активации синтеза ДНК, белков и защитного пигмента меланина. Спектр действия для стимуляции синтеза меланина аналогичен кривой эритемной чувствительности, однако существует и длинноволновая (300-400 нм с максимумом 340 нм) пигментация, развивающаяся без эритемы.

В случае хронического облучения с малой интенсивностью некоторые из перечисленных изменений состояния кожи можно наблюдать без возникновения эритемы. Поступающие в общий ток крови физиологически активные вещества являются одной из основных причин тонизирующего действия УФ-излучения, а продолжительная активация синтеза меланина, ДНК и белков увеличивает пигментацию и толщину рогового слоя кожи, повышая ее резистентность к последующим облучениям. Несмотря на это, многократные ультрафиолетовые облучения и длительное пребывание на открытом солнце не проходят бесследно. Кожа утрачивает поверхностную структуру, повреждаются волокна ее глубоких слоев, она становится ломкой и склонной к повреждению при минимальной травме - развивается так называемый фотоэластоз, который многие исследователи считают предраковым состоянием. Этот эффект необратим и сопровождается изменением функционального состояния кожи. Реакция кожи на воздействие коротковолнового (менее 280 нм) излучения обладает определенной спецификой: эритема развивается раньше, а угасает быстрее и сменяется слабой, быстро проходящей пигментацией, в то время как симптомы фотоэластоза и старения кожи выражены гораздо сильнее.

Ультрафиолет играет важную роль в обеспечении организма витамином $Д_3$, регулирующим процесс фосфорно-кальциевого обмена. Он образуется

Длина волны, нм	Предельно допустимая доза, Дж/м^2	Относительная спектральная эффективность	Длина волны, нм	Предельно допустимая доза, Дж/м^2	Относительная спектральная эффективность
200	1000	0,03	280	34	0.88
210	400	0,075	290	47	0,64
220	250	0,12	300	100	0,30
230	160	0,19	305	500	0,06
240	100	0,30	310	2000	0,015
250	70	0,43	315	10000	0,003
254	60	0,50			
260	46	0,65			
270	30	1,00			

Рассматриваемые нормативы вряд ли применимы без корректировки к условиям космического полета. Причина этого заключается в модифицирующем действии факторов полета, способных существенно изменить как состояние здоровья космонавтов, так и среду их обитания. Известно, например, что длительное пребывание в условиях замкнутых ограниченных объемов значительно изменяет как аутофлору человека, так и микрофлору окружающей среды. Последствия этих изменений на фоне индуцированной УФИ иммуносупрессии трудно предсказать. Неясно также, какое влияние может оказать стимуляция синтеза витамина Дз на нарушение метаболизма кальция в условиях невесомости. В связи с изложенным выше целесообразно проведение специальных исследований медико-биологических эффектов УФИ в комбинации с другими факторами космического полета с целью внесения корректив в существующие нормативы.

6.5 МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НЕВЕСОМОСТИ И ПРОЦЕССЫ АДАПТАЦИИ К ОТСУТСТВИЮ ВЕСА

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал, характеризующий многообразные проявления процессов адаптации живых организмов к состоянию невесомости и реадаптации их к наземным условиям.

Еще до того, как были проведены первые исследования в космическом полете, предполагалось, что воздействие длительной невесомости может стать причиной нарушения жизненно важных функций организма млекопитающих.

Анализ результатов нескольких сотен исследований по выявлению реакций, обусловленных невесомостью, показывает, что существует большое количество изменений со стороны рабочей деятельности, которые мешают космонавту успешно освоиться с состоянием невесомости. Однако первостепенное значение имеют приспособительные биологические сдвиги в различных системах организма, медицинские последствия которых еще не полностью выяснены. Имеющиеся в настоящее время данные содержат ряд доказательств влияния невесомости на основные системы организма и их функции.

Общая картина нарушений при длительном пребывании в условиях не-

действия УФИ для всего спектра вызываемых им медико-биологических эффектов, однако для некоторых из них такие уровни уже установлены. До настоящего времени действуют нормативы, разработанные Национальным институтом коммунальной гигиены США и принятые Американской конференцией промышленных гигиенистов. Они основаны на спектрах действия для фотокератоконъюнктивита и эритемы у нормальных людей с белой кожей и применимы лишь для острых эффектов УФ-излучения.

Для диапазона длин волн 315-400 нм интенсивность облучения незащищенных кожи и глаз не должна превышать 10 Вт/м^2 при продолжительности облучения более 1000 с. В случае более коротких экспозиций интегральная доза не должна превосходить 1000 Дж/м^2.

Для спектрального диапазона 200-315 нм предельно допустимые уровни облучения незащищенных глаз и кожи определяются следующим образом. В случае использования монохроматического излучения интегральная доза за 8-часовой рабочий день не должна превосходить значений, представленных в таблице 6.

При использовании полихроматических источников нормируется биологически эффективная доза, приведенная к 270 нм в соответствии с представленным в таблице 6 спектром действия. Ее величина за 8-часовой рабочий день не должна превышать 30 Дж/м^2. Специально оговаривается, что эти нормативы неприемлемы для пациентов, обладающих повышенной фоточувствительностью.

Минимальная принятая в США суточная допустимая доза - 30 Дж/м^2 соответствующая длине волны 270 нм, в рассматриваемом случае рекомендуется для всего диапазона от 200 до 302 нм. Допустимые дозы для 305 и 310 нм соответственно в 5 и 2 раза меньше американских, и лишь для 315 нм принятые в США и Нидерландах нормативы совпадают. Нетрудно убедиться, что в нормативах Нидерландов по сравнению с американскими заложена значительно более высокая биологическая эффективность УФ-излучения в зоне 300 нм, по-видимому, вследствие учета возможности возникновения фотоэластоза, рака кожи и катаракты. Для продолжительности облучения более 10 лет, когда вероятности канцерогенеза и катарактогенеза резко возрастают, допустимые дозы составляют 15% значений. Помимо дозы, в последнем случае регламентируется также интенсивность облучения. Ее величина не должна превосходить интенсивности равномерного облучения в предельно допустимой дозе.

ТАБЛИЦА 6 – ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ЗА 8-ЧАСОВОЙ РАБОЧИЙ ДЕНЬ ДОЗЫ И СПЕКТР ДЕЙСТВИЯ УФИ 200-315 НМ.

под его действием из 7-дсгидрохолестерина, содержащегося в выделениях сальных желез, а затем всасывается кожей. Дефицит витамина $Д_3$ вызывает рахит и кариес. Спектр действия для синтеза витамина $Д_3$ аналогичен эритемному и имеет максимум в диапазоне от 295 до 300 им. Необходимая для компенсации дефицита $Д_3$ доза УФИ составляет 60 минимальных эритемных доз в год на открытые участки тела.

В поверхностных слоях кожи локализованы также фоторецептор процесса иммуносупрессии - уроканиновая кислота. Воздействие УФИ вызывает ее изомеризацию с последующим изменением функции антигенпредставляющих клеток и увеличением либо количества, либо активности лимфоцитов-супрессоров. Следствием этого является подавление способности организма отторгать раковые клетки, а также супрессия контактной гиперчувствительности и гиперчувствительности замедленного типа к различным антигенам. Факторы гуморального иммунитета либо остаются индифферентными, либо, в случае хронического облучения в малых дозах, активируются, способствуя повышению неспецифической резистентности организма.

Эффект иммуносупрессии наблюдается как у пигментированных, так и у непигментированных людей и не коррелирует с возникновением эритемы. Он четко регистрируется в диапазоне длин волн от 250 до 320 им с максимумом спектра действия при 270 нм, не зависит от интенсивности излучения и определяется лишь суммарной дозой. Кратковременные воздействия УФИ в относительно малых дозах вызывают лишь локальный эффект в облученном участке, при воздействии с достаточно большой накопленной дозой страдает система иммунитета в целом. Местное подавление контактной гиперчувствительности наблюдается при облучении в дозах 200-800 Дж/м^2 а для системной депрессии необходимы дозы на два порядка большие. Дозы, необходимые для подавления отторжения опухолевого трансплантата, приближаются к канцерогенным (1-2·10 Дж/м^2). Это дает основание полагать, что фотоиммунные реакции являются одной из причин увеличения частоты рака кожи в зонах с повышенной интенсивностью естественного УФИ. Другим следствием индуцированной УФИ иммуносупрессии могут быть снижение резистенстности к инфекционным агентам, изменение характера течения и исхода некоторых инфекционных заболеваний. Весьма вероятным является также снижение эффективности вакцинации.

УФИ способно индуцировать злокачественные опухоли двух типов: немеланомные (плоскоклеточный и базальноклеточный рак) и меланому кожи. Опухоли первого типа преобладают количественно, однако они слабо метастазируют и легко излечиваются. Частота меланом относительно невелика (5-8% общей частоты опухолей кожи), однако меланома быстро растет, рано метастазирует и дает высокую летальность. В механизмах индуцированного УФИ канцерогенеза основную роль отводят мутагенезу и им-

муносупрессии.

Онкогенный спектр действия УФИ близок к таковым для эритемы, загара и стимуляции синтеза витамина $Д_3$, в связи с чем факторы повышенного риска для возникновения рака кожи (белая кожа, голубые глаза, наличие веснушек и родинок, рыжие волосы) характерны для типов кожи с минимальными значениями эритемной дозы. Канцерогенный эффект УФ-излучения кумулируется в течение длительного времени, причем редкие периоды интенсивного облучения гораздо опаснее постоянного воздействия с той же накопленной дозой вследствие более высокой частоты меланом. Хотя существует мнение о беспороговом характере мутагенного эффекта УФИ, эффективная доза для канцерогенеза достаточно велика (1-2·10 Дж/м^2), и развитие рака кожи у человека даже в зонах с высокой интенсивностью естественного УФИ занимает многие годы.

Типичной патологией глаза при воздействии УФ-излучения является фотокератоконъюнктивит - острое воспаление роговицы и конъюнктивы. В зависимости от интенсивности и дозы воздействия он развивается через 0,2-24 ч после облучения, сопровождается ощущением присутствия в глазу твердого тела, слезотечением, светобоязнью и блефароспазмом. Указанные симптомы обычно достигают максимума на 1-3-е сутки и затухают через 2-7 суток. В отличие от кожи глаз не вырабатывает устойчивости к повышенным воздействиям УФИ и после нового облучения возникают те же симптомы. Спектр действия для индукции фотокератоконъюнктивита имеет максимум на 270 нм, минимальная эффективная доза равна 40 Дж/м^2 при высоких интенсивностях излучения и возрастает с уменьшением интенсивности.

Рассматриваемые симптомы оказывают существенное влияние на функцию зрения. В период выраженного фотокератоконъюнктивита ослабляется способность отслеживать движущиеся объекты, снижается пропускание роговицей видимого света и, видимо, затрудняется его фокусировка на сетчатке. Реактивность самой сетчатки также снижается. Последний эффект развивается после затухания фотокератоконъюнктивита, сохраняется в течение длительного времени и влияет на процесс светоощущения значительно больше, чем изменения в роговице.

Длительное воздействие УФИ может вызывать возникновение катаракты, дегенерацию роговицы и сетчатки, птеригий, а также меланому сосудистой оболочки глаза. Самой важной из них является катаракта, в зрелой форме которой значительно ухудшаются разрешение, контраст и распознавание зрительных образов. Спектр действия для катарактогенеза имеет максимум при 300 нм, минимальная эффективная доза имеет порядок 10^3-10^4 Дж/м^2. Остальные виды отдаленной патологии глаза, хотя и являются очень опасными, встречаются значительно реже катаракты.

Вероятными источниками УФИ на борту космических аппаратов являются проникающие через иллюминаторы излучение Солнца, бактерицидные лампы и специальные излучатели, предназначенные для повышения

неспецифической резистентности организма и компенсации дефицита витамина $Д_3$. Основной задачей, решаемой при обеспечении безопасности использования УФ-излучения в оздоровительных мероприятиях, является выбор спектрально-энергетических параметров излучения, допускающих максимум оздоравливающего действия при минимуме опасных для здоровья побочных эффектов.

Максимум спектра излучения бактерицидных ламп должен соответствовать максимуму спектра действия для летального эффекта у микроорганизмов - 260 нм. Из существующих коммерческих источников УФИ этому требованию удовлетворяют ртутные лампы низкого давления, более половины энергии которых излучается на длине волны 254 нм. Однако излучение такого типа оказывает преимущественно негативное влияние на состояние здоровья, поскольку максимум его спектра находится в области максимумов спектров действия для иммуносупрессий, фотокератоконъюнктивита и фотоэластоза и вне зоны максимумов спектров стимуляции синтезов витамина $Д_3$ и тонизирующего действия УФИ.

В области 300 нм локализованы максимумы спектров действия как положительных (синтез витамина $Д_3$, тонизирующее действие, загар), так и отрицательных (канцерогенез, катарактогенез) эффектов УФИ, однако для последних характерны более высокие значения эффективных доз и длительностей латентного периода. В связи с этим для минимизации негативных эффектов помимо волновой селекции необходимо также до определенной степени ограничивать интенсивность и дозу облучения. Из выпускаемых серийно источников УФИ в оздоровительных мероприятиях целесообразно использовать отечественные эритемные лампы ЛЭ-30 и ЛЭР-40, а лампы типа FS-40 фирмы Вестингауз с максимумами спектров излучения около 310 нм. Небольшую коротковолновую компоненту спектра излучения этих источников можно отфильтровать.

Спектр УФ-излучения Солнца охватывает диапазон от 100 до 400 нм, наиболее биологически эффективная коротковолновая компонента (менее 300 нм) которого практически полностью поглощается атмосферой. В связи с этим биологически эффективная интенсивность космического излучения на 1,5-2,5 порядка превосходит таковую у поверхности Земли. Различные части солнечного спектра можно использовать для получения как бактерицидного, так и оздоравливающего эффектов. Преимущества такого подхода обусловлены возможностью имитации спектрально-энергетических параметров УФИ у поверхности Земли, к которым человек в значительной мере адаптировался. Перспективной является также разработка пригодных для этой цели искусственных источников УФИ.

Значительная часть имеющихся в литературе сведений о характере биологического действия УФИ была получена в результате эпидемиологических исследований и модельных экспериментов с лабораторными животными и требует уточнения и более строгой экстраполяции к человеку. Это обстоятельство затрудняет разработку предельно допустимых уровней воз-

вдоль клеточной оболочки вегетативной клетки, иногда контактируют с плазматической мембраной, У Anabaena flos-aquae связь тилакоидов с плазматической мембраной выявляется только в молодых клетках. На внешней поверхности мембран тилакоидов в виде правильных рядов расположены фикобилисомы, особые образования диаметром около 40 нм, содержащие фикобилиновые пигменты', характерные для синезеленых водорослей.

Ядерный материал Anabaena azollae, как и у других видов Anabaena , не образует четко дифференцированной структуры, нити ДНК выявляются в нуклеоплазме центральной части между тилакоидами и другими включениями клетки. Здесь же расположены и рибосомы, не связанные с мембранами.

В цитоплазме вегетативных клеток Anabaena azollae наблюдаются многочисленные (5 – 12 на срезе клетки полиэдральные тела, или карбоксисомы, размером 180-450 нм, имеющие на срезе угловатую форму . Они обладают высокой электронной плотностью и гомогенной структурой (после фиксации осмием). Преимущественно в старых клетках Anabaena azollae встречаются цианофициновые гранулы, структурированные образования, характерные для клеток синезеленых водорослей, в том числе и видов Anabaena. Кроме того, в вегетативных клетках исследуемой водоросли отмечены липидные капли небольшого размера, последние располагались преимущественно в периферической зоне цитоплазмы, что согласуется с имеющимися данными. Следует отметить, что в клетках Anabaena azollae не наблюдали гранулярных включений - гранул гликогена, типичных для синеэеленых водорослей. Возможно, отсутствие накопления гранул гликогена у этой водоросли гликогена присутствовали. К тому же, у Anabaena связано с ее особенностями как компонента симбиотической ассоциации, хотя в клетках синезеленых водорослей, входящих в лишайниковый симбиоз, гранулы azollae не были выявлены газовые опухоли, которые постоянно обнаруживаются в клетках других видов Anabaena, причем наиболее характерным является их периферическое расположение. Газовые вакуоли характерны для планктонных форм играют защитную роль при высокой освещенности культуры, а также позволяют клеткам, уменьшая свой удельный вес, всплывать на поверхность среды. Отсутствие газовых вакуолей в клетках Anabaena azollae объясняется, очевидно, тем, что водоросль находится в ограниченном пространстве воздушных полостей хлорофиллоносных листьев водного папоротника, окружена слизью и не нуждается ни в экранировании освещения, ни в существенном передвижении клеток в среде. У мутантных форм видов Anabaena газовые вакуоли также обычно отсутствовали.

Трихомы Anabaena azollae, находившиеся в условиях космического полета, как в варианте, префиксированном на борту НОС "Салют-6", так и доставленном на Землю в живом виде, по окраске клеток были подобны таковым контрольных вариантов. Форма клеток также не изменялась.

Проведенный электронно-микроскопический анализ позволил устано-

степени токсичности и характера токсического эффекта. Такие данные являются полезным ориентиром при выборе материалов для использования в космосе.

Действие вредных веществ можно проследить во всем диапазоне концентраций – от нескольких ppm до нескольких процентов по объему.

Спирты обладают наркотическим эффектом и являются при высоких концентрациях раздражающими агентами для глаз и дыхательных путей. Метанол занимает особое место по своему специфическому действию на зрительный нерв. Эфиры уксусной кислоты сходны по своим свойствам с соответствующими спиртами. В организме они метаболизируются в спирты. Кетоны угнетают нервную систему, их запахи могут вызывать тошноту при высоких концентрациях. Альдегиды обладают сильным раздражающим действием, обычно более выраженным, чем у соответствующих кетонов, спиртов и эфиров.

Насыщенные алициклические и алифатические углеводороды обладают сравнительно умеренным токсическим действием. Высокие концентрации оказывают наркотический эффект.

Большинство галоидзамещенных алифатических соединений вызывает наркотический эффект, а многие могут поражать почки. Некоторые обладают резко выраженной способностью вызывать сердечную аритмию.

Гетероциклические соединения, как правило, отличаются малой физиологической активностью. Многие из них имеют специфический запах, однако их токсические эффекты весьма разнообразны.

За исключением окиси и двуокиси углерода, все неорганические газы, содержащиеся в атмосфере космического корабля, являются респираторными ирритантами. Большинство их оказывает свое действие в верхних отделах дыхательных путей, однако некоторые, такие, как фосген, проникают глубоко в легкие.

Двуокись углерода является нормальным компонентом атмосферы. При концентрациях выше нормального физиологического уровня она стимулирует дыхательный центр и вызывает учащение дыхания. Когда концентрации достигают 7-10% по объему, может наступать потеря сознания, даже если содержание кислорода поддерживается в нормальных пределах.

Окись углерода при вдыхании вступает в реакцию с гемоглобином, образуя сравнительно устойчивое соединение – карбоксигемоглобин (COHb). Вследствие этого развивается кислородная недостаточность (на клеточном уровне) во всем организме. Сердце и ЦНС наиболее чувствительны к окиси углерода. Полагают, что начальные признаки воздействия на ЦНС возникают при концентрации СОНЬ около 10%.

Воздействие микрофлоры на экипажи космических кораблей представляет собой вид острой токсичности. Полагают, что изолированная окружающая среда космического корабля исключает возможность экзогенных заболеваний. Однако радиация и подострый стресс могут изменять реакцию организма, что позволит нормальной флоре проявить патогенные свойства в некоторых будущих полетах, но до настоящего времени подоб-

ные проблемы не возникали.

Необходимо иметь в виду и другое обстоятельство, которое влияет на безопасность членов экипажа. Этим обстоятельством является воздействие микробной флоры на оборудование. Засорение фильтрующих элементов после длительного воздействия может оказаться еще одной сложной инженерной проблемой. Плесени также могут вызывать повреждение электронных схем.

9.2 ХРОНИЧЕСКАЯ ТОКСИЧНОСТЬ

Термин «хроническая токсичность» обычно означает неблагоприятное влияние химических соединений на организм в результате повторных или непрерывных воздействий, продолжающихся в течение длительного периода времени – месяцами или годами. Количества веществ, поступающих в организм за любой, отдельно взятый отрезок времени, сравнительно невелики. Термин этот также изредка используется для обозначения затяжных эффектов с медленным протеканием процесса выздоровления.

Концентрации спиртов, которые могут постоянно находиться в ИГА, вероятно, достаточно низки, поэтому указанные соединения будут полностью метаболизироваться до CO_2 и H_2O , не оказывая неблагоприятных воздействий. Необходимо принимать предупредительные меры, чтобы избежать накопления спиртов в концентрациях, при которых поступившее в организм количество вещества превысит его метаболические возможности. Для метанола этот уровень ограничивается скоростью выделения муравьиной кислоты – конечного продута его обмена. Избыточное количество муравьиной кислоты нарушает кислотно-щелочное равновесие организма. Установлено, что слепота, вызываемая высокими дозами метанола, является следствием специфического действия муравьиной кислоты на зрительные нервы. В подобных случаях обнаруживается также увеличение печени.

Спирты с более высоким молекулярным весом – этиловый, n-пропиловый, изопропиловый, n-бутиловый – при хроническом действии вызывают поражение печени и почек в концентрациях, обычно значительно ниже наркотических, а также тех, которые считаются раздражающими.

Обнаруживаются в ИГА также эфиры указанных спиртов с уксусной кислотой. Первым заметным результатом хронического воздействия их повышенных концентраций является гипотония и раздражающий эффект, затем при более высоких концентрациях развиваются отек легких, поражения печени и почек и наркотическое состояние.

Алифатические и ароматические углеводороды, за исключением бензола, при длительном воздействии в малых концентрациях обладают низкой токсичностью.

Среди гетероциклических соединений наблюдается разнообразие проявлений хронического токсического эффекта.

Из неорганических газов и паров, обнаруживаемых в ИГА космического корабля, аммиак, пожалуй, является наиболее безвредным. Легкая

течении суток после приземления выращивалась в условиях лаборатории, затем была префиксирована. Опытный и контрольный материал фиксировали 3%-ным раствором глютаральдегида на фосфатном буфере (pH 7,2) в течении 5 ч и 1 %-ным раствором (на этом же буфере) в течение 20 ч на холоду. Обезвоживание материала выполнено по общепринятой методике. В качестве заливочной среды использована смесь эпона с аралдитом. Срезы наготовлены на микротоме системы LKB, контрастированы уранилацетатом и цитратом свинца и исследованы в электронном микроскопе JEM-100B.

Результаты проведенных исследований показали, что в трихоме анабены азоллы наблюдаются вегетативные клетки различного возраста, судя по морфологическим особенностям, и гетероцисты. Вегетативные клетки анабены имеют удлиненно-овальную форму. Гатероцисты отличаются от вегетативных клеток более крупным размером, имеют толстые клеточные оболочки и поры, особые полярные структуры, возникающие путем значительного утолщения внутреннего слоя оболочки, так называемые пробки. Терминальные гетероцисты однопоровые, интеркалярные содержат две поры.

Вегетативные клетки Anabaena azollae окружены клеточной оболочкой, имеющей характерное для синезеленых водорослей многослойное строение. Деление вегетативных клеток осуществляется путем центробежного врастания закладывающейся в виде кольцевого валика у продольной стенке клеточной перегородки. Последняя первоначально формируется за счет инвагинации цитоплазматической мембраны и двух слоев оболочки клетки. По мере роста клеточной перегородки происходит ее утолщение таким образом, что на поперечном срезе она нередко имеет клиновидную форму. Цитоплазматическая мембрана возле внутреннего края растущей клеточной перегородки часто отличается повышенной контрастностью. Процесс цитокинеза завершается полным смыканием в центре клетки поперечной перегородки. Последняя обычно имеет одинаковую ширину на всем протяжении, что хорошо наблюдается на поперечных срезах поделившихся клеток.

Фотосинтетический аппарат вегетативные клеток Anabaena azollae представлен системой тилакоидов, последние локализованы баз строгой упорядоченности. Они расположены как в периферической зоне цитоплазмы, так и пронизывают всю клетку. Ветвящихся тилакоидов, описанных у Anabaena variabilis, у исследуемого вида не наблюдали.

Следует отметить, что нередко тилаконды в клетках Anabaena azollae простираются параллельно клеточной перегородки, как было показано ранее, и, таким образом, располагаются преимущественно в периферической зоне. Такой тип неупорядоченного расположения тилакоидов с преобладанием их по периферии клетки характерен для других видов Anabaena . Считают, что расположение тилакоидов в виде параллельных рядов вдоль клеточной оболочки связано с условиями культивирования водорослей и в первую очередь с уровнем освещенности. Тилакоиды, простирающиеся

клеток контроля: у них в 3-4 раза короче лаг-фаза роения и несколько выше скорость роения.

ТАБЛИЦА 12 – ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЕНИЯ P. VULGARIS НА МПА 0,9%.

Номер отсека	Лаг-фаза роения		Средняя скорость роения, мм/ч	
	Летный	Контроль	Летный	Контроль
3	4	18	5,7	3,7
4	4	14	5,7	5,0
5	4	14	5,7	5,0
6	4	10	5,7	4,1
7	4	10	5,7	4,5
8	4	10	5,7	4,5
9	4	10	5,7	4,5

Таким образом, у клеток P. vulgaris, выращиваемых в устройстве РОСТ-4М2 на борту станции «Салют-7», под влиянием факторов космического полета изменилось направление адаптации к данным условиям культивирования, что выразилось в изменении их ростовых, морфологических характеристик и показателей роения.

СУБМИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КЛЕТОК ANABAENA AZOLLAE STRAS В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

Интересной особенностью водного папоротника азоллы является симбиоз этого растения с синезеленой водорослью Anabaena azollae, находящейся в воздушных полостях верхних хлорофиллоносных сегментов листьев. Известно, что азолла способна фиксировать атмосферный азот, причем агентом фиксации является именно синезеленая водоросль. Благодаря азотфиксации азолла используется в странах Индокитая в агрономической практике для повышения плодородия почв. Способность фиксировать атмосферный азот, сравнительная простота культивирования этого растения может также представлять интерес при подборе азоллы в качестве компонента для включения в фотосинтетическое звено искусственных замкнутых биологических систем жизнеобеспечения.

В совместном советско-вьетнамском биологическом эксперименте, выполненном на научной орбитальной станции "Салют-6", в качестве объекта исследования использовали азоллу перистую – Azolla pinnata. Исследовали цитологические особенности клеток синезеленой водоросли. Ввиду небольшого размера клеток анабены применялся метод электронной микроскопии. Растения Azolla pinnata культивировали на жидкой питательной среде в приборе типа ИФС-2. Одна часть опытного материала после окончания эксперимента во избежание действия на него динамических факторов при спуске космического корабля была префиксирована на борту научной орбитальной станции "Салют-6". Другая часть опытного материала в

растворимость аммиака в слизистом слое верхних дыхательных путей и быстрый метаболизм позволяют прийти к заключению, что он едва ли обладает сколько-нибудь выраженным общетоксическим действием.

Хроническое воздействие двуокиси углерода в концентрации по объему около 2-3 % или выше приводит к развитию обратимого компенсированного ацидоза, характеризующегося повышением отложения карбонатов в костях.

При хроническом воздействии окиси углерода равновесный уровень насыщения гемоглобина достигается в течение 24 часов. Если концентрация CO велика, то компенсаторные механизмы могут повысить вязкость крови, что может обусловить увеличение сердца.

9.3 КОМБИНИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Почти все случаи действия на человека загрязнений атмосферы связаны с одновременным воздействием нескольких вредных веществ.

Было бы весьма желательно иметь возможность предсказать с достаточной точностью, будут ли отдельные компоненты смеси действовать на человека независимо друг от друга, как, например, кислород и азот, или их эффект окажется взаимосвязанным.

Эта проблема была рассмотрена применительно к космическим полетам Тиуновым и Саватеевым. Они полагают, что могут быть составлены математические уравнения для расчета эффекта совместного действия загрязнений ИГА. Необходимо знать характер взаимодействия между компонентами для того чтобы выбрать нужное уравнение.

К настоящему времени накоплены данные о физиологических изменениях, развивающихся в результате воздействия различных факторов космического полета, в том числе невесомости, и влияния разнообразных загрязняющих примесей в ИГА.

ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМОСЕ

10.1 ИССЛЕДОВАНИЯ НА БИОСПУТНИКАХ СЕРИИ "КОСМОС"

Особенностью программы научных исследований, выполненных в результате успешных запусков биоспутников серии "Космос" в 1973—1977 гг., явился ее комплексный характер, сочетающий в себе разнообразные виды исследований, использование большого числа организмов самых разных таксономических рангов и, наконец, непрерывная внутренняя эволюция программы, характеризующаяся постепенным усложнением решаемых задач и повышением научно-методического уровня исследований. Отличительной особенностью программы научных исследований на биоспутниках "Космос" явился также ее международный характер. В подготовке и проведении экспериментов и исследований на биоспутниках "Космос-782" и "Космос-936", а также в анализе полученных результатов участвовали

специалисты из Болгарии, Венгрии, Германии, Польши, Румынии, Чехословакии, США и Франции.

В полетах биоспутников "Космос" были проведены эксперименты на самых разнообразных представителях животного и растительного Мира, начиная от одноклеточных организмов и кончая такими млекопитающими, как белые лабораторные крысы. Для содержания экспериментальных объектов на борту биоспутников инженерами в тесном сотрудничестве с биологами была разработана соответствующая аппаратура, включающая контейнеры различных объемов и форм, термостаты, культиваторы растений, полностью автоматизированные системы жизнеобеспечения крыс, центрифуги для создания искусственной силы тяжести (ИСТ), облучатель с искусственным источником гамма-излучения, дозиметры и т. д.

Каждому полетному эксперименту на биоспутнике сопутствовал ряд наземных контрольных экспериментов, в том числе в наземном макете биоспутника, где полностью воспроизводились все условия космического полета за исключением невесомости. Это дало экспериментаторам возможность выделить из всего комплекса воздействующих на организм факторов полета наиболее интересный и не воспроизводимый в земных условиях фактор, а именно невесомость.

Всестороннее обследование млекопитающих (крыс) после полетов на биоспутниках "Космос" не выявило каких-либо патологических изменений, обусловленных влиянием невесомости. Вместе с тем в ряде органов и тканей крыс были обнаружены обратимые структурно-функциональные перестройки, которые условно можно разделить на неспецифические и специфические.

К первым из них следует отнести признаки умеренно выраженного повышения функциональной активности ряда эндокринных органов (гипоталамус, гипофиз, кора надпочечников), участвующих в адаптации организма к необычным факторам среды обитания, и связанные с этим изменения в селезенке, вилочковой железе и в системе кроветворения. Эти изменения свидетельствуют в пользу того, что адаптация организма к условиям длительной невесомости подчиняется общебиологическим закономерностям, установленным применительно к воздействию необычных раздражителей внешней среды, т.е. сопровождается развитием в организме комплекса неспецифических реакций, объединяемых в понятие общий адаптационный синдром, или стресс. Стресс, обусловленный воздействием невесомости, носил умеренно выраженный характер и был обратимым.

К специфическим изменениям, обусловленным воздействием длительной невесомости, следует отнести в первую очередь изменения в опорно-двигательном аппарате. Так, изменения в мышечной системе крыс под влиянием невесомости длительностью до 22 суток проявились в атрофии мышц, уменьшении их силы и эластичности, увеличении скорости сокращения, разрастании соединительной ткани, распаде сократительных белков и других изменениях обменных процессов и тонкой структуры мышечных волокон. Исследования показали, что перечисленные изменения выражены

№3, 4 до 2,3 в отсеке № 9. Учитывая, что степень анаэробиоза в ходе летного эксперимента не менялась, этот факт очень неожидан.

Сравнение распределений клеток по длине, диаметру, объему и коэффициенту формы показывает, что клетки в летном варианте не только в среднем длиннее и больше по объему, но и распределения их по этим характеристикам более асимметричны, т.е. существенно больше процентное содержание очень длинных клеток.

Кроме того, сравнение распределений клеток по критерию X^2 позволило выделить статистически достоверные различные варианты. Так, по критерию X^2 различаются: по длине – варианты из отсеков № 3, 4, 8; по диаметру - варианты из отсеков № 4, 5, 6, 7, 9; по объему – варианты из отсеков № 3. 4, 5, 8; по коэффициенту формы – варианты из отсеков №3,4,5,6.

Еще один тест, которому подвергались клетки Proteus vulgaris после окончания летного эксперимента, – это специфичное для P.vulgaris роение на полутвердом агаре: клетками из различных отсеков инокулировали мясопептонный агар с концентрацией 0,9 % в чашках Петри диаметром 90 мм и сравнивали затем летный и контрольный варианты по динамике роста кольцевых колоний, точнее, по скорости продвижения фронтальной границы планки роения.

Здесь во всех отсеках по различным показателям роения (лаг-фаза роения, абсолютная скорость роения) летный вариант явно отличается от контроля – лаг-фаза в летном варианте короче, а абсолютная скорость роения выше (таблица 12). Это свидетельствует о более высоком уровне метаболической активности у клеток, выращенных в условиях космического полета.

Выводы

Выращивание бактерий P. vulgaris в устройстве РОСТ-4М2, обеспечивающем благоприятные для данных бактерий условно аэробные условия, а также возможность использования присущей P. vulgaris подвижности и отбора живых проб в ходе летного эксперимента с их последующим хранением на холоду, показало:

1) факторы космического полета угнетающе действуют на ростовые характеристики P. vulgaris ПРИ описанных условиях культивирования: прирост биомассы в летном приборе имеет тенденцию к снижению по отсекам, в то время как в контроле прирост биомассы по отсекам растет и превышает летный вариант;
2) по морфометрическим характеристикам клетки летного варианта, как правило, крупнее; наиболее примечательно, что коэффициент формы у клеток летного варианта по отсекам падает от среднего значения 3,6, характерного для анаэробных условий культивирования P. vulgaris, до значения 2, характерного для аэробных условий, в то время как в контроле это значение во всех отсеках равно 2;
3) по всем показателям роения на мясопептонном агаре 0,9 % клетки из всех отсеков летного прибора существенно активнее

рактер. При этом диаметр изменяется незначительно и составляет в среднем для контроля 0,9 мкм, а для летного варианта 1 мкм. Длина клеток в контроле колеблется в пределах 2 мкм. В то же время в летном варианте длина клеток постепенно падает с 3,3 мкм в отсеке № 3 до 1,9 мкм в отсеке № 9. Что касается объема, то хотя средняя величина его изменяется в обоих вариантах приблизительно от 1 до 2 мкм^3, но разница между вариантами не так заметно выражена, кроме отсека №3, где клетки в контроле особенно мелкие.

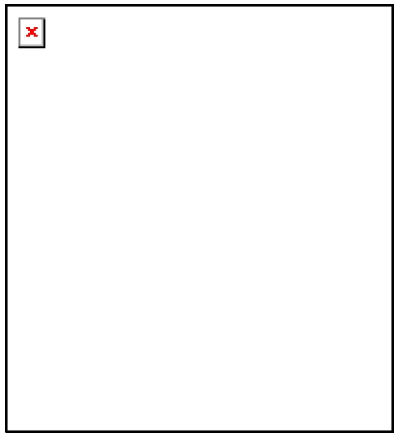


РИСУНОК 9 – КОЛИЧЕСТВО БИОМАССЫ В 1 МЛ СРЕДЫ ПО ОТСЕКАМ КУЛЬТИВАЦИОННОЙ КАМЕРЫ РОСТ – 4М2: 1 – ЛЕТНЫЙ ВАРИАНТ; 2 – КОНТРОЛЬ.

Наиболее интересные зависимости получены для коэффициента формы (отношение длины к диаметру). Во всех предыдущих экспериментах с P. vulgaris эта величина была очень стабильна и имела определенное значение, соответствующее условиям культивирования, точнее, степени анаэробиоза. В приборах ИФС в герметичной культивационной камере имелся запас воздуха, а в приборе ЦИТОС стенки пластиковых пакетов, в которых происходило культивирование, были частично проницаемы для кислорода окружающей среды; следовательно, в этих двух случаях можно говорить об условном аэробиозе - коэффициент формы в соответствующих экспериментах составлял приблизительно 1,8. В эксперименте «Укладка берлинго», где пластиковые пакеты были из четырехслойного, а не двухслойного, как ранее, полиэтилена и доступ воздуха был затруднен, коэффициент формы возрос до 2,5. Во всех экспериментах в приборах РОСТ-3, где условия культивирования существенно анаэробные, коэффициент формы в среднем близок к 4. Поэтому, учитывая ограниченный запас воздуха в культивационной камере РОСТ-4М2, следовало бы ожидать значение коэффициента формы порядка 2 и выше. Однако это предположение подтверждается только в случае контрольного прибора, в летном варианте среднее значение коэффициента формы падает с величины 3.8, а отсеках

тем значительнее, чем больше в той или иной мышце представлено так называемых медленных мышечных волокон, приспособленных по характеру своих обменных процессов к развитию и поддержанию длительных напряжении. Такими мышцами, в которых изменения оказались наибольшими, явились мышцы-разгибатели конечностей, выполняющие на Земле антигравитационную функцию, т. е. противодействующие силе тяжести и удерживающие вес тела.

В костях конечностей крыс были обнаружены разрежение, декальцинация, замедление скорости роста в длину и снижение механической прочности до 30%.

Изменения в опорно-двигательном аппарате животных носили обратимый характер и на 25-е сутки послеполетного периода не выявлялись.

В полете биоспутника "Космос-782" впервые в практике космонавтики были начаты экспериментальные исследования с искусственной силой тяжести. Для этой цели на борту биоспутника была установлена центрифуга с такими биологическими объектами, как насекомые, растения, рыбы, микроорганизмы, Экспериментальные исследования, проведенные на бортовой центрифуге в полете биоспутника "Космос-782", позволили установить, что биологическое воздействие искусственной силы тяжести величиной 1 g в условиях космического полета имеет в принципе такой же характер, как и воздействие естественной (земной) силы тяжести. Тем самым была впервые экспериментально показана возможность эффективного использования вращении на центрифуге на борту космического летательного аппарата для профилактики нежелательных эффектов длительной невесомости.

Исследования по проблеме искусственной силы тяжести были продолжены и в полете биоспутника "Космос-936". Этот эксперимент бы проведен уже на крысах, размещенных в двух центрифугах по 5 крыс на каждой. Предварительные результаты послеполетного обследования крыс свидетельствуют о более благоприятной переносимости факторов космического полета животными, находившимися в условиях искусственной силы тяжести.

В исследованиях на биоспутниках большое внимание было уделено также решению вопросов, связанных с обеспечением радиационной безопасности космических полетов. Особый интерес представляло изучение комбинированного воздействия длительной невесомости и ионизирующей радиации. Обследование двух групп животных (крыс), облученных на 10-е сутки полета биоспутника "Космос-690" с помощью искусственного источника гамма-излучения цезий-137 в дозах 800±85 и 220±25 рад соответственно, показало, что относительная биологическая эффективность гамма облучения в условиях длительной невесомости практически такая же, как на Земле.

Это означает, что при обосновании допустимых и критических доз облучения членов экипажей в космических полетах и при расчетах толщин противорадиационной защиты космических кораблей следует исходить из данных соответствующих наземных исследований и наблюдений. При этом

практически нет необходимости вносить какую-либо поправку в эти данные, обусловленную условиями космического полета.

Обследование разнообразных биообъектов, находившихся на борту биоспутников "Космос" в полетах длительностью до 22 суток, показало, что невесомость не является препятствием для нормального осуществления основных этапов жизнедеятельности организма и протекания большинства биологических процессов. Исключение представляют лишь те биологические процессы, для формирования которых необходимо наличие градиента плотности, реагирующего на силу тяжести, и присутствия чувствительных к ней рецепторов. Например, дезориентация роста растений в невесомости происходит, по-видимому, из-за того, что перестают функционировать клеточные рецепторы силы тяжести — амилопласты — и происходит сдвиг концентрационного градиента в цитоплазме.

Изучение эмбриогенеза животных в экспериментах на биоспутниках "Космос" показало, что нарушения эмбрионального развития в условиях невесомости могут возникать лишь в яйцеклетках тех типов, для эмбрионального развития которых необходимо конвекционное перемещение желточного материала. Конвекция же, как известно, в невесомости невозможна.

В проведенных экспериментах не обнаружено влияния невесомости и на процессы передачи наследственной информации. Однако нерешенным остается вопрос о направленности эволюционного процесса в невесомости. Есть основания считать, что невесомость будет создавать специфические условия отбора для некоторых мутаций, т.е. менять адаптивную ценность генотипа.

При проведении исследований на биоспутниках большое внимание уделяется выяснению влияния невесомости на индивидуальные клетки. Математические расчеты показали, что невесомость не может существенно влиять на молекулярные процессы в индивидуальных клетках. Это следует из того, что тепловая энергия их хромосом, например хромосом кишечной палочки, обусловливаемая броуновским движением молекул в клетке, превышает на два порядка величины потенциальную энергию, которую они имеют благодаря действию силы земного притяжения. Следовательно, процессы деления и все другие процессы в хромосомах должны относиться к гравитационно независимым, Действительно, проведенные на биоспутниках опыты с животными и растительными клетками, а также опыты с микроорганизмами в основном подтвердили теоретические расчеты.

Как известно, клетки в культурах ткани животных и растений свободны от влияния систем, объединяющих организм в единое целое, лишены внутриорганных, а нередко и внутритканевых связей. Это позволило успешно использовать данные модели во многих областях биологии и медицины для изучения реакций клеток на внешние воздействия, реакций, не замаскированных воздействием нервной системы и желез внутренней секреции. Исследования с клетками млекопитающих в условиях космического полета показали, что невесомость не вызывает существенных изменений изучав-

трифенилтетразолий бромида. Поэтому сравнение отсеков летного и контрольного приборов с одинаковым номером — это сравнение последовательных групп генераций бактерий, ведущих начало от одной и той же бульонной культуры, запаянной в ампулы.

Проникновение бактерий из одного отсека в другой в некотором смысле эквивалентно пересеву на свежую питательную среду того же состава. Известно, что за каждым таким пересевом следует процесс адаптации, но при многократных пересевах она ускоряется. В нашем эксперименте периодическая адаптация в летном приборе происходила на фоне воздействия факторов космического полета, поэтому направление и результат ее могут быть иными по сравнению с контролем. Результаты анализов подтверждают это предположение.

Количество клеток в 1 мл по отсекам летного и контрольного приборов различное (таблица 11). Только в отсеке № 3 летный вариант заметно превосходит контроль, в отсеках №4, 5 показатели близкие, а начиная с отсека № 6, показатели контроля существенно (в 2—5 раз) выше, чем у летного варианта. Если перейти к общему объему клеток в 1 мл, пропорциональному биомассе (эта величина получается умножением количества клеток в 1 мл на средний объем клеток в данном отсеке – см, далее), наблюдается та же закономерность (рисунок 9): в отсеке № 3 биомасса летного варианта в 60 раз превосходит контроль, а в отсеках № 6 – 9 биомасса контроля в 2-5 раз больше, чем в летном варианте. При этом в контроле наблюдается явная тенденция к возрастанию количества биомассы с увеличением номера отсека. Это свидетельствует о том, что указанная периодическая адаптация благоприятна для бактерий в данных условиях культивирования и ведет к постоянному повышению продуктивности культуры бактерий. В летном варианте количество биомассы в отсеках колеблется и скорее наблюдается тенденция к ее уменьшению с увеличением номера отсека. Это можно трактовать как результат ингибирующего действия факторов космического полета на продуктивность бактерий.

ТАБЛИЦА 11 – РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (КОЛИЧЕСТВО КЛЕТОК В 1 МЛ СРЕДЫ) P.VULGARIS ПО ОТСЕКАМ КАМЕРЫ РОСТ-4М2 В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА СТАНЦИИ «САЛЮТ-7».

Номер отсека	Летный вариант	Контроль
3	$(27,68\pm2,78)\cdot10^9$	$(10,71\pm1,73)\cdot10^9$
4	$(18,85\pm2,29)\cdot10^9$	$(23,30\pm2,55)\cdot10^9$
5	$(67,3\pm4,33)\cdot10^9$	$(66,29\pm4,30)\cdot10^9$
6	$(31,09\pm2,94)\cdot10^9$	$(48,62\pm3,68)\cdot10^9$
7	$(16,07\pm2,11)\cdot10^9$	$(52,93\pm3,85)\cdot10^9$
8	$(22,40\pm2,50)\cdot10^9$	$(92,09\pm5,06)\cdot10^9$
9	$(47,43\pm3,48)\cdot10^9$	$(135,29\pm6,14)\cdot10^9$

Анализ морфометрических данных показал, что динамика изменения размеров клеток летного и контрольного вариантов носит необычный ха-

морфологических характеристик, а также способность к роению под воздействием факторов полета у последовательных генераций микроорганизмов.

Материалы и методы.

Устройство РОСТ-4М2 представляет собой комплект 1 приборов, предназначенных для культивирования микроорганизмов, включающий: культивационную камеру, пробоотборник, блок хранения проб, термостат БИОТЕРМ-9 и холодильник БИОТЕРМ-10.

Блок с пробами хранится на протяжении эксперимента вплоть до доставки в лабораторию в холодильнике БИОТЕРМ-10, обеспечивающем температуру 4 °С. Культивационная камера с момента начала собственно летнего эксперимента находится в термостате БИОТЕРМ-9, который поддерживает заданную температуру в диапазоне 25—35 °С.

Подготовительная часть эксперимента проводилась по обычной схеме. Все части прибора подвергались стерилизации: оргстекло — γ-облучением (2 Мрад), металл — сухим жаром при температуре 165 - 180°С в течение 1,5 - 2 ч, резина — в автоклаве в течение 1 ч при 1,5 атм, стеклянные ампулы после запаивания - 5 %-ной перекисью водорода. Культура бактерий плотностью $3 \cdot 10^8$ клеток/мл запаивалась в ампулы 28.05.82 г.; сборка устройства и заправка питательной средой (аминопептид, разведенный дистиллированной водой 1:3 с добавлением 0,17 % агара Дифко) В стерильных условиях осуществлялась в период с 8 по 10.06.82 г. Собственно летний эксперимент происходил на борту комплекса «Союз-Т» - «Салют-7» 18 - 26.08.82г. с экипажем в составе В.Березовой, В.Лебедев, С.Савицкая, Л.Попов.

Блок с пробами был доставлен в лабораторию для послеполетных анализов 29.08.82 г. В анализы для каждой пробы входило: определение количества клеток в 1 мл среды, измерение длины и диаметра 300 клеток на микрофотографиях и обработка результатов измерений, исследование роения на твердой питательной среде и электронно-микроскопическое изучение ультраструктуры клеток.

Результаты и обсуждение.

Отбор проб из культивационной камеры РОСТ-4М2 производился последовательно один раз в сутки. Из отсека № 2 летного прибора операторам не удалось взять пробу, поэтому сравнение производится, начиная с третьего отсека (напомним, что в первом отсеке происходит раздавливание ампулы с инокулятом). Однако заметим, что если оценить среднее время между последовательными делениями при таких условиях культивирования P.vulgaris в 1 ч. то в одном отсеке прибора происходит смена в среднем 10-20 генераций бактерий, поскольку предварительные исследования показали, что период роста бактерий в одном отсеке (т.е. с момента попадания бактерий в этот отсек и до перехода в следующий) составляет 15-24 ч; эта величина была определена с применением индикатора роста - 2, 3, 5-

шихся параметров клетки. Можно определенно утверждать, что невесомость не приводит к развитию генетических сдвигов, обнаруживаемых на хромосомном уровне. При послеполетном культивировании клеток не обнаружено изменений параметров митотического цикла, митоза и структурной организации клеток.

Аналогичные результаты были получены в экспериментах с культурами клеток моркови, обладающих потенциальной способностью образовывать любую ткань. В невесомости из этих клеток были получены эмбриоиды, а затем уже на Земле из эмбриоидов выросли цветущие и плодоносящие растения, ни в каком отношении не отличавшиеся от обычных. Этот опыт показал, что невесомость не затрагивает не только способность хромосом к инвариантной редупликации, необходимую для нормального деления клеток, она не влияет также на специфический синтез транспортной РНК и белков, лежащих в основе дифференцировки тканей и органов.

В экспериментах с микроорганизмами на биоспутниках изучали в первую очередь выживаемость, наследственную изменчивость, а также способность генетических структур самостоятельно упразднять случайно возникающие ошибки строения. Эти процессы в совокупности характеризуют стабильность ДНК в клетке.

Результаты показали, что споры всех четырех генетических штаммов после пребывания в течение 20 суток в невесомости не отличались от спор контрольных серий ни по количеству жизнеспособных бактерий, ни по количеству наследственных изменений, связанных с неспособностью синтезировать три важнейших аминокислоты — триптофан, гистидин и метионин. Это является указанием на то, что невесомость не повлияла и на жизнеспособность, ни на мутабильность спор, находящихся во время полета в физиологически активном состоянии.

Отсутствие различий в выживаемости и возникновениях наследственных изменений между нормальными штаммами бактерий (Рес+ и Ро1+) и их мутантами с нарушенными системами репарации (Ро1) и рекомбинации (Рее) показывает также, что невесомость не влияет на эффективность репарационных и рекомбинационных процессов, которые играют важную роль в определении жизнеспособности бактерий и при контроле их мутабильности.

На основании этих данных можно предсказать, что простые формы жизни и протекание фундаментальных биологических процессов в клетках совместимы с невесомостью неограниченно долгое время.

Исследования в полетах биоспутников "Космос" будут продолжены и в будущем. Так же как и раньше, эти исследования будут способствовать усовершенствованию системы медико-биологического обеспечения пилотируемых космических полетов и выяснению общебиологических закономерностей, лежащих в основе жизнедеятельности земных организмов.

ОСОБЕННОСТИ НОЧНОГО СНА ОБЕЗЬЯН НА ЗЕМЛЕ И В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ «КОСМОС-1667»

Исследования, проведенные на здоровых людях в обычных условиях и в стрессовых ситуациях, показали, что структура сна является тонким и чувствительным индикатором функционального состояния и характера реагирования на стресс. Так, показано, что при активных попытках преодолеть стрессирующую ситуацию уменьшается представленность быстрого сна (БС) в ночном сне по крайней мере в первых его циклах, увеличивается латентный период БС, тогда как удельный вес дельта-сна (ДС) не меняется или даже увеличивается. В результате этого отношение длительности БС к длительности ДС в двух первых циклах уменьшается. Напротив, при отказе от поиска, при реакции капитуляции, повышается потребность в БС и подавляется глубокий медленный сон, что в конечном итоге приводит к увеличению соотношения БС/ДС в двух первых циклах.

Эксперименты, проводимые на животных, в целом подтверждают эти результаты: активно-оборонительное поведение обусловливает редукцию БС, тогда как пассивно-оборонительное поведение сопровождается увеличением представленности этой фазы до тех пор, пока компенсаторные возможности сохранены и во всех случаях обеспечивают более раннее начало БС. Таким образом, по структуре сна и особенно по соотношению глубокого медленного сна и БС можно судить о функциональном состоянии обследуемого и его готовности к преодолению стрессовых воздействий. Между тем функциональное состояние в свою очередь определяет степень и скорость адаптации к новым условиям и соответственно работоспособность в этих условиях. Это особенно значимо для лиц, выполняющих в экстремальных ситуациях ответственную работу, в частности для участников космических экспедиций. Есть основания считать, что как некоторые личностные психологические особенности человека, так и типологические особенности животных могут в значительной степени определять характер эмоционального и поведенческого реагирования на экстремальные ситуации, а, следовательно, и динамику функционального состояния. Очевидно, что выявление таких особенностей и их влияния на состояние человека и животных в условиях космического полета представляет исключительный интерес как для разработки методов коррекции функционального состояния в условиях самого полета, так и для отбора обследуемых.

Обезьяны по многим параметрам физиологической организации и поведения более других животных близки к человеку. Структура их ночного сна также очень сходна с таковой у человека. В связи с этим, по нашему мнению, макака-резус представляет собой адекватный объект для исследования динамики функционального состояния применительно к условиям космического полета. Необходимо, однако, учитывать, что наряду со всеми стрессовыми воздействиями космического полета (невесомость, длительным образом в специфике установок, в которых выращивают растения. Недавно оранжереия "Свет" на борту станции "Мир" была модифицирована, и на будущее запланированы эксперименты от семени до семени. Кроме того, разрабатываются новые установки для выращивания растений на борту международной космической станции

Эти новые установки будут иметь усовершенствованные системы освещения, подачи и контроля качества воздуха, регуляции температурного режима, подачи воды и питательных веществ в корнеобитаемую зону, а также системы сбора данных и мониторинга Новые установки увеличат возможности изучения биологии растений в будущем.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ КУЛЬТУРЫ PROTEUS VULGARIS ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСТРОЙСТВЕ РОСТ-4М2 НА СТАНЦИИ «САЛЮТ-7»

Введение

Результаты обширных исследований по культивированию бактерий P.vulgaris в условиях космического полета показали, что под воздействием факторов полета происходит изменение скорости роста, размеров, ультраструктуры и различных проявлений подвижности. Уровень и направлении этих изменений (ингибирование, стимуляция) зависит от степени анаэробиоза при культивировании факультативно анаэробных бактерий P. vulgaris в специализированных устройствах.

В приборах ИФС-1, обеспечивающих аэробные условия, производилась инокуляция в жидкую питательную среду и последующая фиксация в определенной точке ростовой кривой в зависимости от продолжительности эксперимента. В приборе ЦИТОС (совместные советско-французские эксперименты) бактерии выращивались в полиэтиленовых пакетах, частично проницаемых для воздуха окружающей среды, а фиксация материала в них происходила поочередно (по 4 пакета одновременно), что позволило впервые получить всю кривую роста микроорганизмов в условиях космического полета. В приборах РОСТ-1, -2, -3 культивирование происходило в длинных каналах, заполненных питательной средой, без доступа воздуха, при этом использовалась подвижность бактерий P.vulgaris., носившая в этих условиях характер хемотаксиса. Эти приборы возвращались на Землю с живой культурой, что позволило подвергнуть ее специфическим микробиологическим тестам, в частности, исследовать характерное для P. vulgaris роении на твердых питательных средах.

Новое устройство РОСТ-4М2 обладает многими достоинствами предыдущих приборов: условно аэробное культивирование, агаризованная питательная среда, предотвращающая возникновение конвекции и осаждение бактерий в наземных контролях, использование присущей P. vulgaris подвижности, возможность отбора и хранения проб на протяжении всего эксперимента. Все это позволило проследить динамику изменения ростовых и

Семена сосны вместе с семенами овса и бобов были размещены в миниатюрной оранжерее, показавшей себя надежной экспериментальной установкой для изучения эффектов микрогравитации на растения.

Ранее в экспериментах с растениями Tradcscantia paludosa на борту космических кораблей "Восток" и "Восход" микро- и макроспорогенез протекали нормально, однако 2,3% микроспор были обнаружены аномальные митозы. Такие же результаты получены при исследовании Tradescantia после полета "Биосателлита-П" Позднее цветущие растения Tradescantia paludosa на борту биоспутника "Космос-110" и космического аппарата "Зонд-7" сформировали семена. Полный вегетационный цикл от семени до семени в космосе был, наконец, осуществлен в эксперименте с Arabidopsis thahana (L) Heynh в приборе для выращивания растений "Фитон-3" на борту станции "Салют-7", "Фитон-3" имел прозрачные стенки и вегетационные сосуды с агаром в качестве питательной среды, блок для высеивания семян в условиях иякрогравитации, систему вентиляции, поддерживающую стерильные условия внутри камеры, а также флуоресцентные лампы дневного света Семена, высаженные во время полета, дали всходы, из которых выросли растения, сформировавшие репродуктивные органы "Фитон-3" был возвращен на Землю через 69 суток после посева семян. Внутри прибора находились семь зрелых растений, пять из которых достигли 10-11 см в высоту и сформировали 22 нормальные коробочки с семенами. Два других растения имели высоту 3-8 см и образовали 11 стерильных коробочек без семян. В контрольном приборе находились 8 растений Arabidopsis с 34 нормальными семенными коробочками Другие биологические показатели выращенных в космосе растений также имели существенные отличия от показателей растений наземных контрольных экспериментов Число биологически жизнеспособных семян, полученных в полетном эксперименте, было значительно меньше, чем в контроле, в полете погибло больше проростков, не сформировавших розетки. В зрелых растениях первого и второго поколений отсутствовали какие-либо морфологические изменения по сравнению с контрольными растениями. Это указывает на то, что морфологические изменения у выращенных в космосе растений являются, скорее, фенотипическими, чем генетическими.

В недавних попытках культивирования растений от семени до семени на борту станции "Мир" была использована оранжерея "Светоблок-М", в которой выращивали суперкарликовую пшеницу Tnticium aestivum. В течение 157 суток в космосе проращивали пять семян пшеницы, и только одно растение сформировало колос, который завершил фазы цветения и формирования семени через 7 суток после возвращения на Землю Другими словами, рост растений в космическом полете был приостановлен, скорее всего, в связи с неудовлетворительными условиями культивирования в оранжерее "Светоблок-М"

В общем можно сказать, что пока не найдены какие-либо убедительные доводы в пользу аргумента о том, что выращивание нескольких поколений растений в отсутствие силы тяжести невозможно Проблемы кроются глав-

ное пребывание в ограниченном пространстве кабины корабля) у обезьян имеет место дополнительный стрессирующий фактор, связанный с жесткой фиксацией для регистрации физиологических показателей. Такая жесткая фиксация создает хроническую фрустрацию потребности в активном поведении и сама по себе может приводить к отказу от поиска (особенно у животных «слабого» типа высшей нервной деятельности) и как следствие к функциональным расстройствам, а также к соматической патологии. Стресс, вызванный жесткой фиксацией и изоляцией, требует повышенной активности адаптационных механизмов (связанных со сном и фазой БС, и такое длительное напряжение защитных механизмов может вести к их дисфункции). Поэтому при анализе полученных результатов необходимо попытаться дифференцировать изменения в структуре сна, отражающие компенсаторные сдвиги, и изменения, отражающие состояние декомпенсации. По-видимому, именно проявлением декомпенсации в стрессовых условиях космического полета были изменения сна у обезьяны Бони на Biosatellite III: редукция ДС и БС и увеличение дремотных стадий по ходу эксперимента. Однако не исключено, что обезьяна по своим адаптационным и типологическим характеристикам принадлежала к животным со «слабым» типом высшей нервной деятельности и вследствие этого не могла преодолеть экстремальные воздействия.

Методика

Структура сна у двух обезьян — Верный и Гордый исследовалась во время космического полета на биоспутнике «Космос-1667» и в последующем контрольном эксперименте. Контрольный эксперимент проводился в макете биоспутника и имитировал условия эксперимента на биоспутнике (фиксация, условия питания и т. п.), за исключением невесомости. Длительность космического полета и контрольного эксперимента составляла 7 сут. Подготовка животных к полету проводилась в течение года и заключалась в выработке инструментальных рефлексов, в поэтапном приучении животных к жесткой фиксации и изоляции, к пребыванию в капсуле «Биос-Примат».

Период предполетной подготовки включал проведение операции по вживлению электродов. Вживление электроэнцефалографических (ЭЭГ), электромиографических (ЭМГ) и электроокулографических (ЭОГ) электродов проводилось в стерильных условиях под нем-буталовым наркозом. ЭЭГ-электроды, изготовленные из серебра, с шариком на конце и в диаметре 2 мм вживлялись эпидурально в правое полушарие головного мозга обезьяны в сенсорную и теменную кору, ЭМГ-электроды — в шейные мышцы, ЭОГ — в скуловые кости по краям глазниц. Анализ структуры сна проводился в соответствии с международной классификацией. В условиях полета «космические» сутки не отличались от земных, их фактическая продолжительность составляла 24 ч. Чередование естественного освещения осуществлялось по шкале московского времени. Включение света проводилось в 8 ч, выключение — в 24 ч. Видеорегистрация позволяла наблюдать за животными в дневные часы: во время наземных экспериментов ка-

ждые 2 ч по 5 мин, в полете сеансы наблюдения проводились во время пребывания биоспутника над территорией СССР.

Таким образом, можно сделать следующее заключение:

— полиграфическая структура сна свидетельствует о наиболее выраженных изменениях стрессорного характера в ночь перед полетом;

— адаптация к условиям полета сопровождается на первых этапах увеличением процентного содержания БС и высоким показателем отношения БС/ДС в первых циклах;

— обследованные обезьяны существенно различаются по представленности ДС как в условиях полета, так и в контрольных наземных исследованиях.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА БИОСПУТНИКЕ «КОСМОС-1887»

Искусственный спутник Земли «Космос-1887» был 8-м специализированным биоспутником, т.е. космическим летательным аппаратом, предназначенным для проведения медико-биологических исследований в космическом полете. На его борту размещались разнообразные организмы: бактерии, простейшие, растения, черви, насекомые, рыбы и земноводные. Исследования на этих биообъектах были объединены общей направленностью на дальнейшее изучение биологических эффектов невесомости, оценку глубинных последствий утраты силы тяжести и в конечном счете на развитие наших представлений о биологической : роли гравитации. Программа биологических экспериментов явилась логическим развитием исследований, проведенных на предыдущих биоспутниках, и включала ряд традиционных разделов: клеточную биологию, генетику, биологию развития; кроме того, в ней были расширены недавно начатые исследования восстановительных процессов и добавлен новый раздел — биоритмология.

Настоящая публикация имеет целью дать краткий, обобщенный обзор основных результатов этих экспериментов; более подробно они будут представлены соответствующими авторскими коллективами. На биоспутнике № 8 находились 10 крыс и 2 обезьяны.

Методика

Полет биоспутника «Космос-1887» продолжался 13,5 сут, с 29/IX по 12/X 1987 г. Система жизнеобеспечения спутника поддерживала следующие параметры среды: температуру 22—25 ^{0}С, давление 725—765 мм рт. ст., влажность 40—65%, p02 140—180 кПа, pCOa 2—3 кПа. Биообъекты находились в контейнерах, сообщающихся с атмосферой кабины спутника, в темноте, за исключением инфузорий, содержавшихся в термостате прибора «Цитос-3», и обитателей герметичного прибора «Аквариум.» (хлорелла, рыбы гуппи), где поддерживался суточный режим освещения.

Заправка контейнеров с биообъектами, установка их на борт производились за 2 сут до старта биоспутника. Основной наземный контрольный (синхронный) эксперимент был проведен с запаздыванием на 1 сут относительно полета в термостате, где воспроизводилась полетная динамика тем-

течение 24-33 дней в установке "Оазис-1М" на борту станции "Салют-4", по высоте и внешнему виду были идентичны контрольным, однако стебли и листья содержали меньше белка на 15%, целлюлозы - на 54% и крахмала - на 32% по сравнению с контрольными растениями существенно отличаясь от них по содержанию минералов. Некоторые из указанных различий могли быть связаны со спецификой функционирования технических устройств для выращивания растений в космическом полете.

На станции "Мир" редис Raphanus sativus и капусту Brassica deraclae выращивали в оранжерее "Свет". Несмотря на то, что в условиях микрогравитации корни сформировались, накопление сухого вещества в растениях редиса было в 2-5, а в китайской капусте - в 5-10 раз ниже, чем в растениях, выращенных на Земле в течение тех же 54 и 23 сут соответственно. У полетных растений были ярко-зеленые листья; нормальные морфологические показатели и нормальная дифференцировка тканей, однако их рост и развитие были замедленными. Как и в установке "Оазис-1М", в оранжерее "Свет" столкнулись с проблемой равномерного переноса влаги к корням растений, что поставило вопрос о том, являлись ли обнаруженные изменения результатом влияния микрогравитации или они были связаны с условиями выращивания растений в оранжерее.

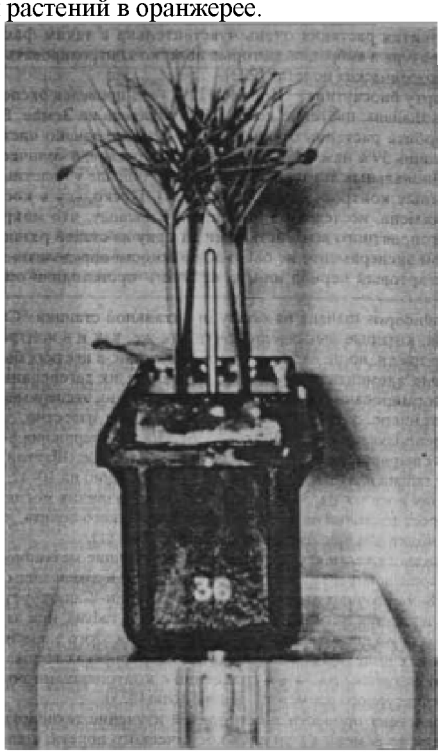


РИСУНОК 8 – МОЛОДЫЕ ПРОРОСТКИ СОСНЫ ПОСЛЕ ПОЛЕТА НА "STS-3".

В 1979 г. на борту биоспутника "Космос-1129" был проведен эксперимент с растениями Arabidopsis thaliana, цветение которых начиналось на Земле. В течение 18 суток пребывания на орбите растения сформировали семена, однако число плодородных семян составило лишь 59% наземных контрольных посевов, а количество стерильных семяпочек и эмбриональных деталей было намного больше у полетных растений, чем у растений наземных контрольных посевов. Поскольку в космосе появились жизнеспособные семена, исследователи пришли к выводу, что микрогравитация не оказывает неблагоприятного воздействия ни на одну из стадий развития растений. К сожалению, в этом эксперименте не было возможности определить, где - на Земле в 2-дневный предстартовый период или на орбите - происходили оплодотворение и эмбриогенез.

Проростки Arabidopsis thaliana на борту орбитальной станции "Салют-6" превратились в растения, которые выглядели почти так же, как и в контрольных посевах. растения обильно цвели, но не дали плодородных семян: в цветках были обнаружены только стерильные элементы андроцеи и гинецеи, а их дегенерация протекала на разных стадиях формирования цветка. К сожалению, эксперимент был проведен в закрытом контейнере, т.е. в условиях, которые, как известно, затрудняют прохождение фазы репродуктивного развития. После завершения 8-суточного полета в установке для выращивания растений на средней палубе "Шаттла" ростки и корни Pinus ellitti, Vigna radiata и Avena sativa были соответственно на 10-12 и 1-39% короче, чем в контрольных посевах на Земле. Данные различия могли быть связаны с воздействием на рост растений либо факторов космического полета, либо технических недостатков установки для выращивания растений (рисунок 8).

В отсутствие силы тяжести структуры, обеспечивающие механическую прочность, лишаются своей полезной функции, что может привести к изменениям в формировании этих структур. В 8-9-суточных экспериментах на станции "Салют" установлено уменьшение на 18% содержания лигнина в проростках Vigna radiata, при этом в проростках Pinus ellitti и Avena sativa достоверного снижения уровня этого элемента не наблюдали. В 24-суточных полетных экспериментах в проростках гороха, выращенных в полете, выявлено снижение на 54% в сравнении с контрольными посевами на Земле уровня другого структурного элемента - целлюлозы.

В будущем предстоит провести всестороннее изучение технологии выращивания растений от семени до семени в условиях космического полета, и для этого на борту космического аппарата потребуются сложные технические средства, которые смогут обеспечить активный фотосинтез, непрерывную подачу минералов, питательных веществ и подходящую газовую атмосферу. Необходимо также продолжить исследования влияния микрогравитации и других факторов космического полета на рост и репродукцию растений и одновременно продолжить разработку соответствующих установок для выращивания растений с целью их дальнейшего использования на борту космического аппарата. Например, растения, выращиваемые в

пературы воздуха с точностью ±0,1 °С на основании информации, поступавшей с борта по каналу телеметрии. Кроме того, для отдельных экспериментов проведены дополнительные контрольные и модельные опыты с целью вычленения эффектов некоторых факторов космического полета (ФКП).

По техническим причинам посадка биоспутника произошла в незапланированном районе, вблизи г. Мирный Якутской АССР. Из-за этого извлечь биообъекты удалось лишь через 1 сут после приземления, причем за это время температура воздуха в кабинеснизилась. Минимальная температура в контейнерах составила 15°С—это охлаждение было воспроизведено в синхронном контроле. Все биообъекты (за исключением рыб) от охлаждения не пострадали.

Результаты и обсуждение

Действие невесомости на клеточном уровне впервые было установлено на микроспорах традесканции: было показано изменение в космическом полете формы и размеров клетки, местоположение ядра, процесса клеточного деления. Эти данные подтверждены рядом отечественных и зарубежных исследователей, однако вопрос о механизмах такого влияния попрежнему остается открытым. Рассматривая возможность прямого эффекта невесомости, следует учитывать, что, с одной стороны, клетка представляет собой микроскопический химический реактор, функционирующий по законам термодинамики и не зависящий от наличия силы тяжести, но с другой стороны, клетка — механическая конструкция, которая в гравитационном поле испытывает напряжение и, возможно, должна затрачивать определенную энергию на поддержание «позиционного гомеостаза». Не исключено, что в невесомости снижаются энерготраты клетки на синтез сократительных белков цитоскелета, а «сэкономленная» энергия перераспределяется и используется на активацию метаболизма, в частности на ускорение клеточного деления.

Эксперимент со свободноживущими одноклеточными эукариотическими организмами — цилиатами Tetrahymena pyriformis (М. Г. Таирбеков, И. С. Ир-лина) был проведен в приборе «Ци-гос-3», разработанном во Франции. Прибор обеспечивал термостатирова-ние культур клеток и периодическую фиксацию биоматериала. Перед экспериментом одиночные клетки помещали в пластиковые пакетики (берлинго) емкостью 1,2 мл, содержавшие аксени-ческую питательную среду и ампулы с фиксатором. Одновременно заправляли по 2 берлинго: полетный (опыт) и наземный (контроль). Для этого отбирали по 2 только что разделившиеся (сестринские) клетки, что обеспечило полную идентичность опытного и контрольного биоматериала. Первоначально клетки содержались при 8° С. После выведения спутника на орбиту была установлена температура 25 °С, оптимальная для деления инфузорий. Фиксация производилась через 0, 12, 24, 36 и 48 ч после выведения на орбиту. Показано, что в невесомости произошло ускорение деления тетра-химен, клетки приобрели более сферическую форму, уменьшилось содержание в них белка, что согласуется с результатами ра-

нее проведенных исследований на другом виде инфузорий — парамециях.

На возможность стимуляции клеточного метаболизма в невесомости указывают также полученные данные об ускорении роста и старения вольфии (В. М. Абрамова) и о повышении уровня перекисного окисления липидов мембран клеток в культуре ткани гаплопаппуса (Е. Л. Кордюм, С. И. Жадько).

Для оценки влияния ФКП на про-кариотическую клетку использована лизогенная культура кишечной палочки E. coli (эксперимент предложен и проведен московскими школьниками, учениками 9-го класса А. В. Летаровым и С. В. Комаровым). Умеренный фаг в культуре E. coli обычно находится в неактивном (лизогенном) состоянии. При этом его ДНК встроена в геном бактерии-хозяина и реплици-руется вместе с ним. Физико-химические воздействия способны индуцировать переход фага в активное (литическое) состояние. Тогда происходят разрушение (лизис) клетки-хозяина и выход оформленных частиц фага в среду. В полете биоспутника «Космос-1887» установлено достоверное увеличение в 3,2 раза индукции фага, что согласуется с ранее полученными данными и объясняется предположительно действием космической радиации.

Предыдущие генетические эксперименты проводились главным образом с целью выявить повреждающее действие невесомости на наследственные структуры и оценить модифицирующий эффект невесомости в развитии лучевого поражения. Полученные результаты опубликованы в ряде обзоров. Генетические эксперименты на биоспутнике «Космос-1887» были направлены на решение новой задачи: оценить роль генетического аппарата клетки в реакции на невесомость, в возможном механизме адаптации к этому фактору. Можно думать, что упомянутое выше стимулирующее действие невесомости реализуется через регуляторное изменение активности генов. Один из предполагаемых механизмов адаптивной перестройки в геноме — изменение гетеро-хроматизации отдельных участков ДНК, репрессия-дерепрессия целых генных блоков. Для проверки этой гипотезы у дрозофилы оценивали частоту мейотического кроссинговера (перекреста между хроматидами гомо-логичных хромосом) на разных локу-сах одной хромосомы. Использованы 2 линии D. melanogaster: дикая Ore-гон-R и мутантная, содержащая цепочку генов-маркеров, проявляющихся в фенотипе (А. В. Смирнова). После полета проведено анализирующее скрещивание.

Другие возможные механизмы активации генома — амплификация генов и полиплоидизация ядра. С целью оценки роли этих механизмов в реакции на ФКП проведено цитологическое исследование оогенеза у насекомых — дрозофил (А. А. Нейфах, Т. А. Буракова) и земноводных — тритонов (Л. В. Белоусов, Т. В. Остроумова, Н. Л. Делоне). В яичниках дрозофилы не выявлено изменений, так что участие механизма полиплои-дизации в этом опыте не подтвердилось. В то же время в ооцитах тритонов после полета установлено увеличение числа и размеров ядрышек, происходившее одновременно с увеличением диаметра ооцитов, что свидетельствует о возникновении дополнительной амплификации генов рДНК под влиянием

ТАБЛИЦА 10 – ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА МИТОТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС КЛЕТОК МЕРИСТЕМЫ ВЕРХУШКИ КОРИЯ.

Полет	Растение	Митотический индекс, %	
		контроль	эксперимент
"Биосателлит-П	Пшеница	11,6	9,2*
"Союз-12"	Горох	5.2	3,9
"	Листовой салат	3,3	2,8
"Салют-6"	Тоже	8,2*	5,7*
"	Ячмень	11,5**	7,7*
Космос-1514	"	22,8	21,9
Космос-1667	Листовой салат	8,7	8,4
*Разница статистически достоверна, p = 0,05. **Контрольный посев на бортовой центрифуге при 1 g.			

В менее продолжительном эксперименте по программе полета "Спейслэба D-1" длина корней Lens culinaris после 25-часового роста в условиях микрогравитации не отличалась от длины корней у контрольных растений при 1g. В то же время в экспериментах на борту "Салюта-7" гипокотили выросли на 15% больше, чем на бортовой центрифуге при 1g. Аналогичное увеличение длины гипокотилей салата было замечено в 165-часовом эксперименте на борту биоспутника "Космос-1667".

Эксперименты в космических полетах необходимы также для получения надежных данных в диапазоне силы тяжести от 0,01 до 0,1 g. Небольшая центрифуга "Биогравистат-lM" на борту станции "Салют-7" создавала центробежные силы величиной 0,01, 0,1 и 1g благодаря использованию двух платформ, одна из которых оставалась стационарной, а другая могла вращаться. В этой установке были проведены три эксперимента с растениями Lactuca sativa. Космонавты увлажняли семена и спустя 104 ч проводили их фиксацию в химическом растворе. В условиях микрогравитации скорость роста корней у проростков салата уменьшилась на 11,4% по сравнению с полетным контролем на центрифуге при 1g. При 0,1g ростки салата (гипокотили) были немного длиннее, чем на центрифуге при 1g, однако длина корней была одинаковой. При 0,01g рост корней был достоверно снижен, в то время как длина гипокотиля была промежуточной между таковой у растений при 0,1g и 1g.

РЕПРОДУКЦИЯ

Для определения роли гравитации в поздних стадиях развития растений, особенно в период формирования репродуктивных органов, оплодотворения, эмбриогенеза и образования семян, необходимо, чтобы в условиях космического полета прошел полный цикл развития - от прорастания семян до образования новых семян. Репродуктивная фаза в цикле развития растения очень чувствительна к таким факторам внешней среды, как температура и вибрации, которые нелегко контролировать при проведении экспериментов в космических полетах.

26% обнаружено в меристемных клетках корней пшеницы, выращенной в условиях микрогравитации, однако такой же эффект выявлен и после воздействия вибраций. Хромосомные аномалии наблюдали в меристемных клетках корней проростков Crepis capillaris. Поскольку эти проростки были зафиксированы в космическом полете, выявленные изменения не могли быть вызваны факторами, действующими в ходе спуска с орбиты и приземления космического аппарата. Случаи фрагментации и разрыва хромосом также наблюдали в меристемных клетках корней Avena sativa и Helianthus annuus, выращенных в космосе. Вместе с тем в других исследованиях хромосомных изменений в корнях Triticum vulgare, Tradescantia и Vigna radiata не отмечено. Таким образом, вывод о том, что хромосомные изменения вызваны исключительно микрогравитацией, а не другими факторами космического полета, пока еще делать преждевременно.

Факторы космического полета могут также оказывать влияние на клеточное деление, о чем свидетельствует увеличение числа многоядерных клеток как в присутствии, так и без митотического ингибитора колхицина, а также появление ядер, в которых недостает одной или более хромосом. В большинстве меристемных клеток корней, выращенных в космосе, митотический индекс был ниже, чем в контролях (таблица 10). Данные, полученные в экспериментах со спорами Tradescantia, убедительно свидетельствуют о том, что микрогравитация действительно вызывает изменения в митотическом процессе. Воздействие микрогравитации на клеточную пролиферацию, удлинение и дифференциацию во время роста корня изучали у проростков Lactuca sativa в эксперименте на борту станции "Салют-7". Проростки выращивал в течение 84 ч как в условиях микрогравитации, так и на центрифуге при 1g, а затем фиксировали in situ. Средняя длина корней, выросших в условиях микрогравитации, была достоверно меньше, чем у контрольных проростков на центрифуге. Также были выявлены различия в клеточном росте. Тщательные морфометрические исследования корневых клеток показали, что в условиях микрогравитации меристемные клетки прекратили деление и стали раньше дифференцироваться. Такое же заключение было сделано в ранее проведенном эксперименте с проростками салата на борту станции "Салют-6". В упомянутых экспериментах по выращиванию Lepidium sativum 90% проростков, выросших в условиях микрогравитации, образовали боковые корни в отличие от 72% проростков, которые росли при 1 g на центрифуге.

ФКП, включая невесомость. Таким образом, гипотеза об участии процесса амплификации в предполагаемом стимулирующем эффекте невесомости представляется интересной и, естественно, нуждается в дальнейшей проверке.

Цитологические исследования были проведены на лимфоцитах крови обезьян Macaca mulatta (2 полетных и 4 контрольных животных) до и после космического полета. Анализировали метафазы 1-го и 2-го митозов (С. М. Кузин, А. П. Жваликовская, Н. Л. Делоне). В 1-м митозе учитывали хромосомные нарушения, во 2-м — сестринские хроматидные обмены. Показано, что условия космического полета и возвращения на Землю привели к уменьшению процента делящихся лимфоцитов в периферической крови обезьян. У полетных животных обнаружено некоторое увеличение частоты хромосомных перестроек и сестринских хроматидных обменов, существенное увеличение ядрышкообразующих ассоциаций. Эти факты позволяют предположить, что в процессе адаптации обезьян к невесомости и реадаптации к силе тяжести Земли может участвовать и хромосомный аппарат.

Циркадианные (околосуточные) ритмы (ЦР) составляют биологическую основу распределения во времени жизнедеятельности организма. Исследование ЦР в космическом полете до сих пор, как правило, проводили на фоне суточного режима освещения. Между тем световой режим неизбежно скрывает, маскирует возможные изменения ЦР. Для того чтобы «в чистом виде» выявить эффект ФКП, необходимо исследовать спонтанную динамику ритма, т. е. наблюдать свободнотекущие ЦР при постоянных условиях. Длину свободнотекущего периода в космическом полете впервые удалось оценить в эксперименте на жуках-чернотелках Trigonoscelis gigas в эксперименте на биоспутнике «Космос-1887» (А. М. Алпатов, Ю. А. Евстратов, В. Б. Чернышев). Жуки находились в темноте в индивидуальных ячейках. До и после полета в течение 8—10 сут у них регистрировали двигательную активность. Под влиянием космического полета у 7 из 8 жуков произошло достоверное сокращение периода свободнотекущего ЦР. У 2 жуков после приземления наблюдалось постепенное восстановление длины периода до исходной (допо-летной) величины. После полета на тех же животных был проведен контрольный эксперимент, где воспроизводились вибрации, характерные для активных участков полета (взлета и посадки), и охлаждение, имевшее место после приземления из-за посадки биоспутника в нерасчетном районе. Оба воздействия не сказались на периоде ЦР, что позволяет приписать обнаруженный эффект в основном действию невесомости. Этот эффект важен, поскольку период ЦР — фундаментальная характеристика цирка-дианной системы организма. Известно, что величина периода гомеостатирова-на и весьма мало зависит от внешних факторов, за исключением тех, что играют роль периодических сигналов времени (свет, реже температура). Гравитация, разумеется, не относится к числу последних, поэтому данный эффект представляется несколько неожиданным. Между тем известно, что у обезьяны наблюдается удлинение периода ЦР при длительном действии перегрузок на центрифуге. Не исключено, что период ЦР

окажется еще одним гравитационно зависимым биологическим параметром организма. Во всяком случае установленное сокращение спонтанного периода у жуков позволяет предположить, что в космическом полете изменяется биологическая потребность организма в продолжительности интервалов активности и отдыха, в длительности оптимальных «космических суток».

Изучение эмбриогенеза в космическом полете ранее привело к заключению, что если невесомость и влияет на развитие, то лишь на самых ранних его стадиях, до образования гаструлы, да и то нарушения в дальнейшем регулируются. Между тем эксперимент, проведенный Европейским космическим агентством в полете «Спейслэб», выявил пагубное влияние невесомости на эмбриональное развитие насекомых, особенно на определение его стадии. Этот эксперимент был воспроизведен в полете биоспутника «Космос-1887», причем после полета изучались как эмбрионы (И. А. Ушаков, А. М. Алпатов, Ю. А. Захваткин), так и вылупившиеся личинки (Х. Бюкер, Д. Мес-ланд, Г. Хорнек, Г. Райц) индийского палочника Carausius morosus. С целью выявления наиболее уязвимых периодов развития для эксперимента были отобраны яйца насекомого, соответствующим образом ранжированные по возрасту. После полета поэтапная фиксация биоматериала дала информацию о динамике проявления и компенсации эффектов ФКП. Детектирование треков заряженных частиц позволило оценить их поражающее действие на развитие насекомых. Оказалось, что собственно эмбриональное развитие не зависит от действия ФКП:

не обнаружено аномалий, отклонений или задержек развития в полете, даже в том случае, когда на яйца попадали тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ) космической радиации. В то же время после полета установлено резкое снижение процента вылупившихся личинок и достоверное учащение среди них морфологических аномалий, причем отмечен комбинированный эффект невесомости и ТЗЧ. Не исключено, что невесомость может вызывать скрытые отклонения развития, проявляющиеся на более поздних стадиях. Целесообразно более тщательно изучить процесс вылупления личинок во время и после пребывания в невесомости как потенциально критический, уязвимый для ФКП этап онтогенеза.

Регенерация — процесс восстановления поврежденных тканей и органов — в космическом полете стала предметом изучения лишь недавно. В эксперименте на испанских тритонах Pleurodeles waltlii на предыдущем биоспутнике «Космос-1667» впервые было показано, что регенерация в невесомости проходит нормально, а через несколько суток после приземления наблюдается ускорение регенерации, увеличение клеточной пролиферации в бластеме. Повторный эксперимент, проведенный на биоспутнике «Космос-1887» (исполнители — В. И. Миташов, Э. Н. Григорян, Э. А. Ойгенблик), подтвердил эти данные. Помимо, тритонов, для изучения посттравматической регенерации использовали плоского червя — планария Tugesia tigrina (исполнитель—А.М.Морозов, ученик 8-го класса) и проростки бальзамина Impatiens balsamina (исполнители — В. Г. Чучкин, В. Б.

проксимальном конце статоциста и вокруг ядра, в то же время положение митохондрий и ядра не менялось. Относительные объемы гиалоплазменных и липидных тел увеличивались, а амилопластов, митохондрий, диктиосом и вакуолей - уменьшались; изменения в колюмеллярных клетках и ядерном объеме гравирецепторных клеток корней Z. mayz отсутствовали. Результаты исследований в космических полетах и в наземных экспериментах указывают на то, что амилопласты являются единственными элементами гравирецепторных клеток, которые всегда меняют свое положение в зависимости от вектора силы тяжести. Расположение всех других структур клетки остается неизменным.

ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН

До наступления эпохи космических экспериментов велись дебаты о том, является ли характер роста растения специфической реакцией на гравитацию, либо ранние фазы прорастания семян генетически детерменированы. Верность последнего предположения была доказана в космических экспериментах с семенами одно- и двудольных растений. Хотя семена действительно прорастали в условиях космического полета, выросшие там проростки порою отличались от наземного контроля по морфологическим, цитологическим и биохимическим показателям. Методология определения этих структурных и функциональных изменений непроста, так как наблюдавшиеся изменения были незначительными. Более того, выяснению механизмов, обусловливающих данные изменения, мешают такие факторы космического полета, как ускорение на этапе запуска на орбиту, шум и вибрации, микрогравитация, радиация и ускорение на этапе вхождения в плотные слои атмосферы Земли. Все это привносит в полетный эксперимент очень сложный комплекс переменных параметров, поэтому очень важно, чтобы на борту космического корабля использовалась центрифуга для проведения контрольных экспериментов с целью выявления действия переделенных и других, пока еще неизвестных факторов космического полета.

РОСТ

Сведения о взаимодействии растительных клеток с силой тяжести на фазах пролиферации, удлинения и дифференциации, а также об их функционировании в условиях микрогравитации до сих пор весьма ограничены. Эксперименты на центрифугах показали, что структура цитоплазмы меристемных клеток не столь восприимчива к гипергравитации, как гравирецепторных клеток. Тем не менее, отмечены некоторые изменения ультраструктуры меристемной клетки в условиях микрогравитации, а именно в растениях Lepidium sativum жировые капельки проявляли склонность к объединению, а образование клеточных пластинок было нерегулярным. Противоположные результаты опубликованы после выращивания проростков Zea mays на борту "Космоса-1514": в одном эксперименте в клетках присутствовали структурные изменения, однако в другом эксперименте ультраструктура меристемных клеток не менялась.

Увеличение по сравнению с наземным контролем объема ядра от 18 до

Брауном было сделано предположение, что регуляция осуществляется за счет самогенерируемых осцилляции в процессе роста в пределах локальной ткани. Имеются данные о том, что индолилуксусная кислота, гормон роста, вырабатываемый в апексе органа, движется в стеле, а затем переносится в радиальном направлении симпластически через плазмодесмы к клеткам тканей, ограничивающих рост (кортекс или эпидермис). Симпластический транспорт позволяет осуществлять метаболический контроль над процессами, которые в ином случае подчинялись бы только физическим законам диффузии и абсорбции - процессам, подчиняющимся второму закону термодинамики. Циркумнатация в своей основе универсальна, поскольку маловероятно чтобы рост органа и сопровождающие его механические стрессы, вызывающие изменения локализованной плазмодесматической проводимости, могли оставаться симметричными в течение длительного периода времени.

ГРАВИРЕЦЕПТОРНЫЕ КЛЕТКИ

Процесс прорастания включает согласованные процессы клеточного деления, удлинения и дифференциации в осевых органах проростка. Большая часть проведенных к настоящему времени исследований по выяснению того, может ли гравитация взаимодействовать с этими процессами на клеточном уровне, концентрировали внимание на корневой системе. В условиях микрогравитации направление роста осевых органов определяется положением зародышевой ткани в семени. Исходя из факта структурной нестабильности гравирецепторных клеток, корни должны быть зафиксированы в космическом полете. В течение 104 ч проростки Lactuca sativa выращивали в условиях микрогравитации, на центрифуге при 1 g на борту станции "Салют-6" и на клиностасе в наземном эксперименте (2,2 об/мин). Проростки были зафиксированы в космическом полете, и колюмеллярные клетки корневого чехлика исследовали под световым микроскопом. В условиях моделированной микрогравитации на горизонтальном клиностате было обнаружено достоверное изменение только в распределении амилопластов - в космосе они равномерно распространились по всей цитоплазме, в то время как место нахождения ядра существенно не изменилось, оставаясь в проксимальном конце клетки. У трех видов растений Lens culinaris, Lepidium sativum и Zea mays выявлено формирование гравирецепторных клеток в условиях микрогравитации в корневом чехлике. В случае L. sativa и L. culinaris эти клетки могли реагировать на гравитропную стимуляцию. В условиях микрогравитации ультраструктура гравирецепторных клеток Lepidium sativum изменялась так же, как и у Lactuca sativa, т.е. амилопласты распространялись по всей клетке, а места нахождения других органелл не менялись. Та же картина наблюдалась в гравирецепторных клетках корней Zea mays, выращенных в условиях космоса. В последнем случае статолиты были несколько меньше, чем у контрольных растений, а эндоплазматический ретикулюм сбивался в сферические и эллипсоидные массы. В гравирецепторных клетках выращенного в космосе Lens culinaris амилопласты не распространялись по всей цитоплазме, а сосредоточивались в

Иванов, В. Н. Филиппенко). У бальзамина оценивали восстановление корневого чехлика (органа гравирецепции) в зависимости от величины удаленной части. Оба эксперимента не выявили эффектов ФКП, регенерация в полете протекала нормально.

ТАБЛИЦА 9. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА БИОСПУТНИКЕ «КОСМОС-1887»

Биообъекты	Показатель	Эффект космического полета
Лизогенная культура кишечной палочки	Индукция умеренного фага Выживание бактерий	Увеличение в 3 раза (P<0,01)
Тетрахимена	Клеточная пролиферация Обьем клеток Форма клеток Содержание ДНК Содержание белка	Ускорение (p<0,05) 0 Более сферическая 0 Уменьшение (p<0,05)
Хлорелла (автотрофная культура)	Количество автоспор Прирост биомассы	Увеличение 0
Вольфия	Рост Старение	Стимуляция Ускорение
Гапдопаппус (культура ткани)	Перекисное окисление липидов Ультраструктура клетки	Увеличение 0
Ооциты: Дрозофилы рыб гуппитритонов	Плоидность ядер Развитие новой генерации Размер ооцитов Количество и размер ядрышек	0 Увеличение
Самки Дрозофилы	Частота мейотического кроссинговера	Больше или меньше в зависимости от локуса
Яйца палочника	Эмбриональное развитие Вылупление личинок	0 Повышенная гибель, аномалии
Рыбы гуппи (мальки)	Эмбриональное развитие Вестибулярный аппарат Плавательный пузырь	0 Не заполнен воздухом
Жуки-чернотелки	Период свободнотекущего ЦР	Сокращение (p < 0,005)
Бальзамин (проростки)	Регенерация корневого чехлика	0
Планарии Тритоны	Регенерация тела Регенерация конечностей и хрусталиков	0 В полете—0, спустя 2 нед—ускорение
Лимфоциты обезьян	Сестринские хроматидные обмены Количество ядрышек	Незначительное увеличение Увеличение

Основные результаты биологических экспериментов на биоспутнике «Космос-1887» суммированы в таблице.

Дальнейшие исследования, планируемые к проведению на перспективных биоспутниках, будут иметь общую цель: выяснить биологическую

роль невесомости как экологического фактора, оценить глубину и характер ее действия (повреждающее, модифицирующее, стимулирующее, облегчающее) на разных уровнях организации жизни. Практическими результатами исследований будут заключение о том, насколько целесообразно и необходимо применение в длительном полете защиты от невесомости (создания искусственной силы тяжести), рекомендации по разработке методов профилактики, обоснование принципов подбора видового состава будущих космических экосистем.

Исследования будут проводиться на клеточном, организменном и популяционном уровнях. В области клеточной биологии стоят задачи поиска гравитационно зависимых процессов в клетке, неспецифических грависенсоров, выявления адаптивных изменений в клетке под влиянием невесомости, изучения их механизмов и биологического «смысла». На уровне целостного организма предстоит оценить неспецифическое действие невесомости, выяснить зависимость эффекта невесомости от линейных размеров (массы тела) и экологии организма, изучить изменение биологических потребностей организма, длительное время живущего в условиях невесомости, в том числе в ряду поколений. Популяционные исследования должны помочь нам выяснить направление и скорость процесса микроэволюции под действием невесомости как фактора естественного отбора.

10.2 ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ "САЛЮТ–6"

В 1977–1978 годах был осуществлён полёт на орбитальной станции "Салют–6" экипажа в составе Ю.В. Романенко (командир) и Г.М. Гречко (бортинженер) длительностью 96 суток. В процессе полёта экипаж выходил в открытый космос для инспекции стыковочного узла, провёл работу с двумя экспедициями посещения и грузовиком "Прогресс–1".

Медицинские проблемы состояли в поддержании хорошего состояния здоровья и высокой работоспособности экипажа в полёте и после его завершения, а также в изучении феноменологии и механизмов адаптации к условиям полёта и в оценке эффективности применения профилактических средств.

1. Характеристика условий полёта

Обычная двух газовая среда, близкая к земной атмосфере, незначительная величина радиационного воздействия, земной суточный цикл труда и отдыха.

Физическая тренировка 2,5–3 часа ежедневно, профессиональная деятельность 8 часов, 2,5 часа – на 4–х разовый приём пищи. Профилактические средства: комплексный тренажёр типа тредбана с системой фиксации и нагрузкой по продольной оси тела (50 кг), велоэргометр, нагрузочные костюмы длительного ношения, вакуумный комплект в виде брюк для создания отрицательного давления на нижнюю часть тела, миоэлектростимулятор, послеполётный профилактический костюм, водносолевые добавки.

Для профилактики метаболических изменений в сердечной мышце

ментах с клиностатированием. В статоцитах корней, выращенных на клиностате Lepidium sativum, менялось место нахождения амилопластов, снижалось содержание крахмала, а ядро и эндоплазматический ретикулум смещались. В статоцистах Pisum sativum в условиях клиностатирования происходило перемещение ионов кальция между органеллами и главной гетерогенной частью цитоплазмы - гаалоплазмой.

В экспериментах с клиностатированием были также замечены изменения функций клеток меристемы. Клеточный цикл в корнях Lepidium sativum укорачивался. В экспериментах с клиностатированием не обнаружено снижения митотического индекса меристематических клеток в корнях Triticum vulgare, Pisum sativum и Lactuca saliva, хотя интерфазное ядро увеличивалось как в экспериментах на клиностате, так и в космических полетах. Обобщая имеющиеся данные, следует отметить, что клиностат может быть использован для моделирования отдельных эффектов микрогравитации в кратковременных экспериментах на мелких объектах как, например, проростки. Вместе с тем отмечены некоторые различия в результатах аналогичных экспериментов на клиностатах и в космических полетах.

ЦИРКУМНАТАЦИЯ

Циркумнатация, или круговые вращения верхушки растущего стебля, представляют собой колебательные движения органов растущего растения. Редко бывает, чтобы какой-либо растущий орган в течение продолжительного времени вытягивался строго линейно, кончик стебля, колеблется вокруг среднего направления своего роста таким образом, что в проекции он описывает эллипс. Период осцилляции варьирует в диапазоне от 50 до 200 мин. Первая попытка объяснения циркумнатации сводилась к модели внутреннего осциллятора Дарвина, согласно которой данное явление зависит от внутреннего процесса, управляемого внутренним осциллятором колебаний. В 1921 г. Грэдманн предложил геотропную модель по типу обратной связи, объясняющую нутационные колебания как процесс гравитропного проскока. Согласно геотропной модели, колебательные движения растений в условиях микрогравитации не будут происходить, в то время как согласно модели внутреннего осциллятора прогнозируется их продолжение.

Исследования на клиностатах не установили гравитационного порога циркумнатации, поскольку в этих экспериментах сохраняется значительная двигательная активность растений. Эксперимент в космосе, давший ответ на этот вопрос, был проведен в 1983 г. по программе полета "Спейслэб D-1". Было показано, что гипокотили подсолнечника продолжали совершать круговые вращения в условиях микрогравитации. При выполнении программы "Спейслэб D-1" наблюдали также связанные с ростом движения корней садового кресс-салата, которые составляли примерно половину цикла циркумнатации. Позднее в полете по программе "IML-I" Круговые движения были зарегистрированы у пшеницы и овса (Heathcote D., личное Сообщение). Данные результаты отвергают геотропную модель по типу обратной связи, но при этом они требуют выяснения механизма внутреннего регулирования и универсальности циркумнатации.

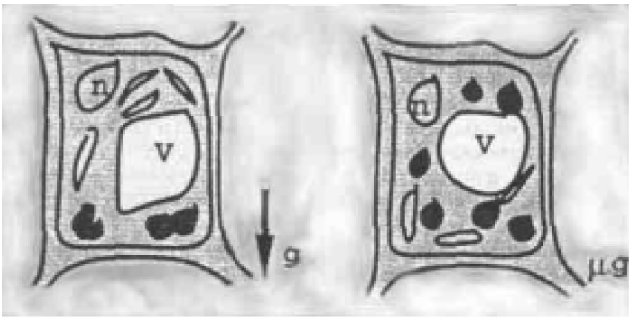


РИСУНОК 7 – СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СЕДИМЕНТАЦИИ ЧАСТИЦ В РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКЕ.

В условиях земной гравитации (А) амилопласты (черные частицы) оседают в самой нижней части клетки, в то время как в условиях микрогравитации оседания не происходит (Б); n - ядра; V - вакуоли

Для изучения некоторых вопросов гравитационной физиологии можно применять горизонтальные клиностаты. В этих установках растения помещают в горизонтальное положение параллельно оси вращения. Скорость вращения клиностата должна быть подобрана так, чтобы у статолитов не было времени опуститься по одной из боковых стенок гравирецепторной клетки. Если скорость слишком мала, статолиты скапливаются на одной стороне клетки и в результате происходит гравитропная индукция. Если скорость очень высокая, статолиты скапливаются на одной из боковых стенок клетки, вызывая гравитропную реакцию. Другим важным моментом при использовании клиностата является то, что ось клиностата должна быть точно горизонтальной. В длительных экспериментах даже самое незначительное отклонение может вызвать существенную одностороннюю гравитропную индукцию вдоль осевого органа.

Даже в случае, когда все перечисленные выше требования выполняются, существует принципиальная разница между условиями эксперимента на клиностате и в космическом полете. Вес самого организма на клиностате не исчезает, равно как сохраняется нагрузка на опорные структуры организма и клеток. На клиностатах сохраняются также седиментация, плавание, внутриклеточное гидростатическое давление. Другие различия могут быть связаны с факторами, характерными для космического полета, как, например, запуск и возвращение на Землю, радиация, а также изменения в поведении газов и жидкостей в условиях микрогравитации. На клиностате, как и в условиях микрогравитации, прорастание семян, морфогенез и рост проростков, по-видимому, проходят нормально. Тем не менее, в обоих случаях наблюдается ряд изменений в структуре и функции, которые можно рассматривать как реакцию растения на необычные условия гравитации.

Физиологические механизмы, посредством которых микрогравитация оказывает воздействие на рост растений, остаются в основном неизвестными, однако есть сообщения о некоторых интересных находках в экспери-

применялись фармакологические препараты: инозия–ф, панангин, оротат калия.

2. Общее состояние космонавтов

Основная фаза адаптации у всех экипажей характеризовалась появлением при переходе у невесомости пространственных иллюзий ("опрокидывание кзади"), постепенно развивающимся ощущением прилива крови к голове и заложенности носа, одутловатость тканей лица, снижением аппетита, а также ощущением дискомфорта, усиливающимся при движениях головой. Степень выраженности описанных реакций варьировала у разных космонавтов, причём у 3–х космонавтов имела место рвота, возникающая после приёма пищи.

Вегетативные нарушения практически исчезли к 4–му дню полёта. Ощущения прилива к голове, хотя и сглаживались в течение 7–10 дней. Однако у основного экипажа в стёртой форме отмечались на протяжении всего полёта, усиливаясь в начале физической работы, при утомлении, а также при потреблении большого количества жидкости.

В первые 10 дней полёта, а также в последний месяц полёта основной экипаж отмечал появление усталости, снимающейся ночным сном.

3. Результаты исследований в полёте

Частота сердечных сокращений у командира во время полёта была несколько ниже или не отличалась от средних предполётных величин, а у бортинженера превышала эти величины и к концу полёта характеризовалась тенденцией к увеличению.

Показатели артериального давления у командира в начале превышали средние предполётные значения, затем постепенно снижались и на 30–е, 43–е и 49–е сутки были меньше предполётных величин. В дальнейшем конечное систолическое и среднее давления практически не отличались от предполётного уровня.

Ударный и минутный объём кровообращения у обоих космонавтов значительно колебался, но в целом был меньше предполётных значений.

По данным реографических исследований у обоих космонавтов наблюдалось увеличение пульсового и минутного кровенаполнения сосудов головы. У командира эти явления были наиболее выражены на 60–е и 77–е сутки полёта и сопровождалось снижением тонуса сосудов, нарастающим к концу полета. У бортинженера тонус крупных сосудов несколько повышался, тонус артериол и вен выраженно снижался.

Давление в ярёмной вене у обоих космонавтов было значительно увеличенным, что обусловлено перераспределением крови.

Объём голени к концу полёта у командира был уменьшен на 16,8 %, у бортинженера – на 9,2 %.

При ЭКГ обследовании патологических изменений не выявлено.

Таким образом, космонавты во время 96 суточного пребывания на орбите сохраняли достаточную работоспособность и успешно выполняли намеченную программу полёта.

Широкая программа проведённых экспериментов не выявила изменений, которые бы препятствовали дальнейшему увеличению продолжительности космических полётов.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Исследования проводились не центробежной машине радиусом 8 м. Испытатели располагались в достаточно просторной камере на стреле центрифуги, при этом в первой серии (6 человек) они находились в горизонтальном положении, головой к центру вращения. Обследуемые второй группы (6 человек) размещались в той же камере, но на протяжении всего периода вращения сохраняли активный двигательный режим, находясь преимущественно в вертикальной положении; в данной серии, следовательно, кроме центростремительных, на человека действовали прецессионные и кориолисовые ускорения. Третья серия (5 человек) являлась контрольной к первым двум, то есть исключалось воздействие ускорений и ограничивалась двигательная активность (они находились в горизонтальной положении).

По ходу эксперимента регистрировалось артериальное давление, частота сердечных сокращений, записывались сфигмограммы сонной, бедренной и лучевой артерий. Рассчитывалась скорость распространения пульсовой волны по сосудам мышечного и эластического типа и определяется период изгнания крови у левого желудочка; на основе сопоставления перечисленных гемодинамических параметров с помощью формулы Брелизера вычисляется ударный объём крови. Кроме того, рассчитывалось общее сопротивление кровотоку. Внутричерепное кровообращение исследовалось методом реоэнцефалографии.

Результаты исследований позволяют установить, что в исходном состоянии основные показатели системного и внутричерепного кровообращения у обследуемых всех трёх серий существенно между собой не отличались, что дало достаточно оснований при дальнейшем рассмотрении материала проводить анализ в сравнительном плане.

Пребывание обследуемых в условиях 4–х суточной гиподинамики привело к снижению частоты сердечных сокращений, уменьшению диастолического и бокового, пьезометрического артериального давления, пульсовая амплитуда изменилась незначительно, скорость распространения пульсовой волны снижалась, ударный и минутный объём кровообращения увеличивался. Со стороны внутричерепного кровообращения отмечалось снижение реографического индекса, возрастание дикротического показателя и уменьшение времени прохождения пульсовой волны на участке сердце–мозг; длительность анакроты практически не изменилась.

У испытуемых, сохранивших в условиях эксперимента активный двигательный режим, наблюдалась иная направленность изменения физиологических функций. В начальный период вращения отмечалось возрастание диастолического артериального давления при сохранении на стабильном уровне бокового, пьезометрического и конечного, систолического артери-

вопроса, на которые трудно ответить на основании экспериментов в условиях земной гравитации, и поэтому они требуют проведения экспериментов в космических полетах:

1) каков порог восприятия силы тяжести и 2) как растения растут в отсутствие силы тяжести?

Что касается первого вопроса, то для корней и колеоптилей овса с помощью клиностатирования определены пороговые величины $1{,}3 \times 10^{-4}$ g и $1{,}4 \times 10^{-3}$ g соответственно. Эти значения хорошо согласуются с пороговыми величинами $1{,}5 \times 10^{-4}$ g для корней салата и $2{,}9 \times 10^{-3}$ g для гипокотилей, полученными в исследованиях на бортовой центрифуге орбитальной станции "Салют-7".

Клиностатирование использовали для изучения не только роста проростков, но и других биологических функций. Растения Arabidopsis thaliana выращивали от семени при действии центробежных сил от 10^{-4} g до 1 g. Показано, что растения способны расти и созревать даже если" центробежная сила снижена 10^{-4} g. Сравнение результатов экспериментов с Arabidopsis thaliana в условиях гипергравитации и клиностатирования показало, что 1 g является оптимальной силой тяжести для растений. Если эта сила возрастает или уменьшается, то происходят изменения, по крайней мере, некоторых параметров, характеризующих рост и морфогенез.

На второй вопрос, т.е. как растения растут в отсутствие силы тяжести, еще предстоит ответить в экспериментах на клиностате или в космосе. Эксперименты с проростками Lactuca sativa на многоскоростной центрифуге на борту станции "Салют-7" не обнаружили прямой корреляции между ростом корневой системы и величиной центростремительной силы. При уровне гравитации 0,1g продольный рост корней был идентичен росту при 1g, несмотря на значительное изменение распределения амилопластов. Этот кажущийся парадокс можно объяснить, предположив, что системы, контролирующие гравитропный ответ и линейный рост осевых органов, не имеют прямой связи. Система линейного роста используется, по-видимому, только для реализации гравитропной реакции в случае индукции и создания условий для поляризованного роста осевых органов в боковом направлении.

Неожиданное открытие в эксперименте с проростками пшеницы и овса в полете "Шаттла" по программе "IML-1" указывает на то, что у растений может быть некое врожденное свойство, которое вносит свои вклад в реакцию ориентации. Когда ростки, ранее не знавшие гравитационного стимула, вынимали из неосвещенной камеры для выращивания в условиях микрогравитации и помещали на короткое время в центрифугу, то после возвращения в камеру они выпрямлялись. Это предполагает участие в аутотропной реакции какого-либо другого внутреннего фактора связанного, возможно с натяжением клеточной стенки (Chapman D., личное сообщение).

земной гравитации, в условиях космоса направлена на рост и воспроизводство клеток. Другое возможное объяснение формированию более крупных популяций в условиях микрогравитации является более богатый источник питания: ускоренный рост Paramecium в космосе мог быть обусловлен тем, что их источник питания, а именно растущая культура бактерий в условиях микрогравитации могла также расти быстрее и иметь более высокую плотность популяции.

Серия экспериментов с инфузориями Tetrahynema pyrifonnis проведена во время полетов биоспутников "Космос-1667 и -1887" в 1985 и 1987 гг. соответственно. Полученные результаты свидетельствовали о стимуляции клеточной пролиферации и прироста общей биомассы. Снижение количественного содержания клеточных белков в уменьшение размера клеток по сравнению с контрольными группами было отнесено за счет более быстрого роста клеток в условиях микрогравитации.

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИИ НА РАСТЕНИЯ

Прорастая в нормальных земных условиях, семя растения направляет корень в глубь, а росток - вверх, к Солнцу. Такая реакция не зависит от света, однако ориентация большинства растений осуществляется с помощью гравитации, но при этом на нее оказывает влияние и свет. В течение многих лет ученые пытались дифференцировать тропную реакцию растений на гравитацию и свет, однако их тормозила невозможность устранить фактор силы тяжести из экспериментальных условий. С началом орбитальных космических полетов силу тяжести теперь можно использовать как переменную величину для определения того, как растение откликается на гравитацию и свет, а также для определения порогов, при которых происходит ориентация.

ГРАВИТРОПИЗМ

Гравитропизм – физиологический механизм, посредством которого осевые органы растений, побеги и корни, реагируют на вектор гравитации (рисунок 7). В гравитропизме можно выделить три фазы: гравитропная индукция, передача информации и ответная реакция. На первой фазе главную роль играют гравирецепторные клетки-статоцисты. Цитоплазма статоцистов содержит статолиты и амилопласты, которые представляют собой наполненные крахмалом пластиды. Плотность этих аминопластов несколько выше, чем цитоплазмы, и они мигрируют внутри клетки в ответ на изменения вектора гравитации. В корневой системе роль гравирецепторов выполняют клетки центрального цилиндра чехлика - колюмеллярные клетки. Они обнаруживают малейшие отклонения осевого органа от вертикального положения, а затем посылают сигнал в область интенсивного роста клеток, где реализуется гравитропная реакция. Реакция достоит в изменении скорости роста определенных клеток, что ведет к коррекции положения осевого органа.

Влияние гравитации на направление роста растений и индукцию гравитропизма на Земле хорошо изучено. Вместе с тем имеются следующие два

ального давления, пульсовая амплитуда при этом сокращалась, ударный объём крови уменьшался, однако миннутный объём кровообращения находился на достаточно высоком уровне. При этом необходимо подчеркнуть, что в течении первых 2–х суток у большинства обследуемых этой серии было отмечено появление и развитие тошнотно–рвотного рефлекса, однако работоспособность при этом заметно не снижалась.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА МИКРООРГАНИЗМАХ, КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК, ГРИБАХ, РАСТЕНИЯХ

БАКТЕРИИ

Первое свидетельство того, что космический полет может оказать влияние на показатели роста бактерий, было получено после 2-суточного эксперимента на борту американского "Биосателлита-Ц" в 1967 г.. Культуры Salmonella typhimurium и Escherichia coli, находившиеся в условиях космического полета, отличались значительно более высокой плотностью клеток в фазе стационарного роста, однако нельзя было определить, являлось ли это следствием прямых или косвенных эффектов микрогравитации. Другими словами, было ли увеличение плотности популяции вызвано прямым эффектом микрогравитации на такие жизненно важные процессы в клетках, как энергетический обмен и клеточное деление, либо высокая плотность связана с косвенным эффектом микрогравитации, например, отсутствием клеточного оседания, более равномерным распределением клеток и изменением градиентов концентрации питательных веществ и продуктов жизнедеятельности. По программе экспериментов на "Спейслэбе D-1" также было замечено увеличение плотности популяции и скорости роста Bacillus subtilis, однако количество спор составило лишь 6% от контрольных величин в условиях 1 g, что свидетельствовало о возможном ингибировании процессов клеточной дифференциации в условиях микрогравитации. В аналогичном эксперименте по программе полета "Спейслэба D-2" были получены противоположные результаты, т.е. продукция спор B. subtilis увеличивалась в четыре раза по сравнению с контрольными культурами, находившимися в условиях lg. Причины такого различия не сообщались.

Процессы генетической рекомбинации у Escherichia coli изучали также в полете "Спейслэб D-1". Известно, что бактерии могут обмениваться ДНК посредством конъюгации (обмена хромосомными ДНК через половые фимбрии), трансдукции (переноса коротких отрезков ДНК бактериофагом) или трансформации (поглощения внеклеточных фрагментов ДНК). В исследованиях по программе полета "Спейслэба р-1" было показано, что микрогравитация не повлияла на трансдукцию или трансформацию, однако значительно большее количество ДНК трансформировалось между бактериями путем конъюгации, свидетельствуя о том, что в условиях микрогравятации фимбрии могли оставаться в состоянии спаривания более продолжительное время. Несмотря на то, что в условиях микрогравитации также наблюдалось увеличение скорости роста по сравнению с наземными кон-

тролями, данное увеличение не может быть обусловлено повышением частоты рекомбинаций.

ГРИБЫ

Миксомицеты Physarum polycephalum не проявляют гравитропизма и образуют боковые ответвления, которые могут вытягиваться на расстояние свыше 1 м. Эти ответвления состоят из клеточной стенки (эктоплазматической трубки), в которой эндоплазма в результате регулярных осцилляции передвигается вперед и назад. Этот внутриклеточный транспорт регулируется взаимодействующими актин-миозиновыми филаментами. Частицы в потоке могут передвигаться со скоростью до 1 см в час. Первый эксперимент с P. polycephalum был проведен в полете биоспутника "Космос-1129" в 1979 г. Послеполетный анализ биоматериала с использованием специальных морфометрических методов показал, что рост и распределение плазмодия по объему субстрата, а также передвижение цитоплазмы в условиях микрогравитации оставались в основном без изменений. Тем не менее, интерес к использованию данной миксомицеты в качестве экспериментальной модели в космической биологии сохранился. В частности, в полете "Спейслэба D-1" было обнаружено увеличение скорости передвижения цитоплазмы на 110%. Причины такого увеличения остаются неясными.

Грибы были также использованы для изучения влияния космического полета на циркадианные ритмы. В большинстве культур гриба Neurospora crassa ритм его роста имел большую амплитуду на протяжении всего полета, что противоречило данным, полученным в более ранних космических полетах, где ритм роста был сглаженным и нерегулярным. Не исключено, что такое угнетение ритма роста было обусловлено воздействием факторов запуска, в том числе ускорений. В последующем эксперименте, где величина ускорений контролировалась, полученные результаты подтвердили сохранность в условиях космоса циркадианного отсчета времени и дали основание считать, что этот ритм по своей природе является эндогенным, но в то же время восприимчивым к таким внешним задатчикам, как гравитация и свет.

ВОДОРОСЛИ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ КЛЕТКИ

Проблема влияния факторов космического полета на растения и растительные клетки представляет особый интерес для космической биологии. Известно, что растения обладают тропизмом, реагируя на световые и гравитационные сигналы. Однако, первая серия экспериментов с одноклеточными растениями Chlorella spp. на борту советских космических аппаратов не выявила каких-либо изменений в росте, жизнеспособности, частоте мутаций и соотношении фотосинтетически активных клеток. В то же время были сделаны сообщения о снижении объема хлоропласта и других незначительных ультраструктурных перестройках, однако значимость этих изменений остается неизвестной.

Условия микрогравитации в полетах биоспутников "Космос-782" и "Космос-1129" не оказали влияния на нормальные процессы развития клетки, образование эмбриональных органов или морфогенез культур тотипотентных клеток моркови Daucus carota. Более того, из эмбрионов моркови, у которых первая стадия развития завершилась в условиях микрогравитации, после полета выросли нормальные растения. Эксперимент с клеточной культурой томата Lycopersicon esculentum, выполненный в полете биоспутника "Космос-1667" в 1985 г., подтвердил ранее сделанные выводы о влиянии микрогравитации на изолированные клетки моркови.

Использование автоматизированной системы для выращивания клеточных культур позволило исследователями Европейского Космического Агентства провести более сложные исследования изолированных протопластов растительных клеток на борту биоспутника "Космос-2044" в 1989 г. Объектами этих исследований были протопласты, изолированные из гипокотилей зрелых семян Brassica napus, а также клеточных культур моркови Daucus carota. Полученные результаты показали выраженное снижение скорости роста и интенсивности метаболических процессов в клетках, развивавшихся в условиях микрогравитации из изолированных протопластов. Из клеток, развитие которых проходило в космосе, формировались нормальные первичные органы и впоследствии, после выращивания на Земле, вырастали нормальные взрослые растения, что подтверждает ранее полученные данные Крикоряна с соавторами.

Поведение одноклеточных растений в отсутствие силы тяжести также представляет интерес "для космической биологии. Так, в подвижности Chlamydomonas reinhardii прослеживается циркадианный ритм. В ответ на кратковременное включение света во время полной темноты водоросли плывут и скапливаются вблизи источника света ("фотоаккумуляция"). В полете по программе "Спейслэб D-1" фотоаккумуляцию регистрировали в ответ на фиксированный цикл чередования света и темноты. Изменений в периодичности и фазности такого поведения не отмечено, хотя амплитуда осцилляции в условиях космического полета была в 3-4 раза выше. Показатели выживаемости и пролиферации возрастали почти вдвое по сравнению с наземными контрольными данными. В этом же полете в культуре клеток аниса обыкновенного (Punpinella anisum) наблюдали увеличение продукции биомассы.

ПРОСТЕЙШИЕ

В исследованиях на "Биосателлите-П" в 1967 г. у амебы Pelomyxa carolinensis не выявлено различий в жизнеспособности, скорости роста, физиологических, морфологических или цитохимических параметрах. Однако в одном из этих исследований была отмечена тенденция к увеличению скорости деления у хорошо питавшейся амебы. Эксперименты в полетах "Спейслэба D-1" и "Салюта-6" показали, что пролиферация Paramecium tetraurelia возрастала на 63%, а клеточный объем в начале лог-фазы увеличивался на 15-20%. В конце лог-фазы ростового цикла клетки были на 10-20% меньше, чем в контрольных экспериментах в условиях 1g. Результаты экспериментов с Paramecium дают основание полагать, что та энергия, которая при плавании в обычных условиях расходуется на противодействие

Описанный процесс повторяется циклически до тех пор, пока не приведет к достижению поставленной цели проекта, модифицированной с учетом меняющихся условий и проведенных исследований. Это событие знаменует собой *начало третьего этапа* программы «Медилаб» — переход к практическому использованию накопленных знаний во время полета «Медилаба» и на Земле.

10.6 АППАРАТУРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ В ПРОГРАММЕ «ИНТЕРКОСМОС»

Сотрудничество ученых и специалистов социалистических стран по направлению «Радиационная безопасность космических полетов» (РБ КП) программы «Интеркосмос» является одним из флангов широкого фронта исследований и практической деятельности, которые осуществлялись и осуществляются в СССР для решения проблемы обеспечения РБ К.П. Этот фронт простирается от фундаментальных исследований по молекулярной биологии, генетике, физике атомного ядра и космофизике до решения таких практических вопросов, как установление норм РБ, определение необходимой толщины защиты экипажа космического аппарата от космических излучений, разработка средств и осуществление дозиметрического контроля, прогноз радиационной обстановки на трассе полета и т. д. Не все фундаментальные исследования и не сразу находят отражение в практической работе по обеспечению РБ КП. Одни из них способствуют лишь общему продвижению научного знания, ценность других проявляется только через 10—15 лет. Поэтому в данном кратком обзоре мы рассмотрим лишь те исследования по РБ КП, проводившиеся в СССР, которые уже привели к практически значимым результатам, причем в той степени, которая позволяет лучше понять место и значение совместных работ, выполненных в рамках программы «Интеркосмос».

Вопрос о РБ космических полетов встал на повестку дня сразу же, как только началась подготовка первого полета человека в космос. Этот вопрос Генеральный конструктор С. П. Королев задал в 1960 г. ученым, которые имели большой опыт в теоретическом и экспериментальном обосновании методов обеспечения РБ при работе с источниками ионизирующих излучений в наземных условиях.

Сведения, которыми располагала в тот период физика космических лучей о потоках, составе, энергетическом спектре заряженных частиц в космосе, позволяли получать оценки радиационной опасности космических полетов, находящиеся в очень широком диапазоне значений. В тот период сведения, необходимые для обеспечения РБ осуществлявшихся и планируемых КП, в обобщенном виде были опубликованы в 1964г. [I].

Было признано, что основными источниками радиационной опасности при космических полетах являются:

вить, что ультраструктура вегетативных опытных клеток существенно не отличалась от контроля. Клетки содержали тилакоиды, сгруппированные как по периферии клетки, так и расположенные по всему объему без закономерной упорядоченности, а также липидные включения полиэдральные тела. Однако в незначительном количестве клеток (порядка 5%) наблюдали изменения мембранной системы тилакоидов, которые заключались в набухании, при этом межтилакоидное пространство было значительно расширено. Тилакоиды в таких клетках обычно располагались вдоль клеточной оболочки, образуя параллельные ряды, хотя расширенные тилакоиды встречались и в центральной части клетки. Кроме того, в опытном варианте отмечены также случаи нарушения процесса клеточного деления, при этом хотя цитокинез и проходил, однако образовавшаяся клеточная перегородка имела на срезе волнистые контуры. Часто электронная плотность таких клеточных перегородок была значительно более низкой, чем в контроле.

Как уже нами отмечалось, клетки Anabaena azollae в норме размножаются путем образования поперечных перегородок. В цикле развития анабеновых отсутствуют стадии, характеризующиеся косыми или продольными перегородками, что ведет к образованию зигзаговидных или мнимодвурядных трихомов, как это свойственно представителям порядка Nostocales.

В настоящее время имеются многочисленные данные, свидетельствующие о нарушении клеточного деления как растительных, так и животных организмов, вплоть до его полного подавления, в условиях космического полета. Основываясь на представлениях о зависимости некоторых процессов митоза от силы тяжести, предполагают, что нарушения механизма клеточного деления обусловлены действием невесомости, оказывающем действие на аппарат веретена делящихся клеток. Волнистые контуры клеточных перегородок Anabaena azollae, сформировавшихся в условиях космического полета, возможно, являются следствием изменения направления их роста по отношению к клеточной стенке при формировании их в невесомости.

Известно, что перестройки в ультраструктурной организации клеток синезеленых водорослей, в том числе видов Anabaena , а именно, набухание или даже дезинтеграция тилакоидов, вызываются действием неблагоприятных факторов в первую очередь неадекватным освещением, истощением культуры при развитии ее в темноте, а также вирусным поражением. В эксперименте, выполненном с азоллой, указанные факторы исключались, поскольку водный папоротник выращивался на питательной среде в течение непродолжительного времени (8 суток) в контролируемых условиях освещения. При электронно-микроскопическом анализе не было отмечено вирусного или бактериального поражения клеток Anabaena azollae.

Таким образом, выявленные незначительные изменений субмикроскопической организации фотосинтетического аппарата и процесса цитокинеза вегетативных клеток полетного варианта, очевидно, свидетельствуют об определенном биологическом эффекте условий космического полета на клетки исследуемой синезеленой водоросли, хотя, учитывая небольшой

процент опытных клеток с отмеченными нарушениями, кратковременное воздействие невесомости не оказало существенного ингибирующего влияния на ультраструктурную организацию клеток Anabaena azollae.

РИТМ РЕПРОДУКЦИИ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ IN VITRO И IN VIVO В УСЛОВИЯХ МИКРОГРАВИТАЦИИ

Решение проблемы нормального функционирования живых организмов в условиях длительных орбитальных и межпланетных полетов тесно связано с развитием космической биоритмологии. Исследование влияния невесомости и измененной суточной периодичности на растительные и животные организмы является первостепенной задачей в области космической биологии, успехи которой во многом зависят от корректности имитации некоторых космических факторов при постановке экспериментов на Земле. Так, изучение влияния гипогравитации на клетки животных и растений в условиях Земли проводится на клиностатах, имитирующих скаляризацию вектора гравитации и позволяющих получать информацию о реакции целого растения или культивируемых на искусственных питательных средах клеток на изменение силы тяжести. Возможности и ограничения метода клиностатирования подробно обсуждались.

Суточная ритмика репродукции клеток, являющаяся одним из эволюционно выработанных и закрепленных приспособлений организмов к условиям Земли, во многом определяет рост, развитие и функционирование организмов. Нарушение ритмической структуры при всей ее гибкости и лабильности приводит к заболеваниям и даже смерти. Представляет интерес исследование адаптационного резерва клетки растения в условиях измененной весомости, поэтому изучались основные параметры роста и репродукции культивируемых in vitro клеток малохромосомного вида растений - гаплопаппуса (2n = 4) и меристематических клеток корня гороха при различных режимах клиностатирования, а именно: при скорости вращения клиностата 2 об/мин в течение 7 и 14 дней и при скорости 50 об/мин в течение того же срока. Исследование роста и ритма клеточной репродукции в суспензии клеток проводилось после высева их на косяки полутвердой питательной среды в клниостатных пробирках. Культуры выращивали более десяти лет на среде определенного состава и перед экспериментом были доведены до удовлетворительной степени клеточного разобщения (агрегаты не превышали 30 клеток) посредством частого пассирования культур (промежутки между пассажами составляли 8-10 дней). Полученные данные о накоплении биомассы в культуре свидетельствуют о том, что конечный результат роста в режиме медленного (2 об/мин) и кратковременного (7 суток) клиностатирования не отличается от контрольного варианта (рисунок 10); при быстром клиностатировании (50 об/мин) в течение 7 и 14 сут наблюдается замедление в накоплении веса сырой клеточной массы и как бы удлинение фазы скрытого роста культуры (лаг-фазы), что еще более четко регистрируется при графическом изображении скорости прироста биомассы этих же культур в единицу времени. Обнаруженное изменение

экспертными оценками специалистов, позволит, учтя методические достоинства и недочеты прежних программ, уточнять планируемые подпрограммы медико-биологических исследований, увязывать их между собой в виде циклограмм экспериментов, оптимизировать эти циклограммы ради получения максимума информации при минимуме затрат.

Таким образом, систематическое использование средств информатики и ЭВМ уже на подготовительном этапе создает предпосылки естественного и логичного перехода ко *второму этапу*—экспериментам на борту «Медилаба» с их обработкой аналогичными средствами той же информационной технологии (рис. 21), которая на этом этапе обеспечивает не только и не столько автоматизацию рутинных операций по выполнению заранее спланированных (штатных) исследований, но и предоставляет средства для систематизации наблюдений, для систематического циклического прироста, увеличения медико-биологических знаний на основе получаемых наблюдений за исходами того или иного управления или воздействия, как штатного, контролируемого, так и нештатного, неконтролируемого.

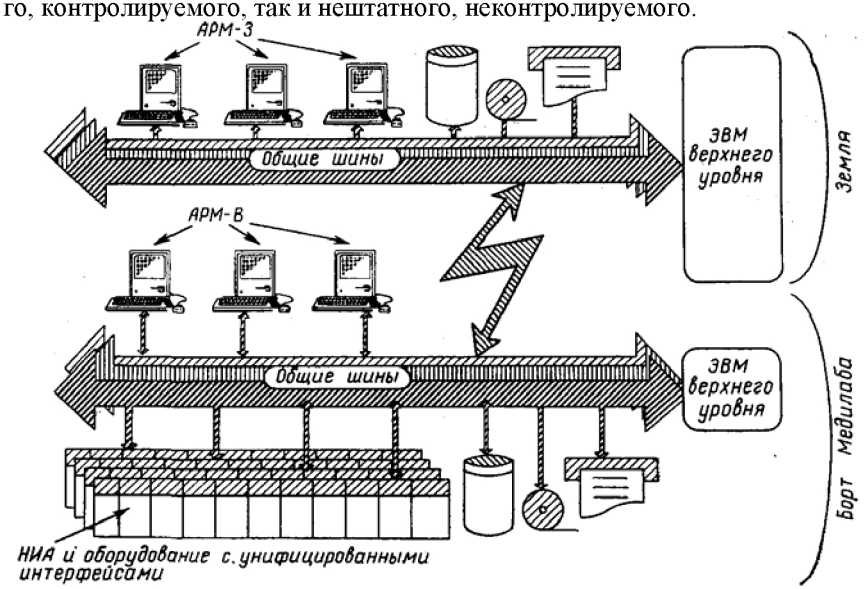


РИСУНОК 20. – СИСТЕМА ОБРАБОТКИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.

Врачи-исследователи на борту «Медилаба» и на Земле получают удобный и быстрый доступ к базе данных, которая обновляется и пополняется в ходе исследований, и к базе знаний, которая корректируется при активнейшем участии самих врачей-исследователей, пополняясь новыми обобщенными данными в виде гипотез, моделей, теорий, дающих основания для размышлений, для продолжения штатных экспериментов и постановки новых исследований, для практических выводов и рекомендаций в соответствии с возникающими вопросами, задачами, целями проекта «Медилаб».

— специальные ниши для хранения вспомогательного оборудования и химических реактивов.

Конструкция устройств для содержания и манипуляций с биологическими объектами и биоматериалами должна обеспечивать максимально возможную ампулизацию объемов с целью предотвращения их взаимодействия со средой ОБИ.

На входе и выходе системы циркуляции воздуха в ОБИ должны быть установлены специальные фильтры, обеспечивающие дополнительную очистку воздуха от микропримесей, а также бактериальные фильтры и фильтры, поглощающие запахи.

Боковой проход, связывающий ОБИ с ЛПО и НИО, должен регулировать перепад давлений, с тем чтобы при открытых дверях во время перехода врача-исследователя в ОБИ обеспечить движение потока воздуха по направлению к ОБИ. В этом проходе должна быть расположена специальная камера (шлюз) для утилизации отработанного биоматериала, разовых датчиков, средств личной гигиены и т. д., а также каюта для проведения санитарно-гигиенических мероприятий во время работ на «Медилабе».

Все отсеки «Медилаба» должны быть оборудованы системами видеотелефонной и селекторной связи с орбитальной станцией и Землей.

Математическое обеспечение проекта. Средствами информатики и вычислительной техники в рамках проекта «Медилаб» впервые в практике космической биологии и медицины будет реализована и последовательно проведена на всех этапах программы качественно новая единая регулярная количественная процедура целевого комплексного накопления и обобщения данных я наблюдений. Эта процедура предполагает использование современной информационной технологии — комплексного использования средств «инженерии баз знаний» системного анализа и математического моделирования.

Уже на *подготовительном наземном этапе* проекта «Медилаб» начата работа по обобщению и систематизации ранее собранных данных от прежних медико-биологических научно-исследовательских программ, по аккумулированию и систематизации в унифицированной операциональной количественной форме согласующихся с ранее полученными наблюдениями научных выводов, гипотез, математических моделей, медико-биологических теорий а также вытекающих из них научно обоснованных практических рекомендаций и решений, в том числе проектных решений самой программы «Медилаб». Системный анализ имеющихся знаний и стоящих перед программой целей позволяет спланировать и обосновать задачи дальнейших исследований, определить необходимые средства, в том числе требования к научной аппаратуре, к степени ее автоматизации и системе обработки медико-биологической информации, к математическому, программному и информационному обеспечению «Медилаба». Дополнительная математическая обработка и систематизация доступных данных и знаний—это своего рода математическое моделирование будущих исследовательских программ в наземных условиях. Эта обработка, дополняемая

характера роста культур клеток при быстром клиностатировании побудило к исследованию кинетики клеточной популяции методом радиоавтографии с использованием в качестве предшественника синтеза ДНК Н-тимидина.

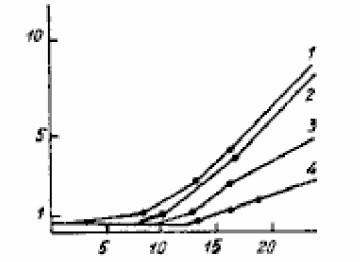


РИСУНОК 10 – НАКОПЛЕНИЕ БИОМАССЫ В РАСТУЩЕЙ КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК ГАПЛОПАППУСА: 1-КОНТРОЛЬ; 2- КЛИНОСТАТИРОВАНИЕ ПРИ 2 ОБ/МИН 7 СУТОК; 3- КЛИНОСТАТИРОВАНИЕ ПРИ 50 ОБ/МИН 7 СУТОК; 4- КЛИНОСТАТИРОВАНИЕ ПРИ 50 ОБ/МИН 14 СУТОК: ПО ОСИ АБСЦИСС- ВРЕМЯ РОСТА (СУТКИ); ПО ОСИ ОРДИНАТ- ВЕС СЫРОЙ МАССЫ КЛЕТОК (ГРАММЫ).

Проведение эксперимента для определения параметров клеточного цикла классическим способом - по кривой меченых Митозов - в условиях клиностатирования невозможно из-за необходимости остановки клиностата для введения меченого предшественника и последующей отмывки клеток от него, что нарушает эффект клиностатирования. Поэтому были проведены определения индекса щетки (процента меченых клеток в популяции за определенный промежуток времени) и размеров пролиферативного пула по кривой насыщения популяции клетками с мечеными ядрами при постоянном присутствии "метчика" в питательной среде и при "импульсном" его введении – на 1 ч перед забором пробы. Подсчет меченых ядер и клеток проводили на препаратах-автографах, полученных после 14-дневной экспозиции отмытых от Н-тимидина и фиксированных в ацетоспирте клеток с фотоэмульсией М (Москва, НИИХИМФотопроект). Размеры пролиферативного пула достигали 72±6% как в контрольной культуре, так и при клиностатировании.

Одним из важных показателей пролиферативной активности клеточной популяции является величина ее митотического индекса. Исследовалась митотическая активность популяции клеток гаплопаппуса в течение пассажа с отбором проб в 9 ч утра каждые два дня. Для подсчета количества митозов готовили давленые препараты, окрашенные ацетоорсеином. Максимальная митотическая активность (1%) наблюдалась в контрольном варианте на 7-8-е сутки роста, а при клиностатировании – на 14-е сутки. Известно, что в культуре изолированных клеток растений существует суточная ритмика митотической активности, которую необходимо учитывать при определении митотического индекса культур. Поскольку максимальная

митотическая активность в клиностатированных вариантах наблюдалась не 14-е сутки, исследовали суточную ритмику культуры в этот период, для чего отбирали клетки для фиксации каждые два часа в течение 26 ч. На рисунке ниже показана суточная митотическая активность контрольных клеток и находившейся на клиностате в течение 14 сут популяции, кривая накопления биомассы которой в этот период начинает круто подниматься вверх (рисунок 11), а митотический индекс достигает 0,8-1%.

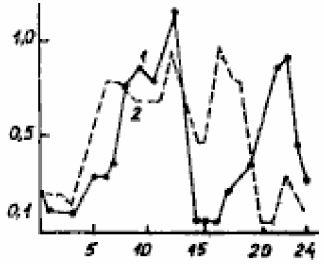


РИСУНОК 11 – СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА МИТОТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК ГАПЛОПАППУСА: 1 - КЛИНОСТАТИРОВАНИЕ ; 2 - КОНТРОЛЬ: ПО ОСИ АБСЦИСС - ВРЕМЯ СУТОК (Ч) ; ПО ОСИ ОРДИНАТ - МИТОТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС (%).

При сравнении двух кривых отмечается характерное для культуры количество митозов (0,7-0,9%) в утренние часы. В то же время обнаружено отклонение в ритмике митозов клиностатированной популяции, заключающееся в повышении индекса митозов в дневное время (около 16 ч), чего никогда не происходило в контрольной культуре. Подобное отклонение ритма митотической активности, появившееся при клиностатировании, может отражать определенную адаптивную реакцию клеточной популяции на клиностатирование и быть следствием, по крайней мере, двух причин: 1) рассинхронизации одного или нескольких периодов митотического цикла и 2) вхождения в митоз чувствительной к гипогравитации субпопуляции клеток, являющейся частью весьма гетерогенной клеточной популяции. Последнее отразилось бы, по-видимому, и на количестве клеток, вступающих затем в последовательную фазу синтеза ДНК, если размеры чувствительной к клиностатированию субпопуляции клеток были значительны, т.е. спустя 6-7 ч после отмеченного подъема ми-готического индекса должен наблюдаться подобный подъем индекса метки за счет увеличения числа S-фазных клеток в популяции. Однако индекс метки не только не повысился, но даже снизился к 22-23 ч (рисунок 12). Следовательно, изменение в ритмике митотической активности популяции клеток гаплопаппуса может быть связано с частичной рассинхронизацией в прохождении этапов предшествующего митотического цикла.

Вопрос о влиянии различных факторов на ритмику митотической активности и биоритмы в целом неоднократно обсуждались. На клетках рас-

онного поля (не менее 500 люксов). В зоне А размещаются также портативная рентгеновская установка, физиотерапевтическая аппаратура, бактерицидная лампа.

Зона Б служит для манипуляций по взятию проб крови и проведению биохимических анализов. В ней должны быть расположены съемный бокс для взятия проб крови и стойка, включающая блоки биохимических анализаторов, pH-метр, спектрофотометр, микроскоп, холодильники, термостаты, центрифуги, контейнеры для хранения реактивов и др.

Зона В предназначена для проведения психофизиологических исследований и осуществления психопрофилактических мероприятий. В ней должно быть расположено второе рабочее место врача или оператора, аналогичное рабочему месту врача в НИО. Для осуществления психопрофилактических мероприятий оно дополнительно укомплектовывается блоком электроакопунктурной диагностики и лечения, аппаратурой для проведения сеансов биологической обратной связи, генераторами запахов и аэроионов, озонатором, слайдпроектором и съемными настенными экранами для панорамирования на стены отсека цветных изображений с целью оптимизации среды обитания, а также фотофоностимулятором. Второе рабочее место врача должно обеспечивать речевую связь космонавта с Землей по закрытому дуплексному каналу.

Съемные перегородки позволяют при необходимости объединять НИО и ЛПО.

Отсек биологических исследований. Отсек биологических исследований предназначен для проведения фундаментальных исследований по изучению роста, развития и эволюции живых систем в условиях КП, определения общебиологических и генетических последствий длительного пребывания биологических систем в условиях невесомости.

ОБИ должен быть расположен в дистальной части орбитальной лаборатории и соединяться с НИО и ЛПО через боковой проход.

В ОБИ располагается:

- комплекс аппаратуры для ампу-лизированного содержания 50 крыс, позволяющий осуществлять автоматическую подачу пищи, сбор отходов, регулирование температуры, освещения, телеметрический съем показателей двигательной активности, температуры тела, частоты сердечных сокращений, артериального давления животных;
- биологическая стойка, включающая термостатируемые контейнеры для проведения исследований на культурах растительных и животных клеток, растениях, насекомых. Биологическая стойка должна содержать морозильник, блок для взятия и фиксации биологического материала (перчаточный блок), центрифугу;
- рабочее место врача-исследователя, оснащенное микроскопом с видеоприставкой, устройством для забоя животных и проведения хирургических манипуляций;
- биохимический анализатор;

Для удобства обслуживания аппаратуры при реализации программы исследований отдельные блоки, устройства и приборы компонуются в следующие аппаратурные стойки:

— для исследования сердечно-сосудистой системы, включающие блоки для регистрации сосудистого давления, параметров центральной и регионарной гемодинамики ультразвуковыми, электрофизиологическими, радиоизотопными методами и др;
— для исследования функции внешнего дыхания и газоэнергообмена, включающие масс-спектрометры, блоки измерения давления, объемов и потоков газов, баллоны с газовыми смесями, измеритель кислотно-щелочного состояния крови и др;
— для исследования центральной нервной системы и анализаторных систем электрофизиологическими методами, включающие усилители биологических потенциалов и электростимуляторы.

В НИО располагается комплекс оборудования, предназначенного для профилактики воздействия невесомости и проведения физической тренировки. Комплекс включает легко монтируемые, переносные велоэргометры, бегущую дорожку, систему дыхания под повышенным давлением, нейрофизиологическое кресло и др.

В НИО расположено первое рабочее место врача, предназначенное для контроля за ходом исследований, проводимых в НИО или ЛПО, а также оперативного и ретроспективного анализа информации в диалоговом режиме работы с бортовыми вычислительными средствами и формирования информационных потоков между «Медилабом» и наземным медицинским комплексом управления. Рабочее место оборудовано выдвижным операторским креслом, дисплеем с клавиатурой, графическим печатающим устройством, операторским пультом с трехкоординатной ручкой управления, видеомагнитофоном с регистрирующей видеокамерой, устройствами съема и записи информации на магнитных носителях.

Лечебно - профилактический отсек. ЛПО предназначен для осуществления диагностики состояния здоровья, профилактических мероприятий и оказания медицинской помощи. Кроме того, в нем предусматривается проведение биохимических и психофизиологических исследований, а также психопрофилактических мероприятий, направленных на поддержание работоспособности космонавтов на высоком уровне.

ЛПО расположен между НИО и ОБИ и отделяется от НИО съемными, а от ОБИ сплошными перегородками.

ЛПО должен состоять из трех функциональных зон.

Зона А служит для осуществления диагностики состояния здоровья и оказания первой медицинской помощи по показаниям. В ней должны быть расположены передвижной складной стол-кресло для пациентов, анестезиологическая и реанимационная аппаратура. Необходимый инструментарий и диагностические наборы должны храниться в специальных шкафах-нишах по функциональной принадлежности. Над столом-креслом должна быть закреплена бестеневая лампа, обеспечивающая освещение операци-

тений исследовалась суточная ритмика митозов при введении ткани в культуру и дальнейшем пассировании этой культуры. Авторы показали, что после первичной инокуляции клеток на искусственную питательную среду лишь при дальнейшем их пассировании происходит стабилизация суточной ритмики митотической активности. Не исключено, что и условия гипогравитации в наших исследованиях могли привести к изменению ритма части клеток популяции.

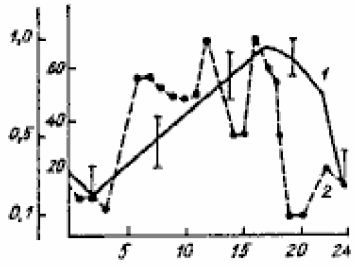


РИСУНОК 12 – ДИНАМИКА ДНК - СИНТЕТИЧЕСКОЙ (2) И МИТОТИЧЕСКОЙ (1) АКТИВНОСТИ В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК ГАПЛОПАППУСА ПРИ КЛИНОСТАТИРОВАНИИ: ПО ОСИ АБСЦИСС - ВРЕМЯ СУТОК (Ч); ПО ОСИ ОРДИНАТ - МИТОТИЧЕСКИЙ ИНДЕКС (ДЛЯ КРИВОЙ 1), И ИНДЕКС МЕТКИ - ДЛЯ КРИВОЙ 2.

При аналогичных условиях клиностатирования и схеме опыта с прорастающими семенами гороха в меристеме корня на 5-е сутки зарегистрировано уменьшение по сравнению с контролем размера пролиферативного пула, что, однако, не связано с изменением суточной ритмики митотической активности клеток меристемы. Следовательно, механизмы адаптации целого растения к условиям микрогравитации могут быть многообразнее подобных в системе клеток и тканей in vitro .

Т.о., приведенные данные свидетельствуют о существовании в растении клеточно-популяционных и внутриклеточных механизмов эндогенной регуляции клеточного деления, обеспечивающих адаптационные свойства живых систем и способность их к выживанию в экстремальных условиях.

ВЛИЯНИЕ ОДИНОЧНЫХ ПОПАДАНИЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА СЕМЕНА LACTUCA SATIVA, ЭКСПОНИРОВАННЫЕ НА ОРБИТАЛЬНЫХ ПИЛОТИРУЕМЫХ СТАНЦИЯХ «САЛЮТ-6» И «САЛЮТ-7»

Несмотря на сравнительно невысокие уровни суммарных доз ионизирующего излучения (порядка 0,002— 0,03 Гр), полученных во время полета «Космос», «Аполлон», «Союз», в биологических объектах возникают ра-

диационные изменения.

Такие эффекты могут вызывать протоны и гамма-лучи в дозах на 2—3 порядка выше, чем полученные в полете. Поэтому результаты полетных экспериментов трудно связать с действием протонов. Скорее можно предположить, что отмечаемые изменения связаны с прохождением через биологический объект отдельных тяжелых ионов (ТИ) галактических космических лучей (ГКЛ). Расчеты показывают, что при прохождении ТИ через биологическую ткань в области трека радиусом 2—20 нм выделяется энергия, эквивалентная дозе в несколько сот рад. Поскольку передача энергии ТИ происходит резко локализованно, можно думать, что наблюдаемые эффекты возникают при попадании этих частиц в область отдельных чувствительных структур клеток.

Эксперименты на спутниках «Био-блок-1» («Космос-936»), «Биоблок-4» («Космос-1129»), а также «Биостек-1» и «Биостек-И» (Аполлон-16 и -17), «Биостек-III» («Союз —Аполлон»), выполненные на яйцах лиманной креветки Antemia salina, на семенах салата Lactuca sativa, на микроорганизмах Bacillus subtilis и некоторых других биологических объектах, проведенных хотя бы частично, с корреляцией попадания ТИ, дали результаты не всегда количественно однозначные, но несомненно подтверждающие наличие тяжелой компоненты космического излучения. В ряде случаев подобные эффекты наблюдались и в не затронутых ТИ биообъектах. Возможно, что они вызваны частицами $Z<6$, дельта-электронами и др., не регистрируемыми детекторами, ядерными взаимодействиями нейтронов, либо дополнительным воздействием невесомости, вибрации, ускорения и т. п. Существует мнение, что невесомость не изменяет генные и хромосомные мутации. Исследования, проведенные на воздушно-сухих семенах, экспонированных на искусственном спутнике Земли (ИСЗ) «Космос-1129» в течение 20 сут («Биоблок-4»), «Космос-1514» в течение 7 сут («Биоблок-5»), подтверждают это. Независимо от длительности полета в семенах, не затронутых ТИ, не было выявлено увеличения аберрантных клеток. В семенах, затронутых ТИ, за 20 сут полета процент аберрантных клеток возрос более чем в 2 раза по сравнению с контролем и с не затронутыми ТИ семенами. Была получена зависимость выхода аберрантных клеток от локализации ТИ в семени. Наибольший процент аберрантных клеток наблюдался при попадании части в корневую меристему и рядом с ней наименьшие при попадании ТИ в семядолю.

При кратковременных космических полетах ИСЗ «Космос-782 и-936» трудно получить статистически достоверные данные о зависимости полученного эффекта от попадания ТИ, из-за небольшой величины флюенса.

При длительном полете—до года и более — повышается вероятность попадания ТИ вплоть до ионов железа.

Цель настоящей работы—изучить влияние одиночных попаданий ТИ ГКЛ при длительных полетах на орбитальных пилотируемых станциях (ОПС) «Салют-6» и «Салют-7». В экспериментах в качестве биообъекта использовали воздушно-сухие семена салата Lactuca sativa.

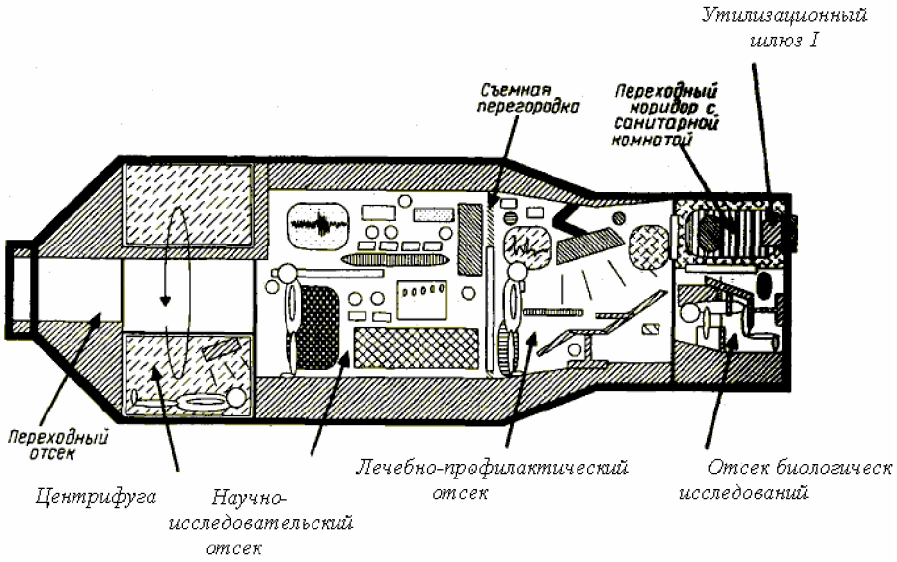


РИСУНОК 19. – ВАРИАНТ КОМПОНОВКИ «МЕДИЛАБА».

Переходный отсек. Переходный отсек примыкает к стыковочному узлу «Медилаба» и служит для перехода от станции «Мир» в НИО. В ПО размещаются основная часть служебных систем, ниши и шкафы для хранения запасного инвентаря и инструментария.

Научно-исследовательский отсек. НИО предназначен для проведения углубленного медицинского контроля за состоянием здоровья экипажа орбитального комплекса, а также исследований, направленных на изучение состояния механизмов регуляции физиологических систем человека с целью развития и совершенствования методов и средств медицинского обеспечения КЛ, обеспечения оптимального уровня работоспособности космонавтов.

НИО должен быть расположен в средней части орбитальной лаборатории, между ПО и ЛПО.

В НИО размещается основная часть научно-исследовательской аппаратуры, система обработки медико-биологической информации, а также система для создания искусственной силы тяжести (центрифуга).

Конструкция НИО должна обеспечивать свободный доступ врачей к научно-исследовательской аппаратуре и экспериментальным стендам во время проведения исследований.

Научно-исследовательская аппаратура, а также средства обработки медико-биологической информации должны располагаться по периферии отсека в гнездах аппаратурных стоек с использованием унифицированной системы механической, энергетической и информационной коммутации, обеспечивающей максимальную плотность компоновки и возможность удобного обслуживания аппаратуры.

мощью системы обработки медико-биологической информации;

— оперативную связь и обмен информацией с наземным комплексом медицинского управления;
— постоянную работу двух высококвалифицированных, специально подготовленных врачей.

Конструктивное решение внутреннего устройства орбитальной лаборатории, назначение, состав и укомплектация отсеков научно-исследовательской аппаратурой должны обеспечить оптимальные условия для работы специалистов и эффективную реализацию программ исследований с учетом современных достижений и требований эргономики.

Конструкция «Медилаба» должна обеспечивать защиту от внешних факторов космического пространства в пределах допустимых норм, установленных для пилотируемых объектов.

Планируемый большой объем научно-практических мероприятий на борту «Медилаба» обусловливает необходимость присутствия на его борту врача-клинициста и физиолога. К началу работы в «Медилабе» врачи должны пройти период адаптации в невесомости в базовом блоке станции (не менее 7 сут) и провести за это время медицинское обследование экипажа. Смена операторов «Медилаба» производится не чаще 1 раза в 3 мес (после отработки 3-месячного программного цикла). При этом спуск на Землю отработавшей смены осуществляется не ранее, чем через 7 сут после прибытия новой смены. Это время необходимо для комплексного обследования вновь прибывших космонавтов в период острой адаптации к невесомости, а также для ознакомления врачей с ходом продолжающихся экспериментов и основными результатами проведенных работ.

Отдых и питание операторов «Медилаба» должны осуществляться в составе станции «Мир».

Конструкция «Медилаба» предусматривает наличие собственных систем жизнеобеспечения, включая систему обеспечения газового состава и систему обеспечения теплового режима.

Конструкция. Конструкция «Медилаба» должна предусматривать деление внутреннего объема на четыре отсека (рис. 19): 1) переходный отсек (ПО); 2) научно-исследовательский отсек (НИО); 3) лечебно-профилактический отсек (ЛПО); 4) отсек биологических исследований (ОБИ).

Методика

Воздушно-сухие семена салата Lactuca sativa экспонировались на борту ОПС «Салют-6» (эксперимент «Интеграл») в течение 66 и 123 сут и на борту ОПС «Салют-7» (эксперимент «Биоблок-3» в течение 40, 201 и 457 сут. Все биосборки в этих экспериментах находились в обитаемом отсеке корабля, т. е. в контролируемых условиях.

Биосборка состояла из слоев с семенами «монослоем», чередующихся с физическими детекторами, предназначенными для регистрации следов ТИ. При этом, нитратцеллюлозные детекторы регистрировали ТИ с зарядом $Z>6$ и ЛПЭ 200 кэВ/мкм. После завершения полета и возвращения на Землю биосборку демонтировали. Для выявления следов ТИ детекторы протравливали в растворе щелочи. Для просмотра детекторы собирали в сборку в той же координатной системе, что и при экспонировании. Биообъекты, через которые прошли тяжелые частицы, регистрировали при совместном просмотре слоя с биообъектами и детекторами (5]. Измерения плотности потока тяжелых ядер и флюенса, а также выявление семян, затронутых ТИ, проводились А. М. Маренным н соавт. Дозиметрия биообъектов осуществлялась с помощью термолюминесцентных детекторов, применяемых в полетных экспериментах и для индивидуального доз контроля на космических кораблях «Союз — Салют». Регистрация интегральной поглощенной дозы проводилась Ю. А. Акатовым и соавт.

Через 2 нед после возвращения на Землю семена всех вариантов замачивали в водопроводной воде и проращивали в чашках Петри. Через 1 сут после гидратации семян и в *более* поздние сроки по мере их прорастания, проростки фиксировали в смеси ацет-алкоголя (1:3), окрашивали ацеторцеином и проводили цитогенетический анализ в 1-м митозе. Учитывали также энергию прорастания (на 3-й сутки) и всхожесть семян (на 7-е сутки). Эффект оценивали по выходу клеток с различными перестройками хромосом в стадии анафазы и телофазы. В эксперименте использовали следующие варианты: полетные семена, затронутые ТИ; семена, не затронутые ТИ; контрольные семена.

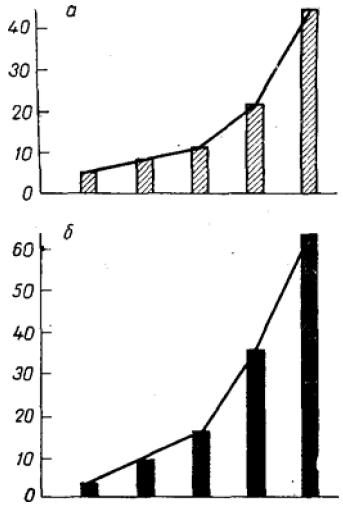


РИСУНОК 13. ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ФЛЮЕНСА *(А)* И ДОЗЫ *(Б)* ПРИ ЭКСПОНИРОВАНИИ СЕМЯН НА ОПС «САЛЮТ-6» И «САЛЮТ-7». ПО ОСЯМ АБСЦИСС — ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПОНИРОВАНИЯ (В СУТ); ПО ОСЯМ ОРДИНАТ: А — ФЛЮЕНС (ЧИСЛО ЧАСТИЦ НА 1 СМ^2); Б—ДОЗА (В МГР).

Результаты и обсуждение

Результаты дозиметрии, представленные на рис. 13, показали возрастание величины флюенса (количество частиц на 1 см^2) и дозы (в мГр) с увеличением продолжительности полета от 40 до 457 сут.

При прорастании семян полетной группы отмечалась некоторая задержка в прорастании, особенно семян, затронутых ТИ. Эти замечания справедливы для всех этапов полета. Снижение энергии прорастания семян на 3-й сутки после их замачивания хорошо видно в эксперименте «Биоблок-3».

Планирование медико-биологических программ и выбор приоритетных направлений будут осуществляться как логическое продолжение и углубление предшествовавших исследований с учетом опыта клинической медицины, нормальной физиологии, биологических наук.

Предполагаемый комплекс медицинских, физиологических, психофизиологических, биохимических и биологических исследований на борту медико-биологической лаборатории даст возможность осуществить разработку, выбор и применение научно обоснованных подходов, методов и средств:

— диагностики и лечения заболеваний, развивающихся в условиях КП;
— контроля и управления средой обитания;
— профилактики и коррекции воздействия факторов КП;
— управления процессами жизнедеятельности во время КП;
— выявления резервных возможностей организма, уточнение оптимальных сроков пребывания человека в условиях КП;
— изучения особенностей взаимодействия в системе человек-машина применительно к условиям КП.

Иерархическая схема целей и задач проекта «Медилаб» представлена на рис. 18.

Успешное выполнение поставленных задач позволит на принципиально новом уровне совершенствовать существующую систему поддержания оптимального уровня работоспособности *и* состояния здоровья человека в КП. Кроме того, из анализа современного-состояния и перспектив развития космической биологии и медицины следует, что передовые в освоении космического пространства страны и международные организации уже планируют создание специализированных медико-биологических лабораторий в составе орбитальных станций. Создание специализированной орбитальной медико-биологической лаборатории будет способствовать дальнейшему прогрессу пилотируемой космонавтики, а также народного здравоохранения.

Назначение. Специализированная орбитальная лаборатория «Медилаб» должна обеспечить:

— проведение углубленного медицинского контроля экипажа орбитального комплекса (ОК), в том числе во время внекорабельной деятельности» профилактических и лечебно-диагностических мероприятий, включая оказание неотложной медицинской помощи по показаниям, психопрофилактику и психологическую поддержку;
— контроль и управление (аддитивное и оперативное) средой обитания, проведение мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий на орбитальной станции «Мир»;
— развертывание комплекса новейшей профилактической, лечебно-диагностической и научно-исследовательской аппаратуры;
— системность проведения медико-биологических исследований;
— одновременную реализацию нескольких целевых программ;
— оптимизацию сбора и анализа данных на борту лаборатории с по-

Для ее решения представляется необходимым перейти на качественно новый уровень медико-биологических исследований в космосе путем проведения широкого фронта комплексных исследований. Основными направлениями будущих научных разработок являются медицинское обеспечение КП, включая проведение профилактических мероприятий и психологической поддержки, углубленного медицинского контроля, медицинской помощи по показаниям; контроль и управление параметрами среды обитания с целью создания оптимальных условий для жизнедеятельности экипажа; изучение реакций систем организма человека и механизмов их регуляции при адаптации к факторам КП; изучение роста, развития и эволюции биологических систем в условиях КП. Для эффективного решения отмеченных проблем необходимым и своевременным представляется создание в составе орбитального комплекса «Мир» специализированной медико-биологической лаборатории, оснащенной комплексом новейшей научно-исследовательской аппаратуры и вычислительной техники.

Реализация данного проекта обеспечивает следующие преимущества разрабатываемой перспективной программы медико-биологических исследований в космосе: а) расширение аппаратурной и методической базы; б) повышение качества и расширение объема проводимых исследований за счет присутствия врача и физиолога на борту медицинской лаборатории; в) системность и заданная периодичность исследований в динамике; г) обработка информации на борту в реальном масштабе времени для оперативной коррекции исследовательских программ; д) формирование банка данных, позволяющего осуществлять прогнозирование для нужд текущего полета, а также для планирования будущих полетов и их медицинского обеспечения.

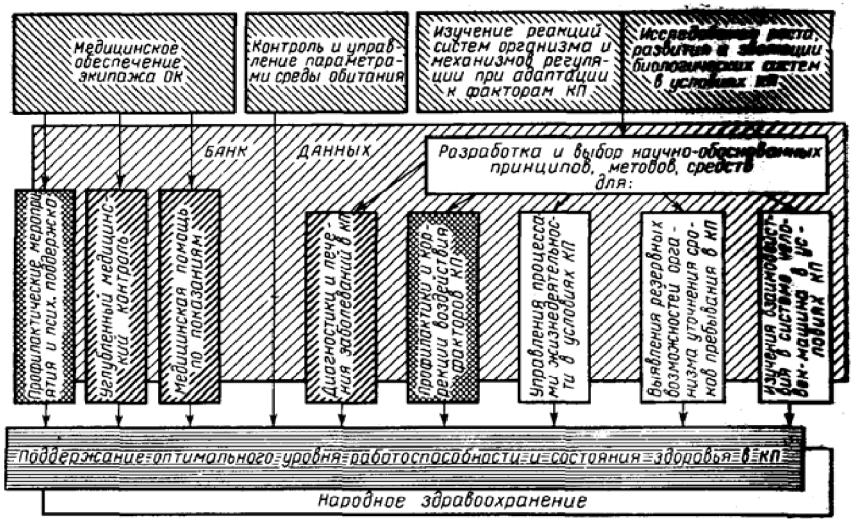


РИСУНОК 18. – ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СХЕМА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ПРОЕКТА «МЕДИЛАБ».

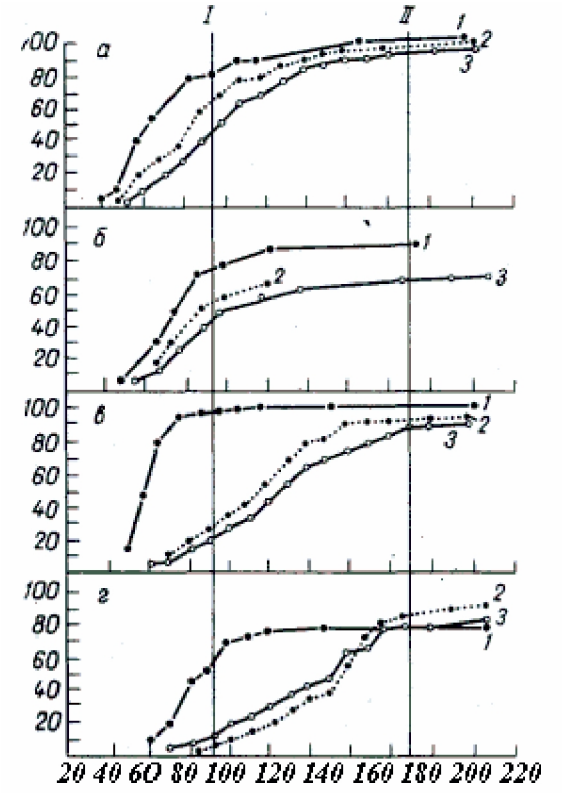


РИСУНОК 14. ДИНАМИКА ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН «МОНОСЛОЕМ» ПРИ ЭКСПОНИРОВАНИИ В КОСМОСЕ В ТЕЧЕНИЕ 40 СУТ *(А)*, 66 СУТ *(Б)*. 201 СУТ *(В)*, 457 СУТ *(Г)*. ПО ОСЯМ АБСЦИСС — ВРЕМЯ ПРОРАСТАНИЯ (В Ч); ПО ОСЯМ ОРДИНАТ — ВСХОЖЕСТЬ (В %). / — 3-Й СУТКИ, // — 7-Е СУТКИ. ;1 – КОНТРОЛЬ; *2* — СЕМЕНА, НЕ ЗАТРОНУТЫЕ ТИ; *3* — СЕМЕНА, ЗАТРОНУТЫЕ ТИ.

Однако на 7-и сутки различия между полетными и контрольными вариантами исчезали (рис. 14). При цитогенетическом анализе семян полетных вариантов наблюдалось увеличение выхода аберрантных клеток при любой длительности экспонирования семян в космосе по сравнению с контрольными семенами, причем наибольшее возрастание их отмечалось в семенах, затронутых ТИ. Увеличение выхода аберрантных клеток, хотя и незначительное, наблюдалось и в контрольных семенах. Это связано с естественным старением семян (в эксперименте были использованы семена из одной партии). Наибольший выход клеток с множественными поломками хромосом отмечался также в семенах, затронутых ТИ, при длительности полета 201 и 457 сут. Значительно меньше (в 2—3 раза) их выявлено в незатронутых полетных семенах и еще меньше — в контрольных. Число аберраций

на 1 аберрантную клетку в среднем по всем изученным семенам изменялось подобным образом.

При анализе полученных эффектов в зависимости от величины поглощенной дозы (рис. 15) хорошо видна линейная зависимость. Это относится как к общему количеству аберрантных клеток, так и к клеткам с множественными поломками хромосом. Наибольшее возрастание выхода аберрантных клеток наблюдалось в полетных семенах, облученных дозой 63,4 мГр. Подобные факты имели место при облучении семян гамма-квантами и протонами (630 МэВ) в дозах 10 и 5 Гр соответственно. Полученные данные показывают существенно более высокую биологическую эффективность тяжелых ядер, чем можно было бы ожидать, исходя из низких уровней поглощенных доз и флюенсов ТИ. Следует также обратить внимание на одинаковый характер кривых (углы наклона близки или равны по величине) зависимости выхода общего количества аберрантных клеток от дозы для затронутых и не затронутых тяжелыми ядрами семян. Этого нельзя сказать о кривых зависимости для клеток с множественными аберрациями хромосом. В диапазоне доз 16—63,4 мГр величина угла наклона для семян, затронутых ТИ, больше, чем для незатронутых. Это свидетельствует о том, что с увеличением длительности полета возрастает частота множественных повреждений, вызванных прямым воздействием ТИ с более высоким зарядом (в эксперименте «Биоблок-3» с длительностью 201 и 457 сут были учтены ТИ только с зарядом Z>16).

Таким образом, на основании проведенных экспериментов получены данные, свидетельствующие о статистически достоверных различиях в выходе общего количества аберрантных клеток и клеток с множественными поломками хромосом между затронутыми и не затронутыми ТИ семенами в диапазоне 16—63,4 мГр, а также данные о различной динамике роста общего количества аберрантных клеток и клеток с множественными поломками хромосом, что связано, возможно, с воздействием ТИ, имеющих заряд Z>16.

В литературе имеется ряд указаний на высокое мутагенное действие первичного космического излучения по сравнению с рентгеновским излучением. В работе Эгстера и Симонса генетические последствия (цветовые мутации зерен ячменя) авторы связывают с одиночными попаданиями ТИ. Интересные наблюдения были проведены на семенах кукурузы, экспонированных на борту ASTP. Большие желтые полосы (шириной более 1 см) наблюдали у многих проростков, в то время как в контрольной группе подобных аномалий не было обнаружено. Авторы утверждают, что такие резкие аномалии никогда не наблюдались ранее ни в полетных экспериментах, ни в наземных исследованиях с ТИ. Подробное изучение прилежащих пластиковых детекторов показало наличие двух попаданий в центральную область эмбриона частиц с ЛПЭ—100—150 кэВ/мкм и Z^20. Весьма эффективным по проявлению летального действия оказалось попадание отдельных тяжелых ядер ГКЛ в семена arabidopsis thaliana. Полученные эффекты связывают с поражением большого числа клеток различных участков ме-

менного производства. В состав сборки входят термолюминесцентные детекторы различного типа и кремниевые детекторы поглощенной дозы нейтронов m = 0,06 кг. Сборка используется на первом этапе и возвращается на Землю для обработки детекторов.

Результаты: средняя величина поглощенной дозы за период измерений составила 32,0 мрад/сутки при средней величине коэффициента качества излучения равного 1,91.

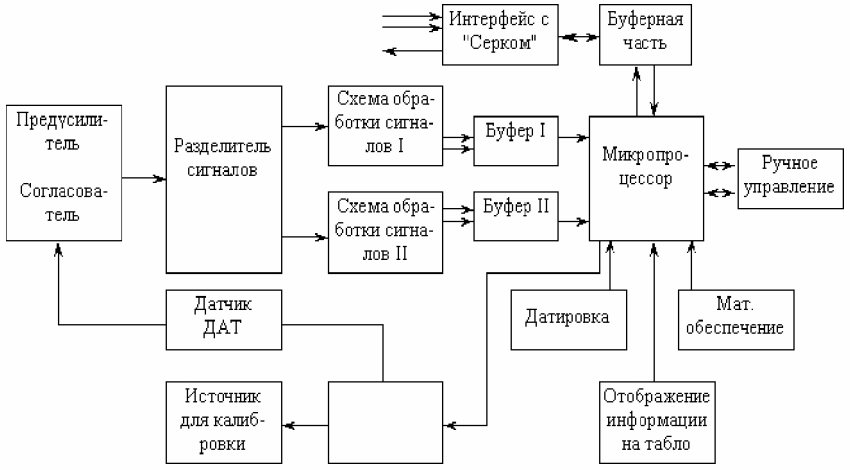


РИСУНОК 17 – БЛОК СХЕМА ПРИБОРА ЦИРЦЕРИЯ.

10.5 ПРОЕКТ «МЕДИЛАБ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным итогом медико-биологических исследований в космосе, проведенных до настоящего времени, явилось доказательство возможности многомесячного космического полета (КП) человека с сохранением при этом достаточно высокого уровня физической и психической работоспособности. Основой для достижений этих успехов служил отбор космонавтов с отличным здоровьем и устойчивой психикой. Однако дальнейшее освоение космического пространства, создание постоянно-действующих орбитальных станций, перспективы осуществления долговременных полетов, в том числе полета на Марс, и связанное с этим усложнение научно-исследовательских программ, повышение требований к профессиональной подготовке космонавтов, работоспособности, состоянию их здоровья и в то же время расширение состава экипажей за счет высококвалифицированных специалистов с более узким спектром адаптационных возможностей выдвигают на первый план задачу совершенствования существующей системы медицинского обеспечения.

сора типа МС5809 обеспечивает анализ амплитуд импульсов от пропорционального счетчика, обработку и выдачу данных в величинах поглощенной дозы и коэффициента качества излучения за определенный промежуток времени. Здесь использован метод получения распределения линейной энергии из спектра амплитуд импульсов пропорционального счетчика и сделано допущение о замене средней линейной энергии на среднюю линейную передачу энергии. Для сферического пропорционального датчика было получено соотношение:

$\overline{L} = (8/9)\overline{Y}$, где

$\overline{L}$ – средняя величина линейной передачи энергии;

$\overline{Y}$ – средняя величина линейной энергии.

Это соотношение и было использовано для ортоцилиндрического датчика "Цирцея". Для определения величин эквивалентной дозы а приборе использована зависимость коэффициента качества излучения от ЛЭП, рекомендованной международной комиссией по радиационной защите.

Прибор обеспечивает измерения в диапазоне линейной передачи энергии от 0,2 кЭв/мкм до 1200 кЭв/мкм, разрешающее время составляет около 30 мкс.

Регистрируемыми параметрами прибора "Цирцея" являются:

- величина поглощенной дозы (D) в диапазоне от 0,5 мрад/час до 200 мрад/час с точностью в пределах ±20% (для Q=1);
- величина эквивалентной дозы (H) в диапазоне от 1 мбэр/час до 1000 мбэр/час с точностью ±10%;
- величина коэффициента качества излучения (Q = Y/D) от 1 до 20с с точностью ±20%.

Предусматривалась калибровка датчика. В чувствительный объем датчика вводится источник α-излучения – изотоп Кюрий Cm_{241} при этом контролируется величина газового усиления пропорционального счетчика. В случае отклонения этой величины от заданных пределов прибор автоматически отключается.

Предусмотрено два режима работы прибора:

- нормальный режим, при котором измерение и регистрация параметров D,H и Q производится один раз в час;
- ускоренный режим, при котором измерение и регистрация параметров производится один раз в 30 секунд в течении 30 минут.

При штатном проведении измерений прибор подключается к сервисному блоку "Серком". Предусмотрен также автономный режим работы прибора при непосредственном подключении в бортовую сеть P = 33 Вт. Габариты , вес 470×477×191 мм, m = 14 кг.

"Серком" обеспечивает питание "Цирцея", подачу команд управления и запись информации на съемное запоминающее устройство. Запоминающее устройство возвращается на землю.

Сборка пассивных детекторов поглощенной зоны – аппаратура совре-

ристемы зародыша в результате прохождения через них плотноионизирующих треков. Следует отметить, что массовая форма гибели семян, подвергнутых воздействию у-излучения, наблюдалась при дозах порядка 1500—2000 Гр. Наряду с этим было обнаружено растение, имеющее розетку из 5 листьев сиренево-желто-го цвета при полном отсутствии признаков развития корня. Аналогичные аномалии имели место при двух попаданиях ТИ в близлежащие к меристеме корня зоны в семенах салата Lactuca sativa — образование проростка с двумя сильно недоразвитыми корешками. При цитогенетическом анализе этих корешков обнаружены единичные клетки, способные к делению.

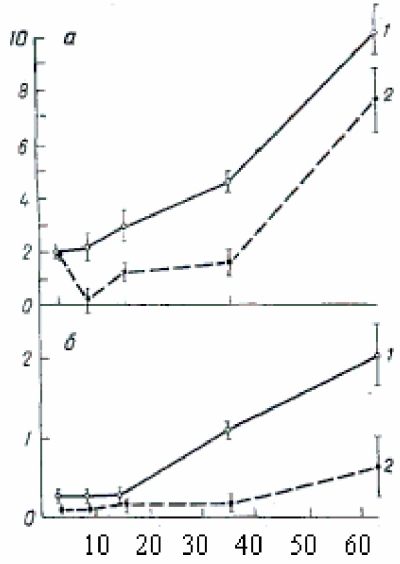


РИСУНОК 15 ЧАСТОТА АБЕРРАНТНЫХ КЛЕТОК *(А)* И КЛЕТОК С МНОЖЕСТВЕННЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ *(Б)* ЗА ВЫЧЕТОМ СПОНТАННОГО УРОВНЯ МУТАЦИЙ В СЕМЕНАХ САЛАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ. ПО ОСЯМ АБСЦИСС—ДОЗА (В МГР), ПО ОСЯМ ОРДИНАТ: А — АБЕРРАНТНЫЕ КЛЕТКИ (В %), Б—КЛЕТКИ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ (В %). /—СЕМЕНА, ЗАТРОНУТЫЕ ТИ; 2 — СЕМЕНА, НЕЗАТРОНУТЫЕ ТИ.

Таким образом, приведенные данные убедительно показали, что полученные эффекты являются результатом воздействия прямого попадания отдельных тяжелых ядер ГКЛ. Однако в наших и других исследованиях подобные эффекты замечены в не затронутых ТИ объектах. Возможной причиной этих изменений могут быть неучитываемые частицы с Z<16, а также неионизационные механизмы воздействия [II]. В экспериментах на цистах Artemia salina наблюдали аномалии в развитии яиц, находившихся по соседству с треками ТИ, но не испытавших поражения. Одной из веро-

ятных причин наблюдаемых эффектов могут быть акустические и ударные волны, образующиеся при резком нагреве и изменении агрегатного состояния вещества в треке заряженной частицы. В связи с этим наиболее целесообразным является дальнейшее изучение воздействия многозарядных ионов (на ускорителе) с заведомо известными физическими параметрами воздействующих частиц и в контролируемых условиях, а также исследование неионизационных механизмов формирования первичного радиобиологического эффекта.

10.3 ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМОСЕ НАД ЖИВОТНЫМИ. АППАРАТУРА

Для проведения экспериментов на животных в полетах биоспутников «Космос» была разработана и изготовлена при головной роли СКТБ «Биофизприбор» Минздрава СССР аппаратура, не имеющая аналогов в мировой практике приборостроения.

Блоки аппаратуры для экспериментов на собаках, обезьянах и крысах были интегрированы в сложные автоматизированные системы, включающие в свой состав отдельные подсистемы: вентиляции, освещения, сбора и хранения отходов жизнедеятельности, устройства для подачи корма и жидкости, контейнеры с запасами пищи и жидкости, фиксирующие устройства для собак и обезьян, усилительно-измерительную аппаратуру и т. п.

На биоспутнике «Космос-110» были размещены две такие системы (кабины), в которых находились собаки Уголек и Ветерок. Фиксация собак в кабинах осуществлялась с помощью капроновых лямок, пришитых к костюму, который легко подгонялся по форме тела собак. Регулировкой длины лямок достигалась требуемая точность размещения животных в кабине по отношению к подсистемам сбора мочи и кала и обеспечивалась возможность совершать движения конечностями без изменения положения туловища. Кормление и водообеспечение собак в этом эксперименте осуществлялись через фистулу, которая задолго до полета вживлялась в желудок. Кормление пастообразной пищей, состоящей из натуральных продуктов с добавлением солей, витаминов и жидкости, осуществлялось 1 раз в сутки.

Автоматизированные системы для экспериментов на обезьянах были выполнены в форме капсул. На биоспутниках «Космос-1514», «Космос-1667» и «Космос-1887» устанавливали по две капсулы с обезьянами. Схематическое изображение капсулы приведено на рисунке ниже.

фиксации корпуса и подбородка, тактильная матрица, два вибратора для стимуляции мышц голени, бинокулярный оптокинетический стимулятор и маска с обтюратором для исследования управления движениями глаз.

Эксперимент состоял из шести задач:

- исследование движения глаз и головы при изменениях направления взора: прослеживание движущейся головы; стабилизация взора;
- исследование системы пространственной ориентации человека в условиях невесомости;
- исследование изменений восприятия последовательных тактильных стимулов (букв, цифр) в зависимости от положения;
- исследование топического вибрационного рефлекса;
- исследование электрической активности мышц ног;
- исследование характеристик вертикального положения

Понятие синергии является одним из фундаментальных понятий физиологии движений. Интерес представляет исследование изменений синергий энергий в условиях невесомости, когда большие перемещения туловища не создают угрозы падения. В ходе эксперимента пытались ответить на вопрос: Сохраняется ли синергия в условиях невесомости и как она изменяется в условиях длительного полета?

Производилась регистрация движений космонавта с помощью видеокамер, записывалась электрическая активность мышц ног и корпуса. Для отведения ЭМГ использовались биполярные поверхностные электроды с межэлектронным расстоянием 2 см.

ЭКСПЕРИМЕНТ "ЦИРЦЕЯ"

Исследование эквивалентной дозы и коэффициента качества космического излучения на работу орбитальной станции "МИР"

Целью эксперимента ставилась оценка радиационного воздействия в космическом полете в величинах эквивалентной дозы.

Задачи эксперимента:

- исследование динамики тканевой поглощенной и эквивалентной дозы на станции "МИР";
- экспериментальное определение средней величины коэффициента качества.

Аппаратура. Прибор "Цирцея" (Франция) разработан на основе микродозиметрического метода, который позволяет проводить оценку биологической эффективности ионизирующего излучения. Датчиком прибора является тканеэквивалентный пропорциональный счетчик – ортоцилиндр с внутренним диаметром 5 см. По поглащенной энергии излучения датчик имитирует микрообъем ткани с эквивалентным диаметром 3,75 мкм – за счет создания в его герметичном чувствительном объеме разрежения тканеэквивалентного газа с давлением около 33 мБ. Защита чувствительного объема датчика составляет 2,2 г/см^2. Электронная система на базе процес-

ных объектов и осуществление их мысленного вращения полностью сохраняется.

ЭКСПЕРИМЕНТ "ФИЗАЛИ"

Исследование адаптации нейрофизиологических механизмов пространственного восприятия и двигательной деятельности к условиям невесомости.

Представляется важным наряду с изучением различных рефлекторных реакций и их изменений в космическом полете изучать также состояние системы внутреннего отражения тела, этой центральной модели организма, обеспечивающей его взаимодействие с внешним пространством. Такая концепция изучения механизмов длительной адаптации влечет за собой и определяет методологические подходы:

— необходимо широко охватывать разные физиологические системы;
— исследовать сенсомоторные взаимодействия разных уровней сложности;
— использовать широкий диапазон входных воздействий.

В эксперименте "Физали" предполагалось проследить процессы кратковременной и долговременной адаптации системы управления движениями к условиям невесомости, в частности изменения в работе важнейших сенсорных систем, участвующих в двигательной регуляции и пространственной ориентации человека, зрительной и вестибулярной. Такой анализ способствует более глубокому пониманию фундаментальных принципов сенсомоторного взаимодействия.

Исследование сконцентрировано вокруг трех основных проблем: регуляция позы, направление взора, пространственного восприятия.

Целью этого эксперимента ставилось исследование адаптации сенсомоторной системы к условиям невесомости.

В комплекс "Физали-А" входят: суперпакет, на котором расположены органы управления экспериментом, и микрофон для записи словесных комментариев: три предварительных усилителя ЭМГ и один предварительный усилитель ЭОГ, датчик угла в голеностопном суставе и акселерометр; велосиметр для регистрации двух составляющих скорости перемещения головы: джойстик, платформа для крепления стоя обследуемого к полу; притяги и магнитный регистратор для записи аналоговых сигналов ЭМГ, ЭОГ, механограм и речевых комментариев.

В комплекс "Физали-В", предназначенного для телесъемки положения и перемещения обследуемого, входили блок питания и управление кинезиграфом; две телевизионные камеры с инфракрасными излучателями, видеомагнитофон, комплект отражателей и система калибровки.

Комплекс "Физали-С" включал в себя стимуляторы, блок электроники, блок управления, память для регистрации цифровой информации, удлинительные линейки со светодиодами для зрительной стимуляции, система

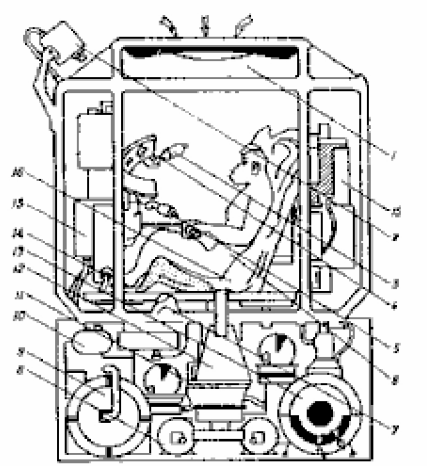


РИСУНОК 16 – КАПСУЛА СОДЕРЖАНИЯ ОБЕЗЬЯН В ПОЛЕТЕ.

1 – светильник; 2 – телекамера; 3 – мундштук подачи сока; 4 – индикаторная световая панель; 5 - мундштук подачи корма; 6 – рычаг ручного актографа; 7 – устройство вертикального перемещения кресла; 8 – вентилятор; 9 – емкость с пищей; 10 – емкость с соком; 11 – фильтр очистки воздуха от вредных примесей; 12 – сборник отходов жизнедеятельности; 13 – фильтр бактерицидной очистки воздуха; 14 – рычаг ножного актографа; 15 – блоки с научной аппаратурой; 16 – кресло-ложемент.

Обезьяна в капсуле достаточно жестко фиксировалась в области таза к основанию кресла-ложемента, где имелось отверстие для сбора мочи и кала. Туловище и конечности обезьяны оставались относительно свободными. Перед запуском в космос и перед спуском с орбиты специальная система лямок притягивала животных к спинке кресла-ложемента. Через прозрачные боковые стенки капсул обезьяны могли видеть друг друга.

Для экспериментов с крысами на биоспутниках «Космос-605», «Космос-690», Космос-782», «Космос-936» была создана автоматизированная система, предусматривающая одиночное содержание каждой крысы в полете. Клетка цилиндрической формы имела кормушку, поилку, осветительный плафон и устройство для биотелеметрического контроля за температурой тела и двигательной активностью животного. Вентиляция клеток осуществлялась непрерывно направленным потоком воздуха, поступающим через вентиляционное отверстие в верхней части клетки и выходящим из клетки через решетчатый пол, а затем через сборник отходов жизнедеятельности, расположенный в нижней части клетки. Внутренний объем клетки позволяет крысе двигаться и менять свое положение по отношению к панели с кормушкой, поилкой и осветительными плафонами.

Для последующих экспериментов с крысами в полетах биоспутников «Космос-1129», «Космос-1514», «Космос-1667», «Космос-1887» была создана автоматизированная система группового содержания животных.

Практически такая же по внешним габаритам, как и предыдущая, она позволяет содержать в одном объеме до 10 крыс.

Изучение биологических эффектов ИСТ проводилось на крысах. Для этого были созданы бортовые центрифуги радиусом 320 мм. На биоспутнике «Космос-936» были установлены две такие центрифуги, вращение которых со скоростью 53 об/мин создавало в зоне расположения животных ИСТ величиной 1g. На каждой центрифуге находилось по 5 крыс, каждая в индивидуальной клетке. Длительность непрерывного пребывания животных в условиях ИСТ составляла 18 суток. Другая группа крыс в течение этого же срока находилась на борту биоспутника в условиях невесомости.

Эксперимент по изучению комбинированного действия невесомости и ионизирующей радиации, как и предыдущий эксперимент, был проведен на крысах при их содержании на борту биоспутника «Космос-690» в индивидуальных клетках. Облучение двух групп крыс дозами 220±25 н 800±58 рад осуществляли с помощью специального сконструированного бортового облучателя, содержащего источник γ-излучения Cs.

Система регенерации и кондиционирования воздуха поддерживала в экспериментах с животными на борту биоспутника следующие параметры микроклимата: O_2 в пределах 150 — 210 мм рт. ст., CO_2 до 10 мм рт. ст., относительная влажность 30 – 70 %, температура 21—25°С, барометрическое давление 715 – 780 мм рт. ст., вредные микропримеси в пределах допустимых величин.

Подготовка животных к экспериментам в космических полетах заключалась в их клинико-физиологическом отборе, тренировке и пребывании в условиях изоляции и ограниченного режима двигательной активности, выработке условных двигательных реакций, проведении хирургических операций по вживлению электродов, снятии фоновых данных и т. п.

В условиях космического полета у крыс в связи с методическими ограничениями регистрировали сравнительно небольшой перечень физиологических параметров: двигательную активность и температуру тела (ТТ). У собак Уголька и Ветерка на биоспутнике «Космос-110» осуществляли полиграфическую регистрацию состояния сердечно-сосудистой системы. У обезьян перечень параметров, регистрируемых на бортовые магнитные носители памяти, был достаточно широким и включал 12 параметров, характеризующих состояние ЦНС, вестибулярного аппарата, сердечно-сосудистой системы, двигательного аппарата и системы терморегуляции.

Основной объем научной информации о влиянии факторов космического полета на структурно-функциональные показатели жизнедеятельности в экспериментах с крысами был получен при проведении послеполетного забоя животных и последующих морфологических и биохимических исследований тканей и органов. В экспериментах с собаками и обезьянами послеполетные исследования являлись продолжением исследований, проводимых до полета и в самом полете.

Первый этап послеполетных исследований выполняли непосредственно на месте приземления спускаемых аппаратов биоспутников в специально

таболитов почками.

ЭКСПЕРИМЕНТ "ВИМИНАЛЬ"

Исследование характеристики операторской деятельности человека.

Эксперимент проводился с помощью аппаратуры, разработанной и изготовленной во Франции – аппаратура " Виминаль " (1 – эхограф, 2 – рукоятки, 3 – видеокассета, 4 – виеомагнитофон). В состав аппаратуры входят эхограф, эргономическая рукоятка 2. На экран эхографа (размером 76×64 мм) надевался тубус с маской для ограничения поля зрения обследуемого. Аппаратура позволяла осуществлять одновременную регистрацию четырех аналоговых сигналов и одного цифрового. Все сигналы записывались на магнитной ленте видеокассеты с помощью встроенного в эхограф видеомагнитофона 4.

Методы и обьем исследований.

Во время обследования космонавт сидел перед эхографом, смотря на экран через тубус, и должен был правой рукой манипулировать двухкоординатной силовой рукояткой закрепленной справа от него. Максимальное отклонение рукоятки в каждом направлении составляли ~22° при приложении усилия к ней примерно 6 кг. Расстояние от глаз до экрана составляло 40 см. В ходе эксперимента исследовалось выполнение четырех задач:

Задача 1: Мысленное вращение и распознание трехмерных фигур;

Задача 2: Управление ориентацией трехмерной фигуры простой формы;

Задача 3: Воспроизведение по памяти различных положений рукоятки;

Задача 4: Компенсированное слежение за подвижной целью.

Для оценки влияния невесомости на способность распознавания формы и ориентации объектов была проведена серия экспериментов, в которой на экране осциллографа обследуемому предъявлялись одновременно две абстрактные фигуры, состоящих из десяти кубиков. Обследуемый должен был мысленным вращением одной из фигур привести обе фигуры к одной ориентации и принять решение, одинаковые это фигуры или нет, а нажатием соответствующей кнопки на рукоятке сообщить о своем решении. Ставилась задача максимально быстрого принятия решения.

Ответить нужно было на следующие вопросы:

— сохранится ли линейный характер зависимости времени ответа от угла поворота между фигурами в условиях невесомости?
— если сохранится, то изменится ли скорость мысленного вращения в невесомости и после полета?
— имеет ли место процесс адаптации при переходе от условий земной гравитации к невесомости и обратно?

Ни у одного из трех обследуемых не обнаружено увеличения процента ошибок в полете или после полета по сравнению с предполетными данными. Оценка (способность) распознания формы и ориентации слож-

на и его гармональной регуляции во время длительного космического полета французкого космонавта.

Аппаратура

Комплекс "Плазма-02" (совместно советско-чешский) и "Диурез" (Франция). В состав комплекса "Плазма-02" входит центрифуга МБЧ-01, предназначенная для разделения крови и переливания проб биоматериала; холодильник "Криоген-02" позволяющий замораживать пробы и хранить их при -25°С и контейнер для возврата проб биоматериала на Землю. Кроме того, для взятия крови из вены используется укладка, принадлежащая "Минилаб", содержащая все необходимое для этой процедуры. Определение величины гематокритного числа проводилось на микроцентрифуге "Компур-1100".

Каждый раз из вены производилось взятие крови с помощью шприца на 20 мл. Сразу после получения кровь переливалась в два шприца по 10 мл каждый, в одном из которых находилось 200 мкл раствора гепарина, а в другом – 200 мкл 5% раствора ЭДТА. Оба шприца одновременно центрифугировалсь для сепарации форменных элементов, а затем и для переливания плазмы в специальные пластиковые пробирки объемом 2 мл. По окончании обработки крови получали 4 образца плазмы по 2 мл каждый.

Сбор мочи осуществлялся в течении суток с помощью устройства "Диурез". По окончании сбора отбирались пробы мочи объемом 2 мл. Полученные образцы плазмы крови и мочи замораживались при -25°С и хранились на борту станции "МИР". Биоматериалы доставлялись в лабораторию в замороженном состоянии.

Определение электролитного состава крови и мочи проводоли на спектрометрах IL-743 и IL-951 (США). Для определения гормонов в биоматериале использовались методы радиоиммунного анализа с использованием коммерческих наборов. Содержание креатинина и общего белка плазмы крови определяли на автоанализаторе "Техникон" (США).

Вид биоматериала	
Плазма	АДГ (антидиуретический гормон) Альдостерон Осмолярность Атриальный натриуретический фактор АНФ
Моча	АДГ Альдостерон

Выводы

Во время космического полета у космонавта наблюдалось уменьшение на 20% объема циркулирующей плазмы при одновременном снижении диуреза и выявления натрия с мочой на 25-35% по сравнению с фоновым уровнем. При этом возрастала концентрация АДГ на 450 и 700% и альдостерона (на 80%) в плазме крови и увеличивалась экскреция этих гормонов с мочой. Вдвое возрастала активность ренина плазмы. Увеличивалось также содержание катехоламинов в плазме крови и в моче и выведение их ме-

созданных полевых лабораториях, оборудованных всеми необходимыми средствами для любых видов исследований в любое время года независимо от погоды.

Последующие этапы работы с животными и биопсийнным материалом проводили в соответствующих научных центрах СССР и за рубежом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования на собаках. 22-суточный полет биоспутника «Космос-110» в 1966 г. был по тем временам рекордным по длительности полета космического корабля, на борту которого находились столь высокоорганизованные существа, как собаки. Основное внимание в запланированных экспериментах было уделено изучению влияния длительной невесомости на сердечно-сосудистую систему. К сожалению, во время полета в работе аппаратуры возникли неполадки, и в полном объеме эту задачу не удалось реализовать. Несмотря на это, исследования, проведенные в полете и в послеполетный период, выявили ряд существенных изменений, которые впервые со всей очевидностью продемонстрировали необходимость разработки эффективных средств профилактики неблагоприятного действия на организм длительной невесомости. Так, было показано, что в невесомости и частота сердечных сокращений (ЧСС) устанавливается на более низком, чем до полета, уровне. У Уголька это наблюдали с самого начала полета, у Ветерка – начиная с 14-х суток. Длительность периодов напряжения и изгнания изменялась одинаково, отражая развитие синдрома гиподинамии миокарда, обусловленной резким уменьшением физических нагрузок в связи с невесомостью и гипокинезией и, по-видимому, с уменьшением объема циркулирующей крови и снижением кровенаполнения сердца. Послеполетные исследования с использованием функциональных нагрузочных проб также подтвердили развитие детренированности сердечно-сосудистой системы.

В послеполетный период обращали на себя внимание резкие нарушения моторики, напоминающие таковые при повреждении мозжечка: атаксия без видимых расстройств мышечного чувства, дисметрия, асинергия движений конечностями плечевого и тазового пояса, некоторые проявления адиазохокинеза.

Потеря массы тела за время полета у Ветерка составила 26,2%, у Уголька – 29% от исходной. При этом наряду с большой потерей жидкости наблюдали уменьшение мышечной массы, минеральной насыщенности костной ткани, отрицательный баланс калия. При исследовании крови обнаружено снижение общего количества белка и относительного содержания альбуминовой фракции, уменьшение объема плазмы. Обнаружены также признаки воспалительного процесса в организме, связанные, скорее всего, с нахождением фистулы в желудке.

Таким образом, этот первый биологический эксперимент в космосе, подготовленный и проведенный специалистами Института медико-биологических проблем, дал много интересной научной информации, од-

нако ее анализ оказался затрудненным в связи с явно неблагоприятным влиянием жесткого способа фиксации животных на всем протяжении полета и рядом других методических несовершенств. Тем не менее, был приобретен богатый опыт практической подготовки летных биологических экспериментов, и этот опыт был успешно использован в дальнейшей реализации программы исследований на биоспутниках серии «Космос».

Исследования на обезьянах. Обезьяны обладают рядом несомненных преимуществ по сравнению с собаками и другими экспериментальными животными, что делает их наиболее предпочтительными объектами исследований для решения задач космической физиологии. В первую очередь это относится к макакам резусам, наиболее хорошо изученным представителям не человекообразных обезьян.

К настоящему времени в трех полетах биоспутников «Космос» проведены эксперименты на 6 обезьянах. Основной задачей этих экспериментов являлось изучение закономерностей физиологических реакций организма в начальный (5—7 суток) и переходный (13 суток) периоды адаптации к невесомости.

Реакции обезьян в начальный период адаптации к невесомости носили ярко выраженный индивидуальный характер. В первые 1—2 дня все обезьяны были, как правило, малоподвижными и сонливыми, в последующие дни состояние обезьян нормализовалось с различной скоростью и они становились более активными. Обращало внимание, что в первые 2 дня полета лицо и шея у некоторых обезьян были отечными. Постепенно отечность уменьшалась, однако к 7-м суткам полета полностью не исчезла.

О выраженных индивидуальных реакциях организма в невесомости свидетельствовали и другие данные. Так, у обезьян Абрека и Биона наблюдали отчетливое замедление по сравнению с предполетным периодом ЧСС, постепенное снижение к 4—5-м суткам полета ТТ на 0,5 °С, а также изменение циркадианного ритма ТТ. У обезьян Верного и Гордого показатели ЧСС, ТТ и ритма ТТ в течение 7 суток пребывания в невесомости практически не отличались от контрольных—зарегистрированных в полетный период и при проведении с теми же обезьянами послеполетного контрольного эксперимента в макете биоспутника. В 13-суточном эксперименте на биоспутнике «Космос-1887» индивидуальные различия были усугублены тем, что, начиная со 2-х суток полета, обезьяна Ероша в силу технических причин перестала получать корм и до конца полета потребляла только сок, который лишь частично покрывал потребности организма в питательных веществах, калориях, витаминах и т. п. На 5-е сутки полета Ероша освободил из системы фиксации левую руку, что привело к сокращению объема исследований. У обезьяны Дремы в этом полете наблюдали развитие брадикардии и снижение, начиная с 5-х суток полета, ТТ. У обезьяны Ероши брадикардия была более выраженной. ТТ, снизившаяся на 6—9-е сутки полета, в оставшиеся дни полета повысилась до 38—39^С. Вестибулярная функция и вестнбуло-глазодвигательное взаимодействие исследовались с помощью двух функциональных проб — пробы с вертикальным перемещением ±10%.

Методика расчета резистентности сосудов (внутрисосудистого сопротивлению кровотоку)

Индекс резистентности "R" в этих случаях рассчитывается по формуле: $R = (S - D)/S$, где

S – максимальная систолическая амплитуда доплеровского спектра;

D – теледиастолическая амплитуда доплеровского спектра.

В артериях, снабжающих регионы с высоким сопротивлением кровотоку, наблюдается двухфазный кровоток. Для таких сосудов индекс резистентности $R = D/S$, где D – амплитуда доплеровского спектра рефлюкса; S - амплитуда доплеровского спектра в систолу.

Заключение

Полученные данные подтверждают наличие гиповолемии в условиях микрогравитации.

Выявлено уменьшение диастолического наполнения камер сердца и ударного выброса, которое компенсировалось увеличением частоты сердечных сокращений. Значительный рост индекса венозного возврата по почечным венам в полете говорит об увеличении скорости наполнения правого предсердия, что также характерно для гиповолемии и снижения центрального венозного давления. Снижение резистентности сосудов головного мозга подтверждает гипотезу об уменьшении объема циркулирующей крови в условиях невесомости.

Исследования показали, что во время полета достаточно быстро устанавливается гемодинамическое равновесие в условиях относительной гиповолемии. Сердечно-сосудистая система "низкого давления" наиболее подвержена воздействию невесомости.

ЭКСПЕРИМЕНТ "МИНИЛАБ"

Особенности водно-солевого обмена и его гормональной регуляции у космонавтов

Изменение положения тела или переход человека из условий нормальной гравитации в невесомость сопровождается перемещением жидких сред организма по направлению к голове, расширением правых отделов сердца и увеличением центрального венозного давления. Мало изучены соотношения между состоянием гемодинамики водно-солевым обменом и их гормональной регуляцией. Изучение закономерности и динамики перестройки водно-солевого обмена человека в условиях невесомости, а также в раннем послеполетном периоде имеет важное значение как с теоретической так и с практической точки зрения.

Целью эксперимента ставилась оценка состояния водно-солевого обме-

Объект исследования	Регистрируемые параметры
1. Сердце – парастериальная позиция по продольной и поперечной оси	- сечение левого желудочка по двум осям - эхокардиогамма полости левого желудочка - эхокардиогамма митрального канала - эхокардиогамма аорты и левого предсердия
2. Сердце – позиция и 4 камеры	- сечение четырех камер сердца - доплерограмма кровотока через митральный и трехстворчатый клапаны
3. Легочная артерия	- сечение (продольное) легочной артерии - доплерограмма кровотока
4. Общая сонная артерия Бедренная артерия	- сечение сосуда (продольное) - доплерограмма кровотока
5. Яремная вена Бедренная вена	- сечение вены (поперечное)
6. Яремная вена	- доплерограмма кровотока - центральное венозное давление
7. Бедренная вена	- доплерограмма кровотока
8. Почечная артерия Воротная вена	- сечение органа (с сечением сосуда|)
9. Внутрипеченочная вена	- доплерограмма кровотока
10. Задняя большеберцовая артерия	- доплерограмма кровотока

Исследование артерий

Исследовалась гемодинамика в крупных артериях (общей сонной, бедренной, задней большеберцовой). Для исследования поверхностных сосудов использовались зонды 5 МГц: С5 – смешанный (дуплексный) и ДС5 (моно). Почечная артерия исследовалась смешанным зондом С3,5. Среднемозговая артерия - монозондом М1,8.

В режиме импульсного и непрерывного доплеровских сигналов регистрировался спектр сигнала для последующего вычисления линейной и объемной скорости кровотока. В режиме В (ультразвуковое сканирование) регистрировалось изображение продольного сечения сосуда с направлением доплеровского "пучка и расположением метки доплеровского окна".

Методика расчета линейной скорости кровотока. Учитывается

F – частота Доплера;

dF – изменение частоты Доплера;

V – скорость движущихся частиц;

φ - угол наклона доплеровского пучка к оси сосуда;

с – скорость ультразвука.

Средняя частота оценивается по интегралу под кривой максимальных частот (где каждой частоте соответствует один и тот же коэффициент усилия). При этом считается, что распределение скорости кровотока внутри сосуда – параболическое. Объемная скорость кровотока вычисляется путем умножения средней линейной скорости на площадь поперечного сечения сосуда. Точность вычисления объемной скорости кровотока указанным

нием животного в кресле и пробы с поворотами головы в сторону появления светового сигнала.

Анализ зарегистрированной в полете электрической активности нейрональных популяций медиальных вестибулярных ядер в ответ на динамическую стимуляцию вестибулярного аппарата при проведении первой и второй проб выявил повышение возбудимости как отолитового аппарата, так и рецепторов полукружных каналов. При этом изменения отолитовых ответов в невесомости появились раньше, чем изменения каналовых ответов. К 5—6-м суткам полета наступала постепенная нормализация нейрональных реакций вестибулярного аппарата.

На фоне повышенного вестибуло-глазодвигательного взаимодействия при установке взора на условный световой сигнал снижались амплитуда и скорость движения головы, возрастала скорость скачков глаз и снижалась точность их установки на цель, возникали корригирующие движения глаз. Указанные изменения в системе регулирования движений глаз и головы постепенно сглаживались, однако полной нормализации в течение полета не происходило. Исследование инструментальных условных двигательных рефлексов у обезьян не выявило сколько-нибудь существенного неблагоприятного влияния невесомости.

При исследовании линейной скорости кровотока в общей сонной артерии у Биона и Гордого были выявлены разнонаправленные изменения в первые часы пребывания в невесомости. У Биона она несколько уменьшалась, у Гордого увеличилась. В последующие часы и дни полета этот показатель практически не отличался от предполетного. Не обнаружено сколько-нибудь существенных изменений и в величинах артериального давления.

Анализ ЭКГ обезьян не выявил каких-либо изменений амплитудно-временных параметров и патологических изменений в миокарде в условиях невесомости. Сердечный выброс по данным реоплетизмографических исследований был максимальным в 1-е сутки и минимальным на 5-е сутки пребывания в невесомости, наблюдали также максимальные величины ударного объема крови и периферического сопротивления кровотоку в сети бассейна общей сонной артерии. Минутный объем крови в течение 5—7 суток пребывания в невесомости имел тенденцию к снижению.

На основе анализа записей биоматериалов мышц и кинематических параметров выполнения программы нажатия на рычаг ножного актографа в ответ на условный световой сигнал была выявлена следующая динамика изменений моторной (двигательной) активности в невесомости.В первые часы пребывания в невесомости в связи с резким снижением величин мышечных усилий происходило уменьшение амплитуды электрической активности задних мышц голени. Начиная со 2-х суток полета, дефицит мышечных усилий компенсировался за счет вовлечения в сокращение дополнительных мышечных единиц. На 5-е сутки пребывания в невесомости наблюдали признаки нарушения стабильности в работе центральных механизмов регуляции моторной активности. К концу 5— 7-суточного полета

нормализации моторной активности не наблюдали. Обследование обезьян на месте приземления спускаемых аппаратов биоспутников показало, что все обезьяны после 5—7-суточного пребывания в космосе находились в хорошем состоянии. Они были активными и адекватно реагировали на персонал.

Известно, что биоспутник «Космос-1887» приземлился в нерасчетном районе – в 40 км от г. Мирный Якутской АССР, в связи с чем первый осмотр обезьян был проведен через 20 ч после окончания полета. Обезьяна Дрема после 13-суточного полета была активна, адекватно реагировала на окружающих. Обезьяна Ероша, которая в полете находилась на голодном режиме, была адинамичная, бледная, на персонал не реагировала. Мероприятия по интенсивной терапии существенно улучшили общее состояние Ероши. Потеря массы тела у Ероши за время полета составила 26 % от исходной. После полета Ероша находился на щадящем пищевом режиме. Восстановление исходной массы тела произошло к 20-м суткам периода реадаптации.

Физиологические исследования на обезьянах макаках резусах в полетах биоспутников «Космос» следует считать принципиально новым этапом экспериментальных работ в области космической биологии. Эти исследования показали, прежде всего, адекватность выбранного биологического объекта задела исследований и возможность использования полученных результатов в теории и практике медицинского обеспечения космических полетов экипажей.

Исследования на крысах. Состояние этих животных в невесомости было вполне удовлетворительным, о чем свидетельствовали хорошая поедаемость корма, сохранность естественного суточного ритма изменений двигательной активности и ТТ, а также способность к перестройке биоритмов.

Вскрытие животных сразу же после окончания космического полета не выявило в тканях н органах каких-либо патологических изменений, обусловленных влиянием невесомости. Вместе с тем при проведении морфологических и биохимических исследований были обнаружены структурно-функциональные изменения, свидетельствующие об адаптации организма к условиям пребывания в невесомости.

Необходимо особо отметить, что в тканях и органах не обнаружено изменений, которые были бы специфичны только для невесомости и не встречались бы при других воздействиях и иных состояниях организма. Это в первую очередь относится к эндокринной и лимфоидной системам, исследование которых показало, что адаптация к невесомости подчиняется тем же общебиологическим закономерностям, которые установлены ранее применительно к воздействию на организм необычных факторов внешней среды, т.е. сопровождается развитием комплекса неспецифических изменений по типу умеренно выраженного хронического стресса.

Что касается изменений в опорно-двигательном аппарате, то они по своей направленности были аналогичны тем, которые наблюдаются при ограничении или полном снятии динамических и статических нагрузок на

мени, В-сканирование для визуализации поверхностных и глубоких структур.

- режим ТМ – одномерное изображение движущихся структур среды.
- режим непрерывный доплер – для исследования линейной скорости кровотока.

Дуплексные (совмещенные) режимы:

- В+ТМ – для исследования функции сердца
- В+Доплер-импульс – для исследования объемного кровотока в поверхностных и глубоких сосудах и скорости потоков в сердечных полостях.

Кроме того, имеется также режим ультразвуковой плетизмографии.

Режимы В и дуплексные осуществляются с помощью двух мультизондов. Мультизонд С3,5 – 3,5 МГц – работает в режимах В и В+ТМ, В+Доплер-импульс, используется для исследования глубоких структур. Мультизонд С5 – 5 МГц –работает в режимах В и В+Доплер-импульс, применяется для исследования поверхностных структур.

Монозонд М3,5 работает в режимах ТМ и ТМ-Доплер-импульс, используется для исследования сердца. Монозонд Д5 работает в режиме непрерывный доплер, применяется для исследования местной скорости кровотока в сосудах, не требующих определения их местоположения. Монозонд М1,8 работает в режиме Доплер-импульс благодаря низкой частоте (1,8 МГц) и несколько большей мощности, позволяет исследовать скорость кровотока во внутримозговых сосудах.

В системе ультразвуковой плетизмографии используется 2 группы по 3 ультразвуковых датчика, работающих в импульсном режиме. Каждая группа позволяет измерить параметр и площадь условного поперечного сечения голени, а обе группы вместе – условный объем выбранного участка голени. В приборе имеется система автоматического измерения артериального давления, на каждом из режимов может быть представлена и зарегистрирована ЭКГ в одном отведении. Вся информация (видеосигнал, спектры доплеровских сигналов, звуковая индикация доплеровского сигнала, ЭКГ, артериальное давление, речевые комментарии и т.д.) регистрируются на встроенном в аппаратуру видеомагнитофоне. Каждая регистрация имеет индикацию в виде кода исследования, даты, времени, кода космонавта. Видеокассеты с записями исследований доставляются на Землю. Была опробирована система передачи эхографической информации на Землю по телевизионному каналу связи с прибором "Эхограф 2"

Программа исследований

10.4 ПРОЕКТ ''АРАГАЦ'' (1990Г.)

По совместным медико-биологическим экспериментам выполнено во время второго советско-французского полета на орбитальной станции "МИР":

1. Медицинское обеспечение полета.
2. Основные особенности создания и эксплуатации медико-биологической аппаратуры.
3. Результаты исследований:
   - 3.1. Эксперимент "Эхография"
   - 3.2. Эксперимент "Минилаб"
   - 3.3. Эксперимент "Виминаль"
   - 3.4. Эксперимент "Цирцея"
   - 3.5. Эксперимент "Лимфоцит"
   - 3.6. Эксперимент "Костная ткань"
   - 3.7. Эксперимент "Физали"

По проекту "АРАГАЦ" французкими специалистами была разработана и подготовлена следующая бортовая аппаратура:

1. Прибор "Эхограф" – изучение сердечно сосудистой системы ультразвуковыми методами.
2. Комплекс "Физали" – изучение адаптации.
3. Комплект "Вимимналь" – изучение зрительно-двигательного взаимодействия при выполнении специальных тестов
4. Комплект "Диурез" – изучение особенностей нейрогормонального обмена.
5. Прибор "Цирцея" – изучение величины и состава поглощенной дозы.

ЭКСПЕРИМЕНТ "ЭХОГРАФИЯ"

В условиях земной гравитации механизмы сосудистой регуляции направлены на противодействие гравитационной составляющей и полноценное кровоснабжение жизнено важных органов. Это достигается за счет высокого тонуса сосудов нижних конечностей и низкого сопротивления кровотоку в центральных легочных почечных сосудах.

Распределение тонуса вызывает при переходе в состояние невесомости перемещение части крови в сосуды верхней половины тела, создавая ситуацию относительной центральной гиперволемии.

Изучение механизмов адаптации гемодинамики к невесомости в условии полета, выявление гемодинамических изменений.

Использовались методы на основе применения ультразвуковых, импульсных и доплеровских методов.

Бортовой эхограф. Прибор имеет монокристаллические и поликристаллические ультразвуковые зонды с электронной фокусировкой луча и электронной разверткой (для мульти-зондов), позволяющие проводить эхографические и доплеровские исследования в следующих режимах:

- режим В – двумерное изображение в реальном масштабе вре-

те или иные группы мышц, части скелета и организм в целом.

Изменения в мышцах под влиянием невесомости характеризовались уменьшением их массы и площади поперечного сечения мышечных волокон, частичной трансформацией медленных мышечных волокон в быстрые и уменьшением в них объема саркоплазматической сети, снижением силовых характеристик мышц. Обнаружена прямая зависимость возникающих изменений в мышцах от степени их участия в поддержании позы в условиях обычной жизни на Земле. Наиболее существенные атрофические изменения под влиянием невесомости обнаружены в мышцах голени.

В костной ткани, так же как и в мышечной, наибольшие изменения, обусловленные невесомостью, обнаружены в тех звеньях скелета, которые в обычных условиях несут наибольшую весовую нагрузку, т. е. в костях конечностей и позвонках. К обнаруженным изменениям следует отнести замедление скорости костеобразования, остеопороз, деминерализацию, снижение плотности и механической прочности костей.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ПОРАЖЕНИЕ ГЛАЗ. КАТАРОГЕНЕЗ

Анализ литературы о повреждающем действии электромагнитных излучении (ЭМИ) на глаза проводился в двух направлениях: изучение состояния хрусталика глаза в условиях производственной деятельности человека и в эксперименте на животных.

Следует отметить, что публикаций о повреждении глаз при работе с источниками микроволн сравнительно мало. По данным из 226 обследованных лиц, в среднем облучавшихся 4ч в день, при профессиональном стаже до 13 лет, отмечалась повышенная предрасположенность к глазным заболеваниям.

Катаракта у человека может возникнуть при длительном (до года) облучении микроволнами с плотностью мощности 0,1 Вт/см^2. При применении ЭМИ в физиотерапевтических процедурах рекомендован безопасный уровень облучения 15 мин, при превышении которого возможно повреждение хрусталика. Имеются сообщения о возникновении двухсторонней катаракты при кратковременном (до 4 мин) пребывании оператора в зоне 300 мВт/см^2. Обнаружено помутнение хрусталика, сосудистые изменения дна глаза, изменения эластокривой у людей, работающих с плотностью мощности 1-3 мВт/см^2. Ряд сообщений в силу отсутствия точных параметров условий облучения не могут быть отнесены к достоверным.

Значительно больше публикаций экспериментального характера. В основном исследования проводились на частотах 2400 и 2450 МГц, реже - на частоте 10000 МГц. Экспериментальной моделью катаракты чаще всего служил глаз кролика, наиболее подходящий по диаметру зрачка, гистологическому строению хрусталика и другим показателям к глазу человека.

В качестве критерия оценки патологического значения ЭМИ большинство исследователей использовало различного рода помутнения хрусталика и возникновения катаракты, содержание аскорбиновой кислоты, окислительных и гидролитических ферментов. Некоторые исследователи в качестве критерия использовали клинические симптомы: офтальмодинамометрию, кампиметрию и другие показатели. С нашей точки зрения, наиболее адекватным оказалось изучение помутнения хрусталика с признаками катаракты. В этом случае можно получить пороговую величину катарактообразования в зависимости от времени воздействия и плотности мощности. Была получена величина экспозиционной дозы микроволнового облучения, равная 80 мВт/см^2, не вызывающая образования катаракты. Используя дополнительный экспериментальный материал с более точной дозиметрией, другие авторы пытались установить зависимость между плотностью мощности и временем однократного облучения при нулевом пороговом эффекте катарактообразования.

Так как эти экспериментальные данные получены в подавляющем своем большинстве (~96%) при частоте 2400 МГц и на однородной биологической модели (глаза кролика), можно с некоторыми допущениями считать нижеприведенную зависимость порогом образования катаракты:

Однако приведенные данные (по критерию образования катаракты) при всей их наглядности и убедительности не отвечали на следующие вопросы: является ли макроскопическая фиксация катаракты более чувствительным тестом по сравнению с гистохимическими и какова их взаимосвязь; возможно ли образование катаракты при подпороговом воздействии ЭМИ и возможна ли кумуляция эффекта; может ли быть обратное развитие катаракты, следовательно, каков период восстановления и наконец, какова величина безвредного облучения для человека.

A priori на первый вопрос можно ответить отрицательно. Несомненно, чувствительность иных (например, гистохимических) критериев в ответ на облучение может быть выше. Но дело не только в чувствительности, а в патологической значимости критерия. С этой позиции чрезвычайно интересно проанализировать ряд работ более раннего периода (1948-1951 гг.).

В 1951 г. Дейли и сотрудники изучали влияние сантиметровых волн (2450 МГц) на некоторые системы энзимов хрусталика глаза. Было показано совпадение по временным интервалам снижения аденозинтрифосфатазы и пирофосфатазы с образованием микроскопически видимых катаракт. Аналогичная картина была в динамике 2-пептидаз.

По данным ряда авторов в основе катарактогенеза при ЭМИ лежат снижение окислительно-восстановительных реакций и усиление протеолитических процессов.

Несколько иная картина складывается при изучении содержания аскорбиновой кислоты в хрусталике при облучении микроволнами. Значительное уменьшение содержания аскорбиновой кислоты было найдено только через 18ч после облучения. В более ранние сроки - 0,5 и 6 ч - такой эффект не наблюдался. Это дало право авторам говорить об отсутствии корреляции

между возрастанием температуры при облучении и наблюдаемым эффектом. Сходные результаты были получены другими авторами при простом нагреве хрусталика глаза у кролика до 45° С.

Последние исследования с частотой 2450 МГц, при более 100 мВт/см^2 подтвердили тепловую природу образования катаракт, в основе которой лежит коагуляция белков. Ранее было показано уменьшение содержания аскорбиновой кислоты задолго до образования катаракты.Подъем температуры внутри глаза находится в обратной зависимости от содержания аскорбиновой кислоты. Таким образом, можно утверждать, что более тонкие гистохимические реакции совпадают по времени с макроскопическими изменениями — катарактой. Изменения в содержании некоторых ферментов возникают и до образования катаракты.

Оказалось, что латентный период помутнения хрусталика находится в интервале 1—6 дней после облучения. Средний латентный период—3,5 дня. По их данным восстановительный период при однократном облучении подпороговыми дозами равен 4 суткам, при хроническом подпороговом - до 8 суток. Необходимо отметить, что положение о наличии кумулятивных эффектов встречало и встречает возражение некоторых авторов. Если рассматривать кумулятивный эффект проявлением невосстановления микроволнового поражения, то такой эффект может именоваться (по аналогии с радиобиологией ионизирующих излучений) необратимой компонентой микроволнового поражения. Она накапливается в зависимости от режимов облучения и не зависит от интервалов между облучениями.

Наконец, необходимо отметить экспериментальные работы, анализ которых осуществлялся на основе клинических наблюдений. В качестве критериев оценки были использованы светобоязнь, гиперемия конъюктивы, хемоз, миоз, состояния роговицы и внутриглазное давление. В первом случае порог между функциональными и патологическими изменениями лежит в пределах 20-25 мВт/см при облучении в течение 15 мин (10000 МГц), во втором 1 мВт/см^2 — 30 мин однократно в течение месяца (3000 МГц). Проанализированный материал можно суммировать в виде следующих основных положений

1) Глаза животных чувствительны к воздействию ЭМИ и при определенных условиях могут возникать как функциональные, так и необратимые изменениях. Катаракта у животных возникает в диапазоне частот 2450-3000 и 10 000 МГц. На более низких частотах она не наблюдалась.
2) Порог функциональных быстрообратимых изменений для глаз человека может быть экстраполирован на основе экспериментальных данных (с коэффициентом запаса 10) в виде уравнения (3), а образование катаракт—уравнением (1).
3) Порог функциональных и органических изменений является функцией поглощенной дозы и мощности дозы ЭМИ. Поэтому эффект кумуляции при отсутствий прямых экспериментальных данных является спорной проблемой.

— галактические космические лучи (ГК.Л), состоящие из многозарядных ионов легких, средних и тяжелых элементов с энергией до сотен мегаэлектрон-вольт на нуклон (МэВ/нуклон); при этом ионы тяжелых элементов, составляя малую долю в потоке, вносят подавляющий вклад в эквивалентную дозу ГКЛ из-за высокой относительной биологической эффективности (ОБЭ), обусловленной большим значением характеризующей их взаимодействие с веществом линейной передачи энергии (ЛПЭ);

— протоны солнечных вспышек с энергией в десятки и сотни мегаэлектрон-вольт, появление которых носит случайный характер;

— протоны внутреннего радиационного пояса Земли (РПЗ) примерно таких же энергий, вклад которых в дозу значителен на расстояниях 500—3000 км от Земли;

— электроны внешнего РПЗ с энергией в несколько мегаэлектрон-вольт и образуемое им при взаимодействии с веществом тормозное *у-излучеше,* радиационное воздействие которых существенно на расстояниях 1500— 40 000 км от Земли;

— излучения ядерных реакторов (в перспективе), входящих в состав энергетических установок или ракетных двигателей.

Исходя из этого, был сделан вывод, что с позиции обеспечения РБ КП существенно различаются полеты на низких околоземных орбитах, кратковременные полеты в РПЗ, например в направлении Луны и обратно, полеты на геостационарной орбите, т. е. в электронном РПЗ, межпланетные полеты и полеты с ядерным реактором.

Околоземные полеты относят к наименее опасным, хотя при этом имеет место воздействие протонов РПЗ и существует определенная вероятность заметного радиационного воздействия той частью протонов солнечных вспышек, которая проходит через магнитосферу Земли. Сейчас уже хорошо известно, что среднегодовая доза при полете на современной орбитальной станции даже в условиях спокойной радиационной обстановки составляет около 5—10 бэр.

Наибольшие трудности с самого начала были в обеспечении РБ длительных межпланетных полетов, сроки которых в 60-х годах представлялись довольно близкими. Годовая доза только ГКЛ оценивалась для периода максимума солнечной активности в 50 бэр, а для периода минимума —в 100 бэр.

В середине 60-х годов были сформулированы основные научные задачи в области обеспечения РБ КП, спектр их оказался достаточно широким. Наиболее трудной была задача обоснования норм РБ. Применение наземных норм было бы неоправданно жестким ограничением, если учесть высокую стоимость запуска в космос дополнительной массы вещества для создания защиты, уникальность космических полетов и их общую опасность, ограниченность контингента космонавтов и их строгий отбор по показателям здоровья. Поэтому требовалось обосновать, насколько нормы для космических полетов могут быть приняты большими, чем в наземных условиях. С этой целью прежде всего было необходимо изучить особенно-

сти радиобиологического действия космических излучений. Кроме того, специфическую трудность для нормирования представлял вероятностный характер протонных солнечных вспышек. Затем для оперативного обеспечения РБ КП были необходимы адекватные методы и средства дозиметрического контроля.

Требовали решения и другие задачи, традиционные для наземных условий, но имеющие особенности применительно к космическим полетам. К ним относятся учет влияния временной и пространственной неравномерности радиационного воздействия на радиобиологические эффекты, а также изучение распределения тканевой дозы космических излучений, определение эффективности средств фармакохимической защиты по отношению к космическим излучениям. Разумеется, оставалась актуальной задача дальнейшего изучения космических лучей, их состава, энергетического спектра, пространственного и временного распределения. Необходимо было разработать методы расчета поля излучений за защитой при падении на нее протонов и многозарядных ионов высокой энергии и получить исходные данные о ядерных взаимодействиях этих излучений с веществом защиты и ткани.

Решение большинства этих задач было начато в СССР на пучке протонов с энергией 660 МэВ синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем (ЛЯП) объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне. Радиобилогические исследования затем были продолжены на циклотроне Лаборатории ядерных реакций (ЛЯР) и синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий (ЛВЭ) ОИЯИ. Проведение исследований на ускорителях ОИЯИ само по себе было предпосылкой для сотрудничества социалистических стран в области космичеческой радиобиологии, дозиметрии и защиты.

Это сотрудничество началось в 1967 г., когда была сформирована рабочая группа по космической биологии и медицине в рамках программы «Интеркосмос» и в ней было выделено направление исследований по радиобиологии и РБ КП. В это время завершился первый этап радиобиологических исследований на ускорителе ЛЯП ОИЯИ, итоги которого обобщены в монографии. В экспериментах с крупными и мелкими лабораторными животными, с клетками растений, с бактериями и хлореллой было показано, что ОБЭ протонов с энергией 50— 660 МэВ подтверждает применимость для расчета эквивалентной дозы зависимости коэффициента качества от ЛПЭ, регламентированной для наземных условий, в диапазоне значений ЛПЭ до 1500 МэВ смУг. При этом для крупных лабораторных животных надо учитывать образующиеся при взаимодействии протонов с веществом ткани вторичные излучения, имеющие большие значения ЛПЭ. В том же 1967 г. были сформулированы критерии РБ для полетов длительностью до 1 мес: допустимая доза 15 бэр, при которой не возникают заметные непосредственные соматические нарушения; доза оправданного риска 50 бэр, при которой лишь в редких случаях могут появиться легкие признаки первичной лучевой реакции (эта доза предназначена для оценки возможной радиационной опасности); критическая доза 125 бэр установлена как кри-

терий для решения вопроса о возможности дальнейшего продолжения полета.

При условии размещения экипажа на время протонной солнечной вспышки в возвращаемом аппарате, где толщина материала оборудования и конструкций наибольшая, превышение дозы оправданного риска на околоземных орбитах за 30 сут оценивалось как маловероятное при всех существующих неопределенностях этой оценки. Соответственно представлялось необходимым использование методов индивидуальной дозиметрии для измерения доз на отдельных этапах и за весь период полета и бортовой дозиметрии для определения начала протонной солнечной вспышки. Длительность вспышки составляет около суток, поэтому переход экипажа в возвращаемый аппарат, используемый в качестве радиационного убежища, может быть осуществлен вполне своевременно.

Следующий этап радиобиологических исследований начался в связи с подготовкой к обеспечению РБ межпланетных полетов. Именно на этом этапе началось сотрудничество с радиобиологами социалистических стран в рамках программы «Интеркосмос». Сотрудничество в области дозиметрии началось несколько позднее — с начала 70-х гонцов. Затем развилось и совместное исследование радиационной обстановки в космическом пространстве. С конца 70-х годов развернулось также сотрудничество по разработке математических моделей радиобиологических эффектов.

Многозарядные ионы циклотрона ЛЯР ОИЯИ с энергией 8—10 МэВ/ /нуклон характеризуются значениями ЛПЭ в диапазоне 300—5000 МэВ см7г. Это близко к значениям ЛЭП ГКЛ, однако пробеги таких многозарядных ионов в веществе настолько малы, что позволяют изучать ОБЭ только на клеточном уровне. Тем не менее, учитывая, что первичное радиационное поражение происходит именно на клеточном уровне, в экспериментах с клетками бактерий E. coli, с культурой клеток in vitro, с хлореллой, семенами, а также на роговице глаза мышей специалистам ГДР и СССР удалось выяснить основные закономерности формирования ОБЭ и построить соответствующие математические модели. С позиции микродозиметрического описания радиационного воздействия и вероятностного описания развития радиационного поражения на клеточном уровне было показано, что при значениях ЛПЭ более 2000 МэВ см/г регламентированные для земных условий значения коэффициентов качества ионизирующих излучений могут оказаться завышенными применительно к космическим лучам.

С конца 70-х годов совместно со специалистами НРБ начались радиобиологические исследования на пучках ос-частиц, ионов углерода и азота, ускоренных на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ до энергий 4,5 ГэВ/нуклон. Благодаря большим пробегам этих ионов исследования проводили как на клеточном, так и на организменном уровне, при этом большое внимание уделяли поражению клеток головного мозга. Как и при воздействии ГКЛ, здесь существенна роль вторичных излучений, образующихся в тканях организма при ядро-ядерных взаимодействиях.

Другим направлением радиобиологических исследований, начатых в СССР в период создания программы «Интеркосмос», явился «Хронический эксперимент» на 246 собаках, в котором ставилась цель с помощью гамма-излучения воспроизвести несколько возможных в космическом полете временных режимов радиационного воздействия и изучить в течение нескольких лет динамику изменения функционального состояния животных и выживаемость. В течение 3 и 6 лет облучали собак среднегодовой дозой 21, 62 и 125 рад. Только при дозе 360—380 рад отмечались выраженные биохимические изменения в тканях, снижение функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы, нарушения системы терморегуляции и др. Параллельно проводилось хроническое облучение и мелких лабораторных животных. В этих исследованиях широкое участие приняли радиобиологи ЧССР. Результаты проведенных исследований в сочетании с данными литературы по восстановлению радиационного поражения целостного организма, чему в радиобиологии уделялось большое внимание в тот период, и в сочетании с результатами радиационно-физических исследований по оценке радиационного риска в межпланетных полетах при различных уровнях радиационного воздействия, позволили разработать в 1975 г. «Временные нормы радиационной безопасности космических полетов» для полетов длительностью до года (ВНРБ-75). В отличие от наземной практики ВНРБ-75 регламентировали не предельно допустимую дозу, а нормативные уровни радиации, нелинейно зависящие от длительности полета, и вероятность их превышения в связи с протонными солнечными вспышками, которая не должна превышать 1 %. Так, впервые был введен в практику вероятностный критерий РБ. Нормативный уровень космического полета в течение года, например, был установлен равным 150 бэр, что существенно больше предельно допустимой дозы при работе с источниками ионизирующих излучений в наземных условиях.

Космические излучения воздействуют не только на участников космических полетов, но и на экипаж и пассажиров самолетов при сверхвысотных полетах. Поэтому в 1975 г. были разработаны нормы РБ для гражданской авиации.

Радиобиологические эксперименты в условиях космического полета дополняли и уточняли наземные результаты. На ИСЗ «Космос-690» с гамма-облучателем на борту изучали изменения в критических системах организма животных при комбинированном воздействии радиации и других факторов космического полета. Исследование изменений в организме подопытных животных проводили с участием специалистов из ЧССР.

На ИСЗ «Космос-782, -936, -1129, -1514» и на орбитальных станциях «Салют-6, 7» были выявлены множественные хромосомные аберрации в семенах под действием тяжелых ионов ГКИ. В наземных условиях были получены подобные результаты на лимфоцитах при воздействии излучения с большой ЛПЭ, а при гамма-облучении для таких эффектов нужны очень большие дозы.

Следует добавить, что в радиобиологических экспериментах на ускори-

телях и в космическом полете самостоятельным видом деятельности было создание условий облучения, которое включало формирование пучка заряженных частиц, определение его состава с учетом образования вторичных излучений, дозиметрию в ходе облучения, создание бортового гамма-облучателя и т. п. Постепенно эта деятельность также стала предметом сотрудничества по программе «Интеркосмос».

Первым крупным результатом в области дозиметрии явилась разработка к 1975 г. совместно со специалистами ВНР фантома-манекена тела человека из тканеэквивалентной пластмассы для исследования формирования тканевой дозы. Несколько ранее, в 1965 г., на межпланетной автоматической станции «Зонд-5» облетел Луну фантом-манекен, изготовленный специалистами СССР из зерен пшеницы с эпоксидной смолой. Этот состав был достаточно тканеэквивалентен, но нетехнологичен при изготовлении фантомов. Новый фантом изготавливается из полимеризующегося состава путем отливки его частей в пресс-форме. Эти фантомы используют не только в интересах РБ КП, но и при решении подобных задач в наземных условиях.

В радиобиологических экспериментах применяли термолюминесцентные дозиметры (ТЛД), показания которых регистрировали с помощью пультов, разработанных в ВНР. Аналогичный метод применяли в СССР и для индивидуальной дозиметрии космонавтов. В результате сотрудничества по программе «Интеркосмос» специалистами ВНР был создан бортовой прибор «Пилле», состоящий из набора ТЛД-датчиков и портативного пульта. Начиная с полета космонавта ВНР этот прибор регулярно используется на орбитальных станциях для индивидуальной дозиметрии, изучения радиационной обстановки в отсеках, контроля доз в полетных экспериментах и т. п.

Предметом широкого сотрудничества стал и другой метод регистрации космических излучений, который применялся в радиобиологических экспериментах. Это пластиковые трековые детекторы. Изучение состава ГК.Л проводится совместно со специалистами ВНР, ГДР, СРР, ЧССР. Названными детекторами, а также фотоядерными эмульсиями комплектовались сборки «Интеграл». С помощью этих сборок, а также прибора «Пилле» и разработанного в СРР прибора «Минидоза» было проведено тщательное изучение радиационной обстановки в отсеках орбитальной станции во время всех полетов космонавтов социалистических стран.

Перечисленные дозиметрические исследования и их итоги освещены в монографии, вышедшей в 1986 г.

В последнее время проводятся совместные эксперименты по определению уровня воздействия космической радиации в тонких поверхностных слоях, что имеет существенное значение для космонавтов, выходящих в открытое космическое пространство. С этой целью специалистами ВНР, ГДР и ЧССР разрабатываются тонкопленочные ТЛД и методы измерения их показаний.

По мере накопления радиобиологических экспериментальных данных и

благодаря тому, что их сопровождал детальный дозиметрический контроль, предметом сотрудничества стало математическое моделирование радиобиологических эффектов. К концу 70-х годов в ГДР была разработана модель, объясняющая зависимость ОБЭ от ЛПЭ. Затем в СССР она была развита для учета влияния мощности дозы на выживаемость клеток. В последние годы в СССР на основе материалов, представленных исполнителями работ по программе «Интеркосмос», были разработаны модель радиационной скорости смертности и модель обобщенного радиобиологического эффекта, изложенные в докладах на ежегодных совещаниях постоянно действующей рабочей группы по космической биологии и медицине. При этом применение подобных моделей опирается, как было сказано ранее, на микродозиметрическое описание радиационного воздействия на клеточном уровне. Обобщение соответствующих данных в СССР сделано в виде справочника. Имеются и другие обобщающие публикации по вопросам создания радиационной защиты в космосе, которые не были предметом сотрудничества по программе «Интеркосмос», но решались в том же коллективе, который участвовал в сотрудничестве с СССР.

В целом к 1985 г. в СССР завершена большая работа, в которую внесло заметный вклад сотрудничество по программе «Интеркосмос», — разработано 15 нормативно-технических документов Госстандарта, т. е. ГОСТы и методические указания, объединенные общим наименованием «Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете». Среди них «Модель тела человека для расчета тканевой дозы», «Требования к индивидуальному и бортовому дозиметрическому контролю», «Нормы безопасности для полетов продолжительностью до трех лет», «Модель обобщенного радиобиологического эффекта» и др. Стандартизованы также модели космических излучений. При этом следует добавить, что оказалось крайне полезным междисциплинарное взаимодействие в рамках программы «Интеркосмос» с рабочей группой «Космическая физика».

РАДИАЦИОННЫЕ ОДИНОЧНЫЕ СБОИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СОБЫТИЯМИ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Достоверно установлено, что вследствие воздействия космической радиации на борту космических аппаратов происходят искажение и потеря данных в блоках памяти, а также сбои в работе микропроцессорных систем из-за изменения командных кодов. Эти эффекты в большинстве случаев объясняются обратимыми одиночными сбоями цифровых интегральных микросхем, которые представляют собой случайные (не обусловленные управляющими сигналами) изменения инверсии) информационного состояния отдельных ячеек памяти в полупроводниковых оперативных запоминающих устройствах. Возникновение ОС ИС связано с прохождением

27. Новосельцев Н. Г. Биотехнические системы – теория и проектирование. М.: Энергия, 1989.
28. Основы космической биологии и медицины. / под ред. Газенко О. Г., Кельвина М. М.: Наука, 1975.
29. Основы космической биологии и медицины./ Под общей ред. Газенко О. Г. (СССР) и М. Кельвина (США), том 2, книга 2. Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1986, 451 с, т. 3.
30. Парин В. В. Космическая биология и медицина. М.: Медицина, 1975.
31. Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г. Космическая кардиология. Ленинград: медицина, 1967.
32. Парин В. В., Баевский Р. М., Неоредов Ю. Г. Принципы медицинского контроля в условиях длительного космического полета. Космическая биология и медицина. 1978, №4, 57.
33. Пену А. Ю. Практическая эхография. / Кишинев, Штиница, 1990.
34. Попечителев Е. П. Методы медико-биологических исследований. Системные аспекты. / Учебное пособие. Житомир, 1997.
35. Популярный биологический словарь / Н. Ф. Реймерс. – М.: Наука, 1991. – 554 с.
36. Радиоэлектроника и связь. №12, 1987.
37. Санько Е. Ф. Научные исследования в области космической биологии и медицины. Вестник Российской Космической Академии, 1999.
38. Сидорова Г. П., Демидов В. Н. Клиническая ультразвуковая диагностика. М.: Медицина, 1987.
39. Советский Энциклопедический Словарь. М.: "Советская энциклопедия", 1987.
40. Справочник необходимых познаний. / ред. Стаценко А. РИА "Вся Пермь", 1994.
41. Справочник по космической биологии и медицине. М.: Медицина, 1983.
42. Справочник по космической биологии и медицины / под ред. А. И. Бурназяна, О. Г. Газенко. – М.: Медицина, 1983.
43. Справочник по космонавтике / Под ред. Н. Я. Кондратьева, В. А. Одинцова. М.: Воениздат, 1966.
44. Улугбеков А. Т. Богатства внеземных ресурсов. М.: Знание, 1984.
45. Физиологические исследования в невесомости. / под ред. Симонова П. В., Касьяна Н. Н. – М.: Медицина, 1983.
46. Физиологические проблемы невесомости /под ред О. Г. Газенко, И. И. Касьяна. – М.: Медицина, 1983, 288 с.
47. Хрунов Е. В. Человек – оператор в космическом полете. М.: Машиностроение, 1984.
48. Шиллер Н., Осипов М. А. Клиническая эхокардиография. М.: Медицина, 1993.
49. Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных. – М.: Высшая школа, 1988.

высокоэнергетических ядер внутри ИС и накоплением избыточного заряда на электродах ИС вследствие разделения носителей в ионизационном треке.

Появление высокоэнергетических ядер в чувствительных областях ИС (и как следствие, возникновение ОС) в условиях космического пространства объясняется двумя причинами:

1 - непосредственным проникновением в ИС ионов (с наибольшей эффективностью - тяжелых ядер с зарядом z S 2), входящих в состав космических лучей, из которых за экраны толщиной более 0.1 г/см^2 проникают только ионы галактических и солнечных космических лучей (ГКЛ и СКЛ соответственно);

2- образованием остаточных ядер (в результате ядерных реакций) и ядер отдачи (в результате упругих столкновений) в базовом и конструкционных материалах ИС из-за взаимодействия протонов радиационных поясов Земли и космических лучей с атомными ядрами этих материалов.

При обнаружении ОС на американском геостационарном спутнике, этот эффект был интерпретирован как результат непосредственного проникновения в ИС тяжелых ядер ГКЛ. Эта причина возникновения ОС ИС впоследствии нашла подтверждение при анализе временного ряда данных по интенсивности ОС, испытываемых биполярной микросхемой памяти Pahchild 93L422 на геостационарных спутниках *Leasat* в 1985-1986 и *TDRS-1* в 1986-1991 гг.. Дальнейшие исследования ОС ИС показали, что вторая причина возникновения ОС, обусловленная образованием остаточных ядер в веществе ИС при воздействии протонов, также играет заметную роль, если орбита КА проходит во внутреннем радиационном поясе Земли. Теперь установлено, что определяющая роль первой или второй причины в эффекте возникновения ОС зависит от соотношения потоков тяжелых ядер и протонов в составе космической радиации. В составе ГКЛ поток протонов лишь на два-три порядка превышает поток тяжелых ядер, что не позволяет протонам конкурировать с тяжелыми ионами по эффективности возникновения ОС. Иначе обстоит дело во внутреннем радиационном поясе Земли, в котором при наличии значительных потоков протонов потоки тяжелых ионов практически отсутствуют.

Несмотря на определенные успехи все еще остается открытым вопрос об основной причине возникновения ОС ИС при воздействии частиц СКЛ. Существует две крайние точки зрения. Одни авторы считают, что этим источником, так же как и при воздействии частиц ГКЛ, являются тяжелые ионы. Другие авторы, наоборот, появление ОС ИС от частиц СКЛ связывают с протонным компонентом их потока. Эти противоречивые мнения заставляют обратить пристальное внимание на точность, с которой в разных методиках учитывается вклад отдельных компонентов (протонов и тяжелых ионов) космической радиации в интенсивность ОС ИС

Именно эта проблема решается в настоящей работе с помощью разработанных математических моделей, которые учитывают, с одной стороны, особенности энергетических спектров частиц СКЛ и, с другой стороны,

отличия в физических эффектах возникновения ОС при воздействии протонов и тяжелых ионов. Выводы сделаны на основе расчетных значений интенсивности ОС ИС Fairchild 93L422 при воздействии потоков частиц во время событий СКЛ в сентябре-октябре 1989 г. и их сравнения с экспериментальными данными, полученными на геостационарном спутнике *TDRS-1*.

ВЫВОДЫ

Анализ воздействия потоков частиц СКЛ на ИС в условиях космического полета показывает, что первопричиной одиночных сбоев аппаратуры служит воздействие как тяжелых ионов, так и продуктов взаимодействия протонов с веществом. Роль того и другого механизма воздействия зависит от соотношения потоков тяжелых ионов и протонов в месте расположения ИС на борту космического аппарата. Это соотношение напрямую зависит от энергии указанных частиц и от распределения вещества вокруг микросхемы.

Расчетные методики, нацеленные на описание и прогноз интенсивности ОС ИС при воздействии частиц СКЛ, должны:

1) учитывать как ионный, так и протонный компоненты СКЛ, ответственные соответственно за прямую и вторичную ионизации в чувствительных объемах ИС;

2) основываться на модели потоков СКЛ, учитывающей закономерности изменения отношения потоков ионов к потоку протонов с изменением энергии частиц;

3) принимать во внимание распределение экранирующего вещества вокруг ИС.

Только выполнение всех перечисленных условий позволяет получить достоверные данные об уязвимости ИС при воздействии потоков частиц СКЛ в конкретных условиях космического полета. В этом проявляется принципиальное отличие воздействии потоков СКЛ от воздействия фоновых потоков ГКЛ, для которых оценки интенсивности ОС, как правило, не требуют знания распределения вещества вокруг ИС.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ИСКУСТВЕННОМ СПУТНИКЕ ЗЕМЛИ «КОСМОС-1129»

В наружных контейнерах, установленных на спутнике биологической серии «Космос-1129», были проведены измерения освещенности, создаваемой Солнцем на поверхности объектов, движущихся на сравнительно невысоких и почти Круговых околоземных орбитах (средняя высота 300 км, угол наклона орбиты 62°). Эти измерения были вызваны необходимостью контроля условий экспонирования в открытом космосе биологических объектов семян салата и яиц Arthemia Salina. Одновременно были получены данные о суммарной длительности промежутка времени, в течение которого ориентированы в направлении на Солнце детекторы космического излучения, размещенные в этих же контейнерах.

Спутник был запущен на околоземную орбиту 25.IX.1979 г. после почти

ЛИТЕРАТУРА

1. Авиакосмическая и экологическая медицина. №3, 1995.
2. Баевский Р. М. Служба здоровья в космосе. М.: Знание, 1966.
3. Баевский Р. М. Физиологические измерения в космосе и проблема их автоматизации. М.: Наука, 1970.
4. Баевский Р. М., Егоров А. Д., Казарьян Л. А. Методика сейсмографии. / Кардиология, 1974, №2.
5. Бергман Л. Ультразвук. М.: Мир, 1966.
6. Биомедицинские технические системы. / Межвузовский сборник. Под ред. Баламова Е. П. Ленинград, 1983.
7. Бобков В. Г. Радиационная безопасность при космических полетах. М.: Атомиздат, 1964.
8. Богданов В. А. Движение человека в условиях лунного тяготения. – Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1971, т. 5, №2.
9. Бражников В. Г. Ультразвуковые методы. М.: Медицина, 1966.
10. Витинский Ю. И. Солнечная активность. М.: Наука, 1986.
11. Воробьев Е. И., Ковалев Е. Е. Радиационная безопасность экипажей летательных аппаратов. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
12. Газенко О. Г., Баевский Р. М. Физиологические методы в космическй медицине. Искусственные спутники Земли. 1976, вып. 9.
13. Дорман Л. И. Космические лучи в магнитном поле Земли. М.: Наука, 1971.
14. Зарецкий В. В., Бобков В. В., Ольбинская Л. И. Клиническая эхокардиография. М.: Медицина, 1979.
15. Иванов В. В. Курс дозиметрии. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
16. Ковалев Е. Е. Радиационный риск на земле и в космосе. М.: Атомиздат, 1976.
17. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
18. Космическая биология и авиакосмическая медицина. №6, 1988.
19. Космическая биология и авиакосмическая медицина. Т.18, №1, 1988.
20. Космическая биология и медицина / под ред. Берга А. И. – М.: Просвещение, 1975.
21. Кронгауз А. Н. И др. Физические основы клинической дозиметрии.– М.: Атомиздат, 1969.
22. Крюгер А. Солнечная радиоастрономия и радиофизика. М.: Высшая школа, 1998.
23. Меделяковский А. Н. Биологическое управление. М.: Знание, 1970.
24. Медицина сегодня // М.: Знание, №11, 1990.
25. Моисеев А. А.Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
26. Невесомость. Физические явления и биологические эффекты / под ред. Э. Бенедикта. Перевод с англ. М.: Мир, 1964.

ЭМГ – электромиография
ЭМП – электромагнитные поля
ЭОГ – электроокулиграфия
ЭП – электрические поля
ЭЭГ – электроэнцефалография
ЯМР – ядерный магнитный резонанс

20-су-точного полета наружные контейнеры в составе спускаемого аппарата были возвращены на Землю. Во время полета спутник не был ориентирован, совершая медленное вращение вокруг оси, неконтролируемо меняющей свое направление. Использованные для исследований контейнеры обеспечивали теплозащиту размещенных в них объектов во время прохождения спускаемого аппарата через плотные слои земной атмосферы.

Измерения освещенности проводились с помощью автономного, не имевшего телеметрического выхода датчика типа ДКО-2. Согласно схеме, приведенной на рис. 21, датчик содержал кремниевые солнечные элементы 1 и 2, подключенные через делитель 4 и 5 к интегрирующему ртутному кулометру 3, а также компенсационные-полупроводниковые диоды 6 и 7. С помощью механической шторки датчики могут быть поочередно открыты (при этом направление передвижения электродного промежутка между ртутными электродами изменяется на обратное). Малогабаритный ртутный кулометр служит интегрирующим элементом датчика 3. Электрический ток, создаваемый открытым солнечным элементом, свою очередь приводит к смещению положения капли электролита на неподвижной шкале. Смещение пропорционально величине пропущенного через кулометр электрического тока, зависящего от количества света, попавшего на поверхность солнечного элемента.

Диапазон длин волн светового излучения, регистрируемого датчиком, определяется спектральной чувствительностью солнечного элемента и для обычных кремниевых элементов лежит в интервале 0,4—1,2 мкм. При установке спектральных фильтров можно скорректировать рабочий диапазон длин волн в соответствии с характеристиками источника света, кривой видности глаза, эритемной чувствительностью кожи и другими требованиями.

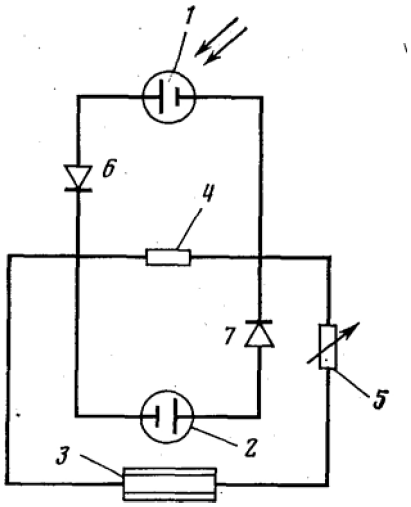


РИСУНОК 21. – СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА.

В зависимости от величины сопротивлений 4 и 5 чувствительность кулометра. может плавно регулироваться в значительных пределах. Линейный диапазон энергетической чувствительности датчика простирается вплоть до 3000 Вт/м^2. Время: интегрирования освещенности по шкале датчика (в одну сторону) может составлять от нескольких часов до 2,5 тыс. ч., оно регулируется путем установки диафрагм перед солнечным элементом или изменением величины тока с помощью резисторов в делителях 4 и 5. Переход от прямой шкалы к обратной производится простым поворотом торцевого диска, связанного с механической шторкой, на 120°. Информация о зарегистрированной интегральной освещенности может сохраняться в течение двух — десяти лет.

В процессе облучения ртутный кулометр для предотвращения его нагрева закрыт ит прямого попадания света защитным экраном. В качестве покрытий солнечного элемента использовались просветляющие пленки, уменьшающие отражение, и ра-диационно-стойкое стекло.

Перечисленные характеристики датчика ДКО в сочетании с небольшими габаритами (диаметр 24 мм, длина 70 мм), малой массой около 60 г и отсутствием внешних источников питания (солнечные элементы работают в фотогенераторном режиме) позволили выбрать его в качестве измерителя освещенности на поверхности;

спутника в условиях открытого космоса без использования каких-либо дополнительных защитных слоев для экранирования воздействия корпускулярного облучения.

Перед установкой на борт спутника датчик ДКО был откалиброван на Имитаторе солнечного излучения таким образом, чтобы освещенность, максимально достижимая за полет, соответствовала 0,95 от длины шкалы кулометра.

На внутренней крышке контейнера научной аппаратуры спутника «Космос-1129» были размещены металлические пластины с нанесенными на их поверхность селективными покрытиями. Некоторые из этих покрытий, например, белые акриловые эмали, темнеют под воздействием солнечного излучения. Темп увеличения интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения «с их поверхностью достаточно хорошо изучен в космических условиях при полетах аппаратов серии «Венера» на датчиках с достаточно точной ориентацией на Солнце. Величина светового потока, попавшего на покрытия, установленные в контейнерах научной аппаратуры биологического спутника «Космос-1129», и интегральная освещенность контейнеров оценивались дополнительно по изменению коэффициента поглощения солнечного излучения ас этих покрытий за все время полета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ:

АРУ – автоматическая регулировка усиления
АСУ – автоматическая система управления
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь
БО – биологический объект
БП – блок питания
БЭИИ – биологические эффекты ионизирующих излучений
ВАРУ – временная автоматическая регулировка усиления
ВКУ – видеоконтрольное устройство
ВСК – встроенный контроль
ВЧ – высокочастотный
ГКИ – галактическое космическое излучение
ГЭБ – гематоэнцефалический барьер
ДНК – дезоксикарбонуклеиновая кислота
ДТД – диэлектрические трековые детекторы
ДЦ – дифференцирующая цепь
ИГА – искусственная газовая атмосфера
ИСТ – искусственная сила тяжести
КК – коэффициент качества
ЛПЭ – линейная передача энергии
МОК – минутный объем кровообращения
МП – магнитные поля
МПФ – модуляционная передаточная функция
НЧ – низкочастотный
ОБЭ – относительная биологическая эффективность
Прд – передатчик
Прм – приемник
РПЗ – радиационные пояса Земли
СВЧ – сверхвысокочастотный
СД – синхронный детектор
СКЛ – солнечные космические лучи
ТЛД – термолюминесцентные дозиметры
ТТ – температура тела
УОК – ударный объем кровообращения
УПТ – усилитель переменного тока
УФИ – ультрафиолетовое излучение
ЦАП – цифроаналоговый преобразователь
ЦВМ – цифровая вычислительная машина
ЦНС – центральная нервная система
ЧД – частота дыхания
ЧПИ – частота повторения импульсов
ЧСС – частота сердечных сокращений
ЭВМ – электронная вычислительная машина
ЭКГ – электрокардиография
ЭЛТ – электронно-лучевая трубка

ляющаяся специальными ферментами и находящаяся под контролем генов; процесс, направленный против возникновения мутаций, свойственна всем организмам; 2) одна из форм реституции-1 – восстановление тканей тела или состава популяций, поврежденных или изреженных ионизирующим излучением или ультрафиолетовыми лучами; происходит путем размножения клеток и организмов, уцелевших после облучения.

Реституция: 1) все виды восстановления органов и тканей организма; включает регенерацию и репарацию-1; в медицине неполную реституцию называют субституцией; 2) в зоологии реституцию считают частным случаем регенерации и трактуют как восстановление целого организма из его части, например гидры, способной "возродиться" из 1/200 своей части.

Ретикулоцитоз – повышение числа незрелых эритроцитов или ретикулоцитов в крови.

Синергия – комбинированное воздействие двух или более факторов (обычно подразумевается химических или физического и химического), характеризующиеся тем, что совместное действие значительно превышает эффект каждого из компонентов в отдельности и их простой суммы.

Соляризация – наблюдаемое при сверхбольших экспозициях уменьшение (с увеличением экспозиции) плотности почернения фотографического на проявленном светочувствительном слое (галогеносеребряном). Приводит к превращению негативного изображения в позитивное.

Тератоген(ы) – биологические воздействия (внутриутробные заболевания), химические факторы, вызывающие в процессе индивидуального развития уродства у организмов.

Тромбоцитопения – уменьшение числа кровяных пластинок (тромбоцитов) в единице объема крови; физиологическая (например, при менструациях) или при различных заболеваниях. Следствием этого является склонность к кровоточивости.

Фенотип – совокупность всех внутренних и внешних признаков и свойств индивида. Сформировавшихся на базе генотипа в процессе индивидуального развития (онтогенеза) и служащим одним из вариантов нормы реакции организма на внешние условия.

цитокинез

Эмбриогенез – процесс зародышевого (эмбрионального) развития организма от оплодотворения до рождения или выхода из яйца (у растений до прорастания семени).

Эритема – ограниченное или разлитое покраснение кожи при воздействии различных факторов (физических, например, облучение, химических и др.).

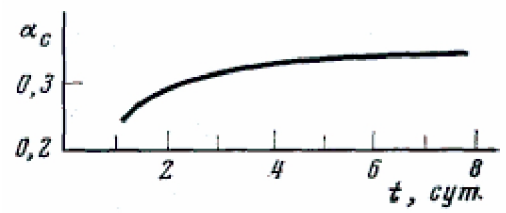


РИСУНОК 22. – ЗАВИСИМОСТЬ α_c ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ

На рис. 22 показана зависимость α_c от освещенности или времени полета в. солнечных сутках (принималось, что солнечная постоянная равна 1360 Вт/м^2). Зная величину α_c до и после полета, можно с помощью этих данных оценивать длительность промежутка времени, в течение которого объекты, размещенные в контейнерах, освещались солнечным излучением, направленным перпендикулярно поверхности пластин с покрытиями и провести сравнение двух методов измерения освещенности в течение полета.

Проведенные в экспериментах на спутнике «Космос-1129» измерения интегральной величины потока солнечного излучения на объекты, размещенные в контейнерах, 4,6 сут (по потемнению покрытий) и 4,5 сут по данным ДКО.

Следует отметить, что полученные данные соответствуют потоку солнечного излучения, падающего по нормали к поверхности датчиков ДКО и пластин с покрытиями. Этот поток в определенном смысле является эквивалентным, поскольку суммарный реальный поток излучения падает на плоские поверхности под разными .углами в пределах телесного угла, равного 2л.

Таким образом, выполненные исследования позволили с достаточной: степенью точности установить, что за время около 20 сут неориентированного полета искусственного спутника Земли «Космос-1129» установленные на нем контейнеры с научной аппаратурой были облучены потоком солнечного излучения, эквивалентного прямому солнечному потоку, направленному вдоль нормали к поверхности, в течение 4,5-4,6 сут.

Проведенные в лабораторных условиях исследования показали, что процессы образования центров окраски в терморегулирующих покрытиях и кристаллизации в тонких пленках в основном заканчиваются через 100—110ч непрерывного солнечного облучения при плотности потока внеатмосферного излучения 1360 Вт/м^2. Это обстоятельство позволяет на основе испытаний материалов, тонких пленок и покрытий, экспонированных в контейнерах научной аппаратуры спутников типа «Космос-1129», сделать важные в научном и практическом отношении заключения об их светостойкости и различных возможностях применения.

Так, например, исследования, проведенные одновременно с измерением освещенности датчиком ДКО-2 на орбите спутника Земли «Космос-1129», подтвердили результаты, ранее полученные при наземных испыта-

ниях, что наиболее светостойкими прозрачными полимерными материалами являются пленки на основе фторсо-полимеров и кремний-органические покрытия. Политетраэтиленфталатные пленки за тот же период испытаний потемнели и в значительной степени потеряли механическую прочность. Многослойные прозрачные теплорегулирующие и электропроводные покрытия трехслойной композиции ZnS — Ag — ZnS на стекле успешно выдержали испытания без изменения интегрального коэффициента пропускания в области солнечного спектра, равного 70—75%, и низкой степени черноты в, составлявшей до и после испытаний 0,08—0,09. Вероятно, подслой ZnS на стекле предотвращал кристаллизацию пленки серебра и помогал сохранить ее высокую исходную электропроводность и прозрачность.

Тем самым результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать светостойкие покрытия для использования в качестве, например, защитных слоев для иллюминаторов, солнечных элементов и батарей, разнообразных датчиков теплового и корпускулярного облучения.

ВКЛАД КОМПАНИИ КАЙЗЕР-ФРЕД В ПРОЕКТ ФОТОНА

Компания Кайзер-Фред разрабатывает оборудование для проведения микрогравитационных экспериментов на ФОТОНЕ по контрактам ЕСА с 1991 года. Оборудование, поставляемое компанией совместно с Московским техническим центром применяется для определения показателей диффузии в материалах, остаточных ускорений и микрогравитационных сбоев. В зависимости от года выпуска и требуемых результатов, оборудование применялось на разных версиях ФОТОНА:

Версия ФОТОНА	Год	Оборудование
ФОТОН 7	1991	COSIMA-4, ZONA-4
ФОТОН 8	1992	BIOPAN, ZONA-4
ФОТОН 9	1994	BIOPAN, ZONA-4, HSS
ФОТОН 10	1995	KONSTANTA-2, ZONA-4, HSS
ФОТОН 11	1997	MIRKA, BIOPAN, QSAM, ZONA-4
ФОТОН 12	1999	BIOPAN, AGAT, POLISON, QSAM

Основные характеристики и области применения некоторых видов оборудования

ZONA-4M

Применение: Плавление, определение переходных областей и зональное выращивание кристаллов.

Носитель: ФОТОН
Размеры: 900*455*455 мм
Масса: 89 кг
Потребление: 300 Вт (500 Вт пиковая мощность)
Напряжение питания: 27 В (постоянное)
Атмосфера: Вакуум
Нагрев: 4 нагревателя для каждого образца
Зона нагрева: 16 мм
Излучатель: 22/32 мм

родное или синтетическое вещество, угнетающее активность ферментов или полностью прекращающее их деятельность; 4) любой агент, тормозящий (обычно кратковременно) какой-либо сложный биологический процесс, например рост растений.

Интероцептор(ы) – чувствительные нервные окончания, воспринимающие физические, химические и др. сдвиги во внутренней среде организма; расположены в мышцах, сухожилиях, внутренних органов, сосудах и т.д.

Канцерогенез (бластмогенез, онкогенез) – процесс возникновения и развития злокачественной опухоли.

Лейкемия (лейкоз, белокровие) – опухолевые заболевания кроветворной ткани с поражением костного мозга и вытеснением нормальных ростков кроветворения; увеличением лимфатических узлов и селезенки; изменениями в картине крови и другими проявлениями.

Лейкопения – уменьшение числа лейкоцитов в единице объема крови при некоторых инфекционных заболеваниях, а также в результате лучевого поражения, приема лекарственных препаратов.

Лейкоцитоз – увеличение числа лейкоцитов в крови. Может возникать в результате нормальных физиологических причин (например, при пищеварении, беременность) и патологических изменений – при инфекционных и воспалительных заболеваниях (например, при аппендиците).

Метахромазия – способность окрашиваться не в цвет красителя.

Микрофаг(и) – одна из форм лейкоцитов (гранулоцитов), способных к фагоцитозу мелких инородных частиц, в т.ч. микропроб. Микрофаги могут растворять (линизировать) омертвевшие ткани.

Нистагм – непроизвольные, быстро следующие друг за другом движения глаз из стороны в сторону (реже – круговые и вверх-вниз) при некоторых заболеваниях центральной нервной системы и внутреннего уха.

Остеопороз – разрежение костного вещества (на ограниченном участке кости или во многих костях) после переломов, при различных заболеваний.

Патогенность – способность болезнетворных или паразитарных организмов вызывать инфекционные заболевания других существ.

Проприорецептор(ы) – чувствительные нервные окончания, расположенные в мышечно-суставном аппарате: мышцах, связках, суставных сумках; разновидность интероцепторов.

Редубликация (репликация, автодубликация) – процесс (и способность к нему) синтезирования живыми организмами и/или их частями (клетками, хромосомами, пластидами, митохондриями и др.) веществ и структур, полностью идентичных тем, что заложены в исходном образовании. В результате редубликации происходит самоудвоение молекул и других структур за счет использования веществ окружающей среды, иногда физикохимически резко отличающихся от образуемых (неорганических и органических). Основой автодубликации хромосом служит ДНК-(ре)дубликация.

Репарация: 1) ликвидация поврежденных генетических структур (ДНК, хромосом) внешними и внутренними для клетки факторами, осуществ-

Афферентный – несущий к органу или в него (например, ветви почечных артерий, идущие к клубочкам), нервы, идущие к органам.

Афферентный – несущий к органу или в него (например, ветви почечных артерий, идущие к клубочкам), нервы, идущие к органам.

Аэробиоз – жизнь в присутствии свободного кислорода. Аэробиоз характерен для громаного большинства животных, растений и микроорганизмов. Все аэробные организмы (аэробы), в отличие от анаэробных (анаэробы), получают энергию для жизнедеятельности в результате окислительных процессов (дыхание); их ферментные системы способны переносить водород на свободный кислород.

Генотип – совокупность (система) всех наследственных задатков особи, наследственная основа организма, составленная совокупностью генов (геномом), а также неядерных – цитоплазматических и пластидных (плазмон) ее носителей. Генотип – это сложно взаимодействующая система наследственных задатков данной клетки или организма, включая аллели генов, характер их сцепления в хромосомах и наличие хромосомных перестроек.

Гиперемия – местное увеличение количества крови при усиленном притоке ее к какому-либо органу или участку тканей (артериальная, активная гиперемия) или затрудненном ее оттоке (венозная, пассивная, застойная гиперемия).

Гипероксия – увеличение напряжения кислорода.

Гипертермия – перегревание организма теплокровных животных и человека вследствие нарушения соотношения между теплопродукцией и теплопередачей.

Гипертония: 1) повышенный тонус тканей и органов; 2) повышенное кровяное давление (у человека норма 120 на 80 мм ртутного столба).

Гиподинамия – нарушение функций организма при малой двигательной активности. В частности, гиподинамия характерна для людей, ведущих малоподвижный образ жизни.

Гипокапния – уменьшенное содержание и парциальное давление CO_2 в артериальной крови. Поскольку CO_2 служит раздражителем дыхательного центра в мозге, гипокапния вызывает одышку.

Гипоксия – пониженное содержание кислорода в тканях организма, наблюдаемое при недостатке кислорода в воздухе, некоторых заболеваниях и отравлениях.

Гипотермия – охлаждение; понижение температуры тела теплокровных животных и человека из-за преобладания теплоотдачи и теплопродукцией.

Гипотония: 1) пониженный тонус тканей и органов (например, кровеносных сосудов); 2) повышенное кровяное давление.

Диурез – мочеотделение. Скорость диуреза выражают в мл/мин по отношению к средней поверхности тела (у человека 1,73 $м^2$) или на 100 г массы тела.

Ингибитор: 1) вещество, замедляющее протекание химических реакций или прекращающее их; 2) вещество, выделенное организмом, замедляющее развитие других особей того же или других видов (аллелопатия); 3) при-

Диапазон температур: 480-1150 С
Образцы: 4 образца, помещенные в картриджи
Картридж: R10*230 мм
Образец: R9*110 мм
Постоянное магнитное поле: 0,12 Тл
Переменное поле: до 2 мТл; 50-400 Гц

2. KONSTANTA-2

Применение: Обработка материалов в области постоянных температур
Образцы: 12 капсул с исследуемым материалом
Носитель: ФОТОН
Размеры: 1072*500*480 мм
Масса: 80 кг
Потребление: 300 Вт (600 Вт пиковая мощность)
Напряжение питания: 27 В (постоянное)
Атмосфера: Вакуум (соединение с внешней средой корабля)
Зона нагрева:360 мм
Излучатель: 50 мм
Диапазон температур: 480-1150 С
Картридж: R22,5*360 мм
Образец: R20*150 мм

3. AGAT

Применение: выращивание кристаллов
Образцы: 6 картриджей с образцами
Носитель: ФОТОН
Размеры: 440*470*180 мм (устройство обработки материала)
350*250*180 мм (устройство управления)
Масса: 32 кг
Потребление: 110 Вт (250 Вт пиковая мощность)
Напряжение питания: 28 В (постоянное)
Атмосфера: Вакуум (1 мБар)
Картридж: R20*250 мм

Устройство BIOPAN устанавливалось на внешней поверхности капсулы ФОТОНА для проведения длительных экспериментов с биологическими образцами, помещенных в условие солнечной радиации. При достижении орбитальной высоты наружная крышка прибора открывалась и находилась в закрытом состоянии при взлете/посадки корабля-носителя. Температура в эксперименте поддерживалась в пределах 15-20 градусов. Опыты прошли успешно на 8, 9, 11, 12 ФОТОНАХ. BIOPAN разрабатывался совместно Кайзер-Фред компанией (дизайн, механика, электроника, вопросы интеграции), Кайзер-Италия и ЦСКБ Прогресс.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО POLISON ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ФОТОНЕ

Устройство разработано для использования на автоматическом космическом спутнике ФОТОН. Предназначено для проведения космических

экспериментов с материалами и состоит из электровакуумного оборудования, электронного блока контроля и некоторых дополнительных систем.

Тепловой блок включает в себя семь секций; температура каждой секции может быть выставлена с помощью устройств контроля и может различаться между секциями. Это необходимо для возможности проведения различных экспериментов с разными материалами, по разным методикам и в различных условиях. Тепловое воздействие создается с помощью магнитных индукторов, производящих вращающееся электромагнитное поле. Такое поле позволяет успешно контролировать все фазы эксперимента. Подобные разработки применяются также на космических станциях МИР и ИСС, являются наиболее перспективными в процессе выращивания кристаллов в условиях малой гравитации.

POLIZON позволяет применять несколько методов для выращивания кристаллов: метод простого выращивания, метод выращивания с точкой кристаллизации, метод изменяющихся температур, метод постоянных температур.

Западными компаниями были проведены эксперименты по выращиванию кристаллов в поворачивающемся магнитном поле (в 2002 году планируется провести данную группу экспериментов на ФОТОНЕ). Температура поддерживалась на уровне 650-670 С, образцы диаметром 60мм и длиной 25мм помещались в кварцевые ампулы, которые находились в вертикальном состоянии и перемещались вниз со скоростью 2.5мм/мин. Кристаллы в ампулах росли с разными скоростями, но структуры оставались похожими и состояли из трех разноориентированных областей. На рисунке приведен вид прибора POLIZON.

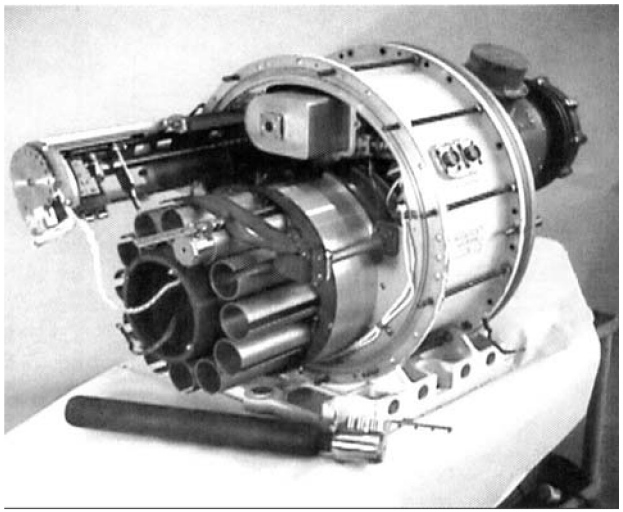


РИСУНОК 24. ПРИБОР POLIZON.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕРМИНОВ

Альвеола(ы): 1) концевые отделы (пузырьки) мешотчатых (альвеолярных) желез (аденомеры, или ацинусы); 2) пузырьки (округлой или овальной формы) в легком на концах тончайших разветвлений бронхов, обвитые сетью капилляров; 3) ячейки (лунки) в челюстных костях высших позвоночных животных, где помещаются корни зубов.

Анаэробиоз – жизнь в отсутствии свободного кислорода. Для анаэробных организмов характерно получение энергии для жизнедеятельности путем расщепления сложных неорганических (например, нитратов) и сульфатов) или органических (углеводов) веществ.

Антагонизм – в биологии, выражается в борьбе за существование. В физиологии подобные отношения, называют антагонизм физиологических функций, наблюдаются в деятельности скелетных мышц, в некоторых функциях симпатического и парасимпатического отделов нервной вегетативной нервной системы, противоположно действующих на зрачок, работу сердца и др., в деятельности нервной системы с двумя ее активными нервными процессами – возбуждением и торможением, составляющие единство противоположностей.

Атаксия – расстройство координации произвольных движений. Сенситивная атаксия наблюдается при поражении периферических нервов или задних стволов спинного мозга. При мозжечковой атаксии (поражение связей или структур мозжечка)больной выполняет нужные движения в чрезмерном объеме: пытаясь коснуться какой-либо предмета, он заносит руку слишком далеко (гипертермия) и т.п. Лобная атаксия возникает при нарушении лобно-мозжечковых путей. Лабиринтная атаксия –проявляется резким головокружением, горизонтальным нистагмом.

Атеросклероз – хроническое заболевание, характеризующееся уплотнением и потерей эластичности стенок артерий, сужением их просвета с последующим нарушением кровоснабжения органов; обычно поражается (хотя и неравномерно) вся артериальная система организма.

Атония – утрата нормального тонуса (напряжения) мышц скелета и внутренних органов, например, кишечника при истощении, нервных и других заболеваниях. Может быть врожденной.

Атрофия: 1) прижизненное уменьшение размеров органов и тканей, замещение функционирующих их клеток соединительнотканными, жировыми и т.п. Сопровождается нарушением или даже прекращением их функций. Общая атрофия, вызванная истощением организма, называется также кахексией. Отличают нормальную физиологическую атрофию, например зобной железы у человека в зрелом возрасте, тканей при метаморфозе животных, половых желез, серого вещества головного мозга при глубоком старении, и патологическую атрофию (от нарушения питания, длительного бездействия, при инфекционных заболеваний, раке и т.п.); 2) притупление какого-то чувства, свойства (переносное).

Метеориты.

Таблица 27 – Известные метеориты.

Метеорит	Место падения	Масса (т)	Дата падения или год обнаружения
Железные метеориты			
Гоба	Намибия	60	1920
Кейп-Йорк I	Гренландия	31	1818
Бакубирито	Мексика	27	1863
Мбози	Танзания	26	1930
Арманты	Китай	20	неизвестно
Кейп-Йорк VI	Гренландия	15	1963
Вильяметте	США	14	1902
Чупадерос	Мексика	14	1852
Морито	Мексика	11	1600
Мундрабилла	Австралия	10	1966
Железнокаменные метеориты			
Битбург	ФРГ	1,5	1805
Хукитта	Австралия	1,4	1937
Бондок	Филиппины	0,886	1956
Палласово Железо	СССР (Сибирь)	0,687	1749
Эстервилл	США	0,337	10.V.1879
Маунт-Вернон	США	0,159	1868
Молонг	Австралия	0,105	1912
Каменные метеориты			
Цзилинь	Китай	1,77	8.III.1976
Нортон Каунти	США	1,078	18.II.1948
Лонг Айленд	США	0,564	1891
Парагулд	США	0,372	17.II.1930
Хьюготон	США	0,325	1927
Оханский	СССР	0,3	30.VIII.1887
Княгиня	СССР (Карпаты)	0,293	9.VI.1866

ЭКСПЕРИМЕНТ TRAMP

Использование жидкостей на борту космического корабля усложняет задачу исследования и постановки экспериментов. Использование жидкостей вносит своеобразные погрешности в опыты, которые для повышения качества результатов необходимо учитывать. Использование жидких сред требует обоснование выбора схем и конструкций следящих устройств, предназначенных для изучения процессов, происходящих в условии малой гравитации в объеме жидкости. Выбор подобных устройств зависит от плотности и вязкости исследуемой жидкости.

Коррозия

Коррозия механической части любого прибора, подверженного действию жидкой среды – источник большого процента неполадок, происходящих на борту космического аппарата. Микроскопический анализ устройств позволяет выявить наличие множества глубоких трещин, сколов и следов появления ржавчины на деталях устройств как стальных, так и алюминиевых и пластиковых.

Следящие устройства

На первых этапах проекта использовались частицы ЛАТЕКСА (плотность: 1,05 кг/м3). Их радиусы произвольно распределены между 100-500 мкм. Они служили основой для построения фильтра системы. Фильтр проектировался так, что все частицы с радиусом меньшим 50 мкм перехватывались фильтром, тем самым не блокируя насос. Из-за особенностей построения нужно было менять фильтр после того, как на его выходе повторялся определенный номер краски. Скорость инжекции зависела от параметра, который был выбран экспериментально, и для которого распределение частиц носило важный характер. Исходя из математических решений системы, скорость инжекции нужно минимизировать. Взвесь частиц в жидкости должна быть такой, чтобы частицы-сферы были распределены по всему доступному объему.

Заполнение

Заполнение сложной системы сводилось к достижению состояния "свободы от пузырей". Помехи, вызванные присутствием больших воздушных пузырей, искажали движение следящего устройства.

Для предотвращения попадания воздуха, система заполнялась в вакууме. Создание уровня низкого давления в цикле системы было фактически единственным способом уничтожения воздушных примесей. По расчетам, минимальный уровень давления составлял 0,00001 Бар. Это давление должно поддерживаться на протяжении всего цикла, до сброса жидкости в дополнительные модули.

Оборудование, используемое в эксперименте, состояло из нескольких модулей: модуля ИНЖЕКЦИИ (два стальных блока, включающие в себя шаговые двигатели, подают со скоростью минимум 25мл/сек жидкость в систему), модуля СМЕШИВАНИЯ (фильтр, металлические скобы и компрессор), модуля КОНТРОЛЯ, ОХЛАЖДАЮЩЕГО модуля (вода более

низкой температуры), ЭЛЕКТРИЧИСКОЙ СХЕМЫ (шесть электронных плат на алюминиевой раме, потребляемая мощность 5.3Вт). В TRAMP поддерживается температура от 10 до 60 градусов С, с точностью до 0.1 С. Требования к дизайну аппаратуры состоят из механических требований, температурных требований и визуальных требований.

РАДИАЦИОННАЯ ДОЗИМЕТРИЯ

Радиация измерялась ESA на нескольких версиях Биона или Фотона. Датчики радиации устанавливались как внутри, так и снаружи космического корабля:

Миссия	Год	Внутри	Доза мГр/сут	Снаружи	Аппаратура	Полет	Измерение
Бион-8	1987	1-2	270-330	1-2	КНА	12.6 дней	12.6 дней
Бион-9	1989	1-2	180-420	1-2	КНА	13.8 дней	13.8 дней
Фотон-7	1991	---		---	---		
Фотон-8	1992	---		1	Биопан-0	15.6 дней	7.8 дней
Бион-10	1993	1-2	174-263	1-2	КНА	11.6 дней	11.6 дней
Фотон-9	1994	---		1-3	Биопан-1	17.6 дней	14.8 дней
Фотон-10	1995	3-4	108-225	---	---	14.6 дней	---
Фотон-11	1997	3-4	172-287	1-3	Биопан-2	13.6 дней	9.9 дней
Фотон-12	1999	1	177-254	1-3	Биопан-3	14.6 дней	12.6 дней

G.Beitz, DLR
B.Baican, University of Frankfurt
L.Adamas, ESTEC
K.Gmur, PSI

Для определения радиации за бортом корабля использовались два вида датчиков: КНА (контейнер научной аппаратуры), находящийся под конусом на носу космического корабля. Для измерения периодически открывался специальный люк, находящийся в закрытом состоянии, когда аппарат входил в атмосферу. Второй тип датчиков – Биопан. Существует несколько типов подобных датчиков (см. таблицу), которые измеряют сразу несколько параметров среды: давление, температуру, УФ излучение, радиацию. В течение 12.6 дней измерения радиации Биопаном-3 было установлено, что полная доза радиации составляет 9 Гр (900 рад), что составляет 0.71 Гр в день. При этом влияние температуры было практически исключено. Были также выявлены скачки поглощенной дозы вследствие изменения солнечной активности и пребывания космического корабля на разных расстояниях от Солнца.

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

С 1987 года было проведено около 17 биологических экспериментов на борту Фотона / Биона. Данные эксперименты были поставлены ESA совместно с Московским институтом Био Медицинских Исследований. Данные опыты были поставлены с помощью КНА и Биопана, которые устанавливались вне космического корабля. Экспериментальные контейнеры устанавливались друг на друга, между ними помещались пластиковые перегородки (детекторы), все этот закрывалось корпусом и устанавливалось на обшивке

ТАБЛИЦА 26 – СПУТНИКИ ПЛАНЕТ.

Планета и спутники	Среднее расстояние от центра планеты (тыс. км)	Период обращения (сут.)	Диаметр или размеры	Автор и год открытия
ЗЕМЛЯ				
Луна	384,40	27,32	3476	
МАРС				
1 Фобос	9,37	0,32	25x21x19	А. Холл 1877
2 Деймос	23,52	1,26	15x12x11	А. Холл 1877
ЮПИТЕР				
1 Ио	421,6	1,77	3680	Г. Галилей 1610
2 Европа	670,9	3,55	3100	Г. Галилей 1610
3 Ганимед	1 070	7,16	5300	Г. Галилей 1610
4 Каллисто	1 880	16,69	4840	Г. Галилей 1610
5 Амальтея	181,0	0,50	140x260	Э. Э. Барнард 1892
6 Гамалия	11 470	250,6	120	Ч. Перрайн 1904
7 Элара	11 780	260,1	120	Ч. Перрайн 1905
8 Пасифея	23 300	735*	40	Ф. Мелотт 1908
9 Синопа	23 700	758*	22	С. Никольсон 1914
10 Лизифоя	11 710	260	22	С. Никольсон 1938
11 Карма	22 350	692*	24	С. Никольсон 1938
12 Ананке	20 700	617*	20	С. Никольсон 1951
13 Леда	11 100	240		Ч. Козул 1974
14	57,8	0,30	30	"Вояджер 2" 1979
15	300	0,60	100	"Вояджер 1" 1979
САТУРН				
1 Мимас	186	0,94	500	В. Гершель 1789
2 Энцелад	238	1,37	600	В. Гершель 1789
3 Тефия	295	1,89	1000	Дж. Кассини 1684
4 Диона	377	2,74	800	Дж. Кассини 1684
5 Рея	527	4,52	1500	Дж. Кассини 1684
6 Титан	1237	15,95	5500	Х. Гюйгенс 1655
7 Гиперион	1481	21,28	400	Дж. Бонд 1848
8 Япет	3560	79,33	1500	Дж. Кассини 1671
УРАН**				
1 Аризль	192	2,52	600	У. Лассел 1851
2 Умбризль	267	4,14	400	У. Лассел 1851
3 Титания	438	8,7	1000	В. Гершель 1787
4 Оберон	586	13,46	800	В. Гершель 1787
5 Миранда	130	1,41		Дж. Койпер 1948
НЕПТУН				
1 Тритон	354	17*	4000	У. Лассел 1846
2 Нереида	5570	5	300	Дж. Койпер 1949
ПЛУТОН				
1 Харон	17	6,39	800	Д. Кристи 1978

* Направление обращения обратно направлению вращения.
** В 1896 г. открыты еще 10 спутников.

Таблица 23 – Земля.

Экваториальный радиус	6378,164±0,003 км
Полярный радиус	6356,779 км
Средний радиус	6371,03 км
Масса	$(5,976±0,004)·10^{24}$ кг
Средняя плотность	5,518±0,004 Мг/м^3
Скорость обращения вокруг Солнца	29,78 км/с
Скорость освобождения на поверхности	11,19 км/с
Площадь материков и островов	149 000 000 км^2
Площадь океанов	361 000 000 км^2
Средняя высота материков (над уровнем моря)	860 м
Средняя глубина океанов	3,9 км
Масса океанов	$1,45·10^{21}$ кг
Стандартное ускорение силы тяжести	980,665 см/с^2
Центробежное ускорение на экваторе	3,3915 см/с^2

Таблица 24 – Луна.

Расстояние от Земли	356 400 – 406 700 км
Доля видимой с Земли поверхности Луны	59%
Средний видимый угловой диаметр	31'04"
Средний радиус	1732 км = 0,27252 радиуса Земли
Масса	$7,350·10^{22}$ кг
Средняя плотность	3,341 Мг/м^3
Ускорение силы тяжести на поверхности	162,2 см/с^2
Скорость освобождения на поверхности	2,38 км/с
Поток тепла через поверхность	$8,3732·10^{-7}$ Дж/с·см^2
Температура поверхности в ночное время	–169 ^{0}C
Температура поверхности, когда Солнце в зените	+122 ^{0}C

Таблица 25 – Планеты солнечной системы.

Планета	Среднее расстояние от Солнца		Период обращения	Период вращения на экваторе	Экваториальный диаметр (км)	Масса в массах Земли
	Млн. км	А. Е.				
Меркурий	57,9	0,39	87,97 сут	58,6 сут	4 878	0,055
Венера	108,2	0,72	227,70 сут	243* сут	12 104	0,805
Земля	149,6	1	265,26 сут	23 ч 56 мин	12 756	1
Марс	227,9	1,52	686,98 сут	24 час 37 мин	6 974	0,106
Юпитер	778,3	5,20	11,86 л	9 ч 50 мин	142 600	314,03
Сатурн	1427	9,54	29,46 л	10 ч 14 мин	120 200	94,01
Уран	2870	19,18	84,01 л	~20* ч	53 000	14,4
Нептун	4496	30,06	164,81 л	~20 ч	49 500	17,0
Плутон	5946	39,75	247,7 л	6,29 сут	4 000	0,002

летательного аппарата. В Земных условиях содержимое каждого контейнера проверялось и исследовалось под микроскопом. Исследовались следы частиц, по которым можно говорить о количестве, качестве частиц, их природе и влиянии на биологические объекты. Были поставлены следующие эксперименты:

Миссия	Объект тестирования	Что исследовалось	Авторы
Бион-8	Личинки насекомых	Морфологические аномалии в личинках	Бугер, Альпатов
	Семена	Хромосомные изменения	Невзгодина
	Споры бактерий	Смертность	Невзгодина
	Семена	Замедленное прорастание, плохое цветение	Кранц, Шевченко
Бион-9	Личинки насекомых	Морфологические аномалии в личинках	Бугер, Альпатов
	Семена	Хромосомные изменения	Невзгодина
	Семена	Замедленное прорастание, плохое цветение	Кранц, Шевченко
Бион-10	Семена	Смертность	Невзгодина, Рейц
	Семена	Морфологические аномалии в личинках	Кранц, Шевченко
Фотон-9 (биопан-1)	Рассол креветок	Морфологические аномалии в личинках	Гернадорина
	Семена	Изменения ДНК	Кадет
Фотон-11 (биопан-2)	Рассол креветок	Морфологические аномалии в личинках	Матти
	Семена	Изменения ДНК	Кадет

Под действием космического излучения изменяется структура ДНК. На Фотоне 9 и 11 использовались ультра-чувствительные методы для определения характера такого изменения. С помощью полученных результатов можно создавать препараты, препятствующие изменению структуры ДНК молекул.

ЭКОБИОЛОГИЯ

Экобиологические эксперименты ESA были поставлены на Фотоне 9, 11, 12. В эксперименте на Фотоне-9, называемом SURVIVAL, земные формы жизни были помещены в жесткие космические условия (невесомость, радиация, вакуум, температуры, УФ излучение). Для эксперимента были отобраны следующие организмы:

Споры бактерий, которые имеют стойкость по отношению к высоким температурам и радиации. Споры помешались в глину, порошок метеорита для максимального приближения к условиям среды на метеорите. Выжили те споры, которые были защищены от УФ воздействия после помещения в метеоритный грунт. Однако, их генетическая стабильность была нарушена космическим вакуумом.

Микробы, стойкие к УФ воздействию. Как правило, на Земле такие организмы живут на побережьях соляных морей, от воздействия соли они защищены панцирем. Существует два вида микробов: красные (с каротином) и белые (без каротина). Микробы в их соляных панцирях успешно существовали в течение длительного времени, подвергаясь всем воздействиям.

Сушеные семена. Семена сохранились в течение двух недельного эксперимента, так как были защищены тонкой кожей от воздействия УФ излучения.

В DUST эксперименте, аминокислоты L формы находились в космических условиях в двух состояниях: а) молекулы помещались в тонкий слой глины, который далее подвергался воздействию космических частиц и б) пористый пустой материал (в основном, минералы). В глиняном слое молекулы были защищены от УФ излучения. В результате получили:

Ни одна из D аминокислот не подверглась изменению

«Пустые» образцы кислот изменились: на 80% аспартановая кислота и на 93% глютаминовая кислота

Остальные кислоты из «пустых» образцов остались без изменения.

БИОБОКС

На миссиях Фотон и Бион были поставлены эксперименты с БИОБОКСОМ, куда помещались живые биологические существа. Поставлена серия экспериментов, которые позволяют выявлять ранние нарушения в организмах существ, рассматривать аспекты, влияющие на генетику и развитие организмов в целом. Инкубатор БИОБОКСА состоял из 30 небольших модулей; в каждом модуле можно содержать около 1 мл. опытного вещества. Модули подключены к компьютеру, который управлял программами роста, развития и поддержания существ. 6 модулей были помещены на центрифугу. После окончания полета результаты модулей с центрифуги сравнивались с результатами покоящихся модулей. Все модули подвергались воздействию идентичных температур (20 градусов).

ТАБЛИЦА 22 – ГИПОТЕЗЫ ОБ ОБРАЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.

Автор	Год	Основная идея гипотезы
Р. Декарт	1644	Вихревое движение – единственная устойчивая форма движения, из первичных и вторичных вихрей образовались Солнце и планеты со спутниками
Ж. Л. Л. Бюффон	1745	Гигантская комета столкнулась с Солнцем и вырвала из него вещество, из которого образовались планеты
И. Кант	1755	Конденсировалось вращающееся облако межзвездного газа
П. С. Лаплас	1796	Объяснение предыдущей гипотезы: облако стягивалось и каждый раз, когда центробежная сила была достаточно большой, от облака отделялось газовое кольцо, из которого образовывалась планета
А. Бикертон	1878	Солнце прошло близко от звезды, и из него вырвалось вещество
Т. К. Чемберлин	1901	Солнце прошло близко от звезды, и вещество выплеснулось из приливной волны
О. Биркеланд	1912	В магнитном поле Солнца из ионов, выброшенным Солнцем, образовались газовые кольца
С. А. Аррениус	1913	Солнце столкнулось со звездой, после столкновения звезда распалась и остались Солнце и длинный газовый хвост, из которого образовывались планеты
Х. Джеффрис	1916	Звезда задела Солнце, и образовался длинный хвост
Дж. Х. Джинс	1917	Звезда прошла близко от Солнца, вещество вырвалось из приливной волны и образовало длинные хвосты
Г. Берлейдж	1930	Из частиц, выброшенных Солнцем, образовался газовый диск
Г. Н. Рессел	1935	Солнце было двойной звездой, второй компонент был разрушен третьей звездой
Дж. Литлтон	1936	Солнце было тройной звездой, система неустойчивой, два компонента отделились и оставили часть своего вещества
Х. О. Альфвен	1942	Солнце встретилось с газовым облаком, атомы газа ионизировались и начали двигаться в магнитном поле
О. Ю. Шмидт	1943	Солнце встретилось с газовым облаком и захватило его, в результате соударений частиц образовались планеты
К. Вейцзеккер	1944	Из вихрей во внешних слоях сжимающегося протосолнца образовывались планеты и их спутники
Ф. Хойл	1944	Солнце было двойной звездой, второй компонент которой вспыхнул сверхновой звездой, выбросил газовое облако и покинул систему
Ф. Л. Уиппл	1947	Протосолнце захватило газовое облако, у которого был достаточно большой момент количества движения
Д. Тер Хар	1948	Планеты образовались в турбулентных внешних слоях протосолнца
Дж. П. Койпер	1949	Планеты образовались в газовом облаке, окружавшем протосолнце, в результате гравитационных возмущений

Таблица 21 – Солнце как звезда.

Эффективная температура поверхности	5770 К
Скорость движения относительно ближайших звезд	19,5 км/с (движется в направлении созвездия Геркулеса)
Расстояние от центра Галактики	28 000 св. лет
Расстояние от плоскости Галактики	50 св. лет
Скорость обращения вокруг галактического центра	250 км/с
Период обращения вокруг галактического центра	200 млн. лет
Возраст	5 млрд лет
Температура в центре	15 млн К
Плотность в центре	160 мг/м^3
Давление в центре	$3{,}4 \cdot 10^{16}$ Па
Химический состав по массам	Н – 71%, Не – 26,5%, ост. – 2,5%
Уменьшение массы в результате излучения	4,3 млн. т/с
Расстояние от Земли до Солнца	
среднее	149 597 900 км
в перигелии	147 100 000 км
в афелии	152 100 000 км

Таблица 21 – Солнечная система.

Общая масса планет	447,8 массы Земли
Общая масса спутников планет	0,12 массы Земли
Общая масса малых планет	0,0003 массы Земли
Общая масса комет и метеоритного вещества	10^{-9} массы Земли
Общая масса планетной системы	448 массы Земли

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Вселенная.

Таблица 13 – Вселенная. Основные параметры.

Средняя плотность вещества Вселенной (соответствует равномерному распределению видимого вещества в наблюдаемой части пространства) На основе наблюдений Теоретическая	 $3 \cdot 10^{-31}$ мг/м^3 $1 \cdot 10^{-29}$ мг/м^3
Плотность излучения во Вселенной	10^9 фотонов на 1 нуклон
Число галактик в наблюдаемой части Вселенной	10^{11}
Расстояние до самой удаленной наблюдаемой обыкновенной галактики	$5 \cdot 10^9$ св. лет
Расстояние до самого удаленного наблюдаемого квазара	$12 \cdot 10^9$ св. лет

Таблица 14 – Космические плотности (мг/м^3).

Вселенная	$1 \cdot 10^{-29}$(оценка)
Скопления галактик	$5 \cdot 10^{-28}$
Межзвездный газ	$3 \cdot 10^{-25}$
Галактики	$2 \cdot 10^{-24}$
Шаровое скопление	$4 \cdot 10^{-21}$
Красный гигант	$5 \cdot 10^{-8}$
Солнце	1,4
Белый карлик	10^6
Нейтронная звезда	10^{14}(плотность атомного ядра)
Черная дыра (возникшая из звезды)	$5 \cdot 10^{93}$(предполагаемая, т. н. плотность Планка)

Таблица 15 – Астрономические постоянные и астрономические единицы.

Астрономическая единица (среднее расстояние от Земли до Солнца)	$1{,}49598 \cdot 10^{11}$ м ~ 150 млн. км
Световой год	$9{,}4605 \cdot 10^{15}$ м = 63420 а.е. = 0,3066 пс
Парсек	$3{,}0857 \cdot 10^{16}$ м = 3,2616 св. лет
Масса Солнца	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг ~ 333000 масс Земли
Радиус Солнца	696000 км = 109 радиусов Земли
Масса Земли	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг = 81,3 массы Луны
Экваториальный радиус Земли	6378 км
Период повторяемости солнечных и лунных затмений (сарос)	18 лет 11,3 дня

Галактики.

Сверхскопление галактик – диаметр 40 мегапарсек, число галактик 10000. Центр местного сверхскопления находится в направлении созвездия Девы на расстоянии 12 мегапарсек. Из 50 известных сверхскоплений, ближайшие находятся в созвездиях Льва (расстояние 87 мегапарсек) и Геркулеса (расстояние 100 мегапарсек).

Скопление галактик – диаметр 5 мегапарсек, число галактик 100-500 (скопления в созвездии Девы 2500). Ближайшие скопления галактик находятся в созвездиях Пегаса и Рыб (расстояние 65 мегапарсек).

Группа галактик – диаметр 1 мегапарсек, число галактик 5-30. Местную группу галактик (диаметр 2 мегапарсека) образуют 2 гипергалактики, внутри которых находятся гигантские галактики: Галактика и туманность Андромеды, окруженные 27 карликовыми галактиками. 4 ближайшие группы находятся на расстоянии 2-4 мегапарсека.

Ближайшие галактики – неправильные карликовые спутники Галактики Большое и Малое Магеллановые облака, расстояние до них соответственно 52 и 63 килопарсека, их масса соответственно $1 \cdot 10^{10}$ и $2 \cdot 10^{9}$ массы Солнца.

Ближайшая галактика – M 31 (туманность Андромеды), расстояние до нее 670 килопарсек, масса $3 \cdot 10^{11}$ массы Солнца.

Таблица 16 – Классификация галактик.

Наименование	Тип	Масса в массах Солнца
Яркие сверхгигантские галактики	эллиптические	10^{13}
Сверхгигантские галактики	эллиптические и спиральные	10^{12}–10^{11}
Гигантские и карликовые галактики	эллиптические, спиральные и неправильные	10^{10}–10^{8}
Карликовые галактики и пигмеи	эллиптические	10^{7}–10^{6}

Таблица 17 – Энергия и мощность излучения галактик.

Галактика	Оптическое излучение (Дж/с)	Радиоизлучение (Дж/с)	Полная энергия (Дж)
Солнце	$4 \cdot 10^{26}$	Слабое, переменное	$7 \cdot 10^{41}$
Обыкновенная гигантская галактика	10^{37}	10^{31}	10^{53}
Радиогалактика	10^{37}	10^{34}–10^{36}	10^{53}–10^{55}
Квазар	10^{39}	10^{37}	10^{53}

Таблица 18 – Звездная система Млечный Путь – Галактика.

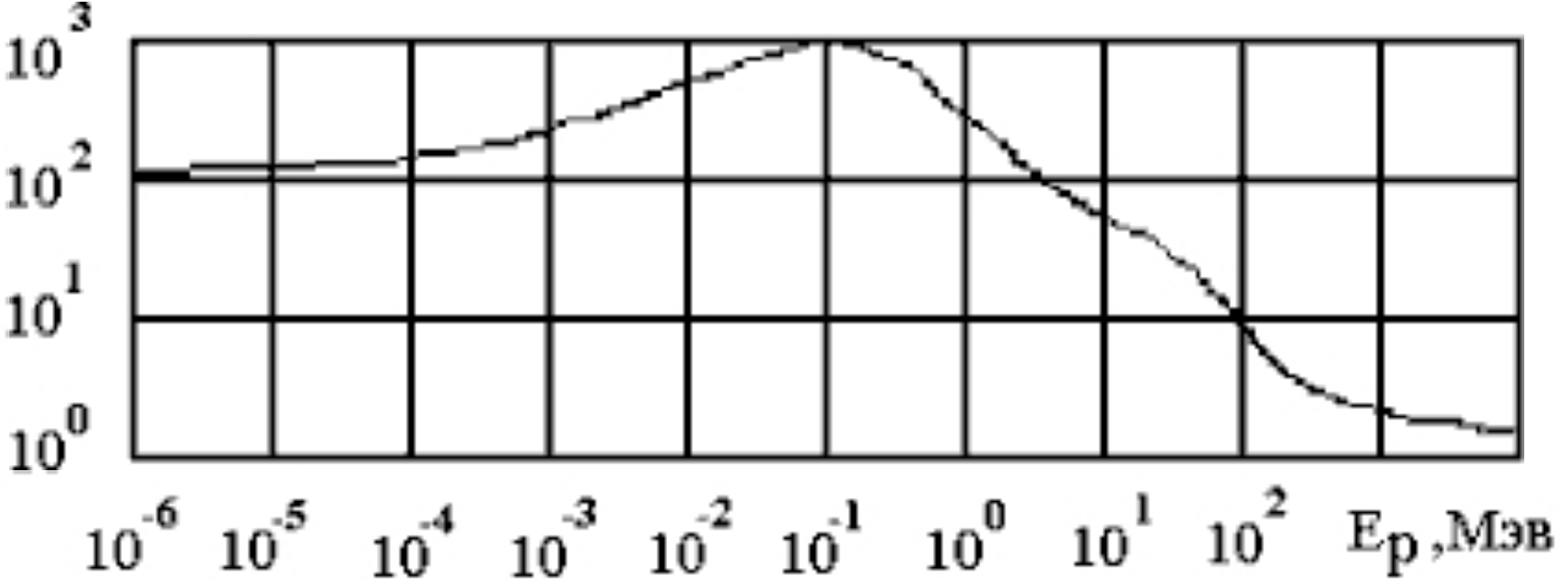
Диаметр	120 000 св. лет
Толщина	6 500 св. лет
Масса	$1{,}4 \cdot 10^{11}$ массы Солнца
Масса газа и пыли от массы всех звезд	5%
Расстояние спиральных рукавов от центра	30 000 – 40 000 св. лет
Скорость вращения:	
На расстоянии 3 000 св. лет от центра	200 км/с
На расстоянии 6 000 св. лет от центра	183 км/с
На расстоянии 30 000 св. лет от центра	250 км/с
На расстоянии 100 000 св. лет от центра	150 км/с
Скорость освобождения:	
Для центра Галактики	700 км/с
Над Солнцем	360 км/с
Для края Галактики	240 км/с

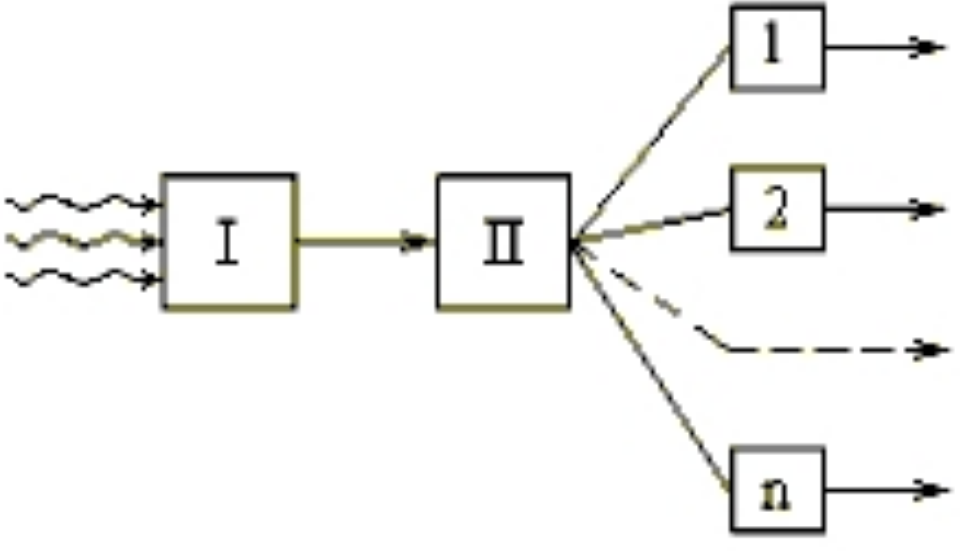
Таблица 19 – Солнце.

Радиус	$6{,}9599 \cdot 10^{8}$ м
Объем	$1{,}4122 \cdot 10^{27}$ м^3
Площадь поверхности	$6{,}087 \cdot 10^{18}$ м^2
Масса	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг
Средняя плотность	$1{,}409$ Мг/м^3
Ускорение силы тяжести на поверхности	273,98 м/с^2
Полное излучение	$3{,}826 \cdot 10^{26}$ Дж/с
Скорость освобождения на поверхности	1617,7 км/с
Линейная скорость вращения на экваторе	2,025 км/с

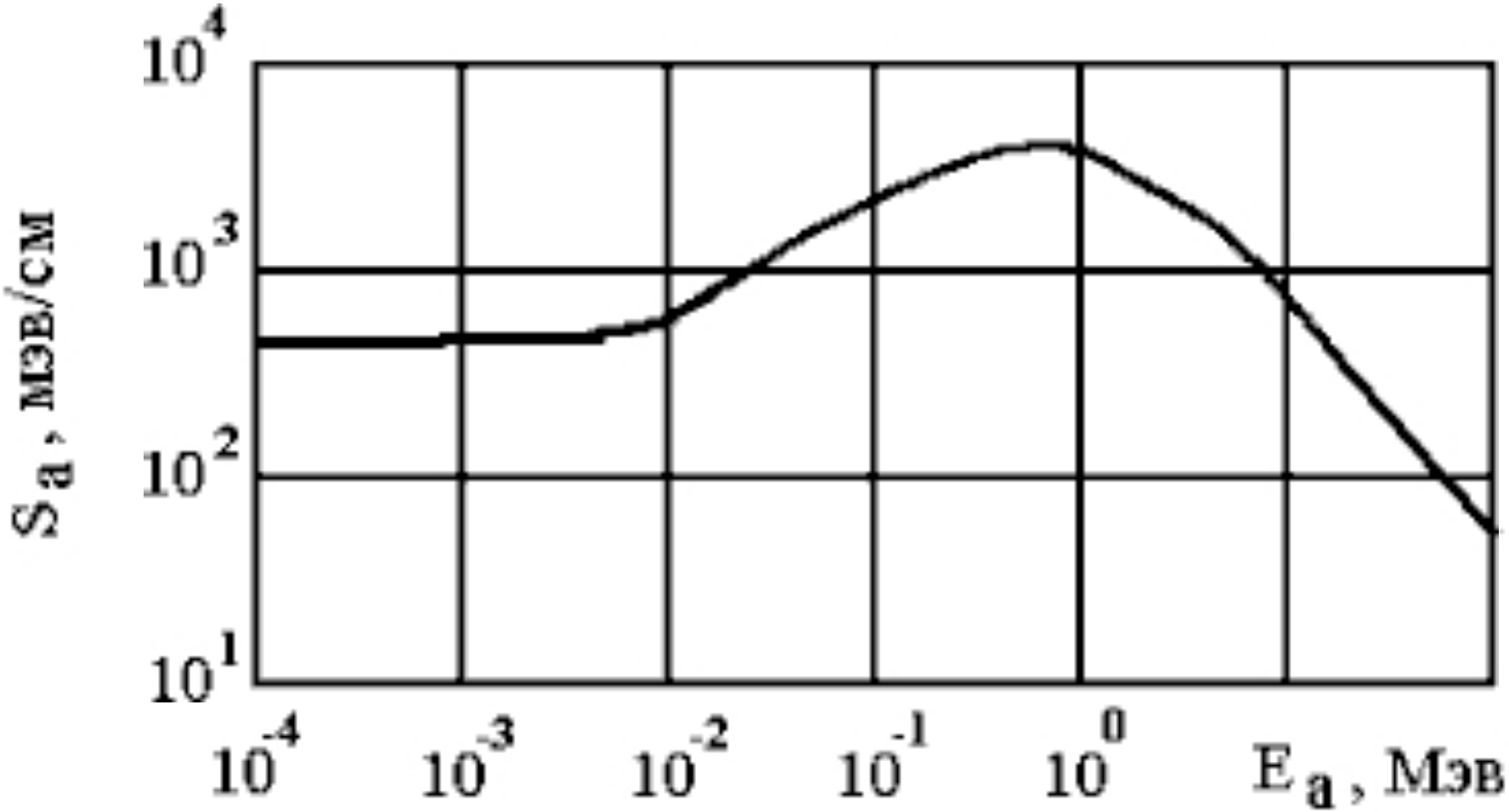
Вид биоматериала	
Плазма	АДГ (антидиуретический гормон) Альдостерон Осмолярность Атриальный натриуретический фактор АНФ
Моча	АДГ Альдостерон

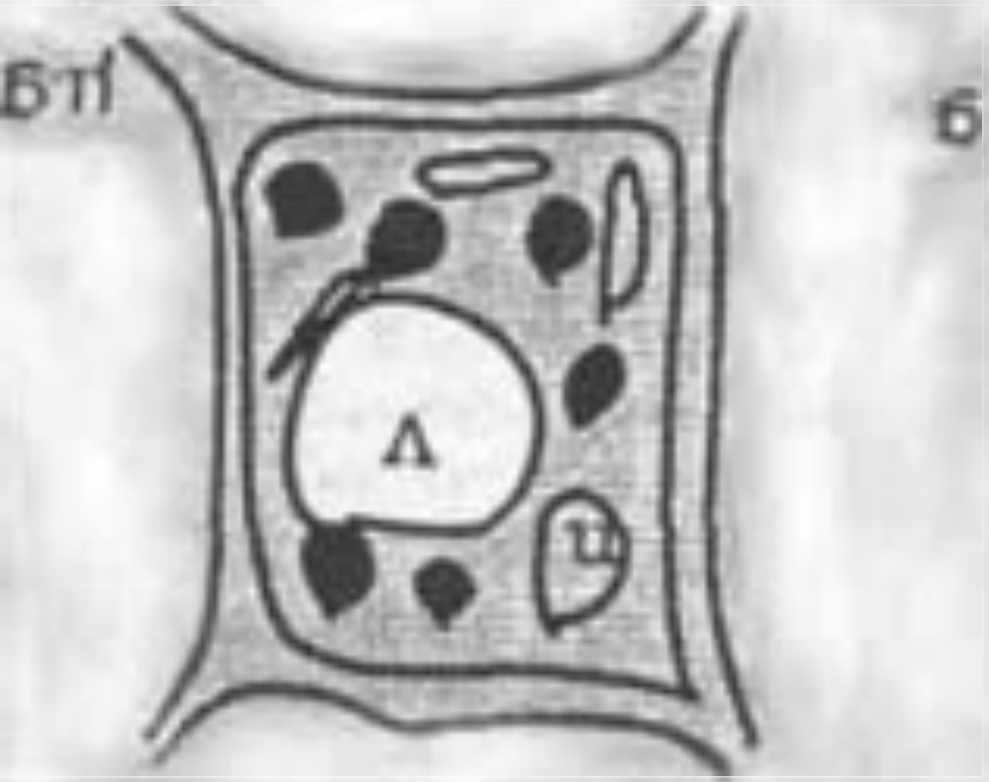
Объект исследования	Регистрируемые параметры
1. Сердце – парастериальная позиция по продольной и поперечной оси	- сечение левого желудочка по двум осям - эхокардиогамма полости левого желудочка - эхокардиогамма митрального канала - эхокардиогамма аорты и левого предсердия
2. Сердце – позиция и 4 камеры	- сечение четырех камер сердца - доплерограмма кровотока через митральный и трехстворчатый клапаны
3. Легочная артерия	- сечение (продольное) легочной артерии - доплерограмма кровотока
4. Общая сонная артерия Бедренная артерия	- сечение сосуда (продольное) - доплерограмма кровотока
5. Яремная вена Бедренная вена	- сечение вены (поперечное)
6. Яремная вена	- доплерограмма кровотока - центральное венозное давление
7. Бедренная вена	- доплерограмма кровотока
8. Почечная артерия Воротная вена	- сечение органа (с сечением сосуда|)
9. Внутрипеченочная вена	- доплерограмма кровотока
10. Задняя большеберцовая артерия	- доплерограмма кровотока

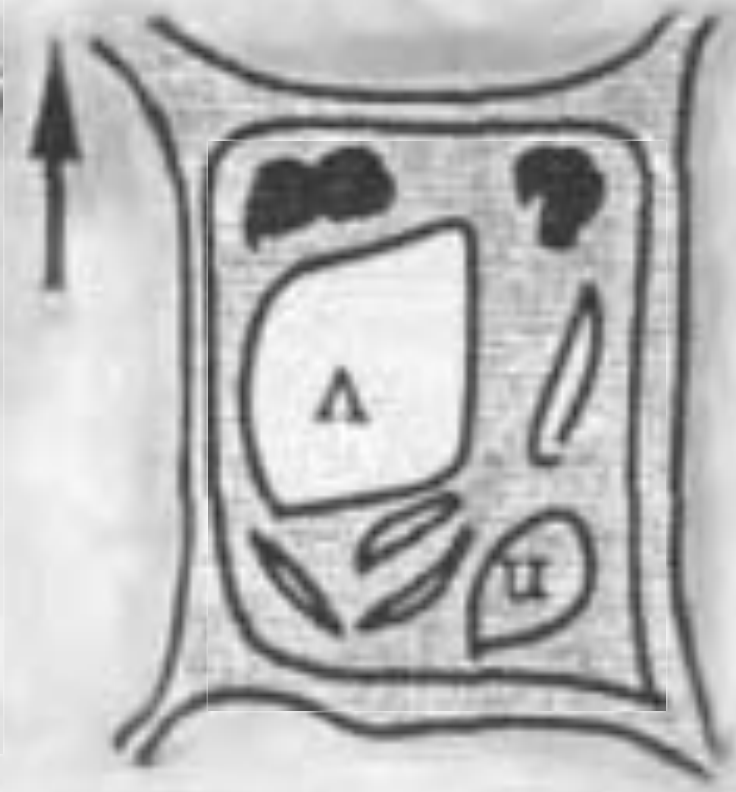

10^3
10^2
10^1
10^0
10^{-6} 10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 10^0 10^1 10^2
Ep ,Мэв

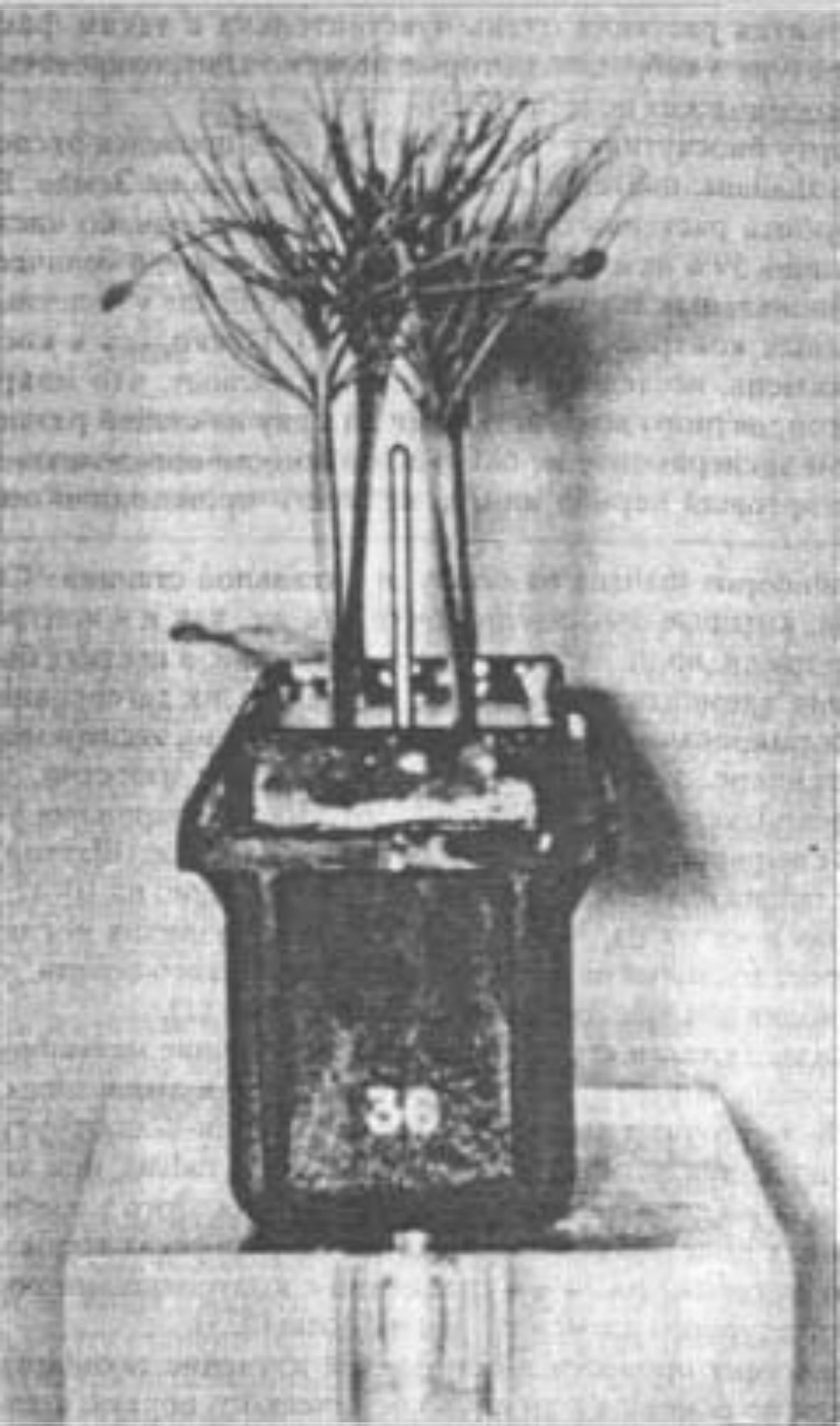


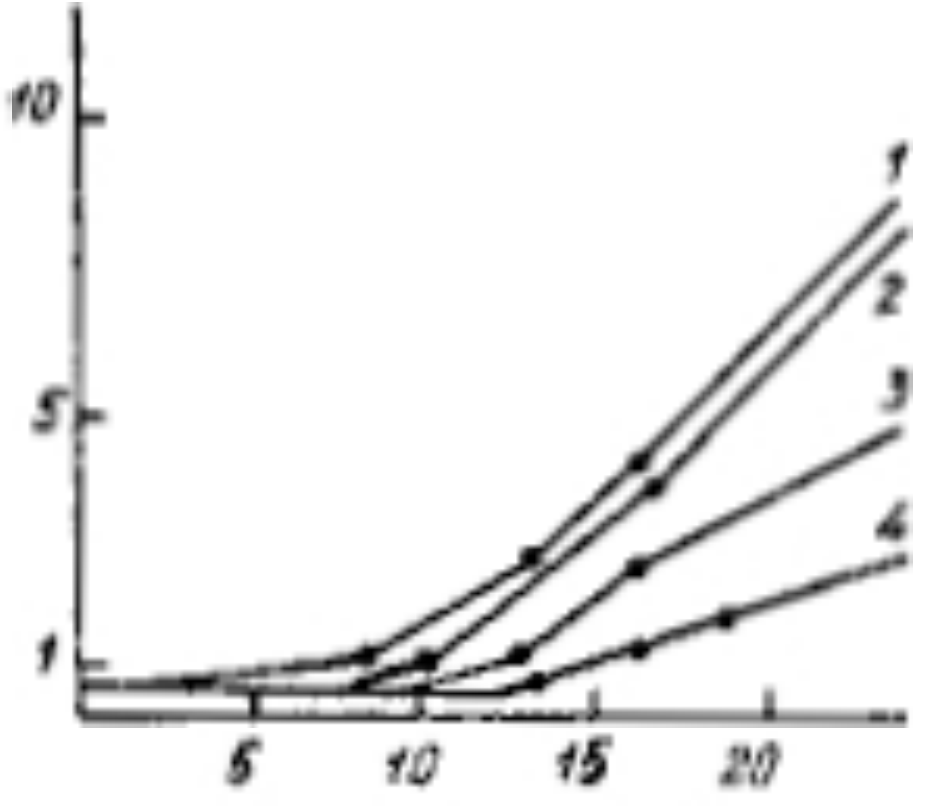
I - рабочий объем детектора;
II - преобразователь и усилитель;
1,2...n - приемники излучения

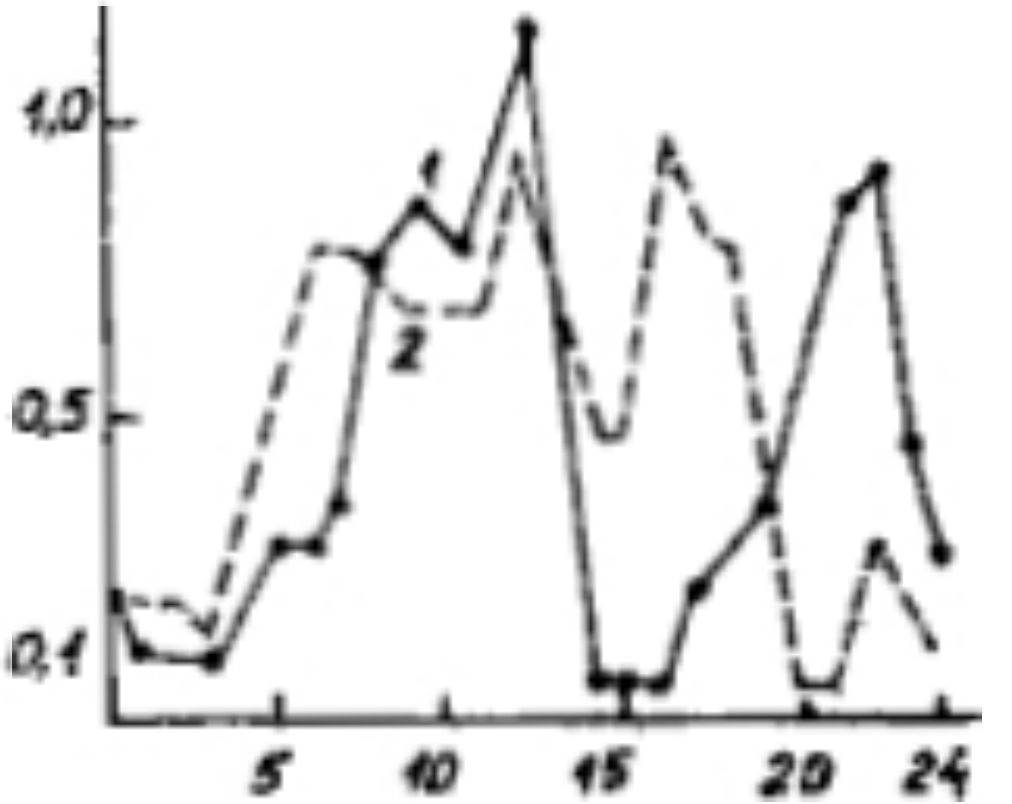

10^4
10^3
10^2
10^1
S_a, МЭВ/СМ
10^{-4}
10^{-3}
10^{-2}
10^{-1}
10^0
E_a, МЭВ

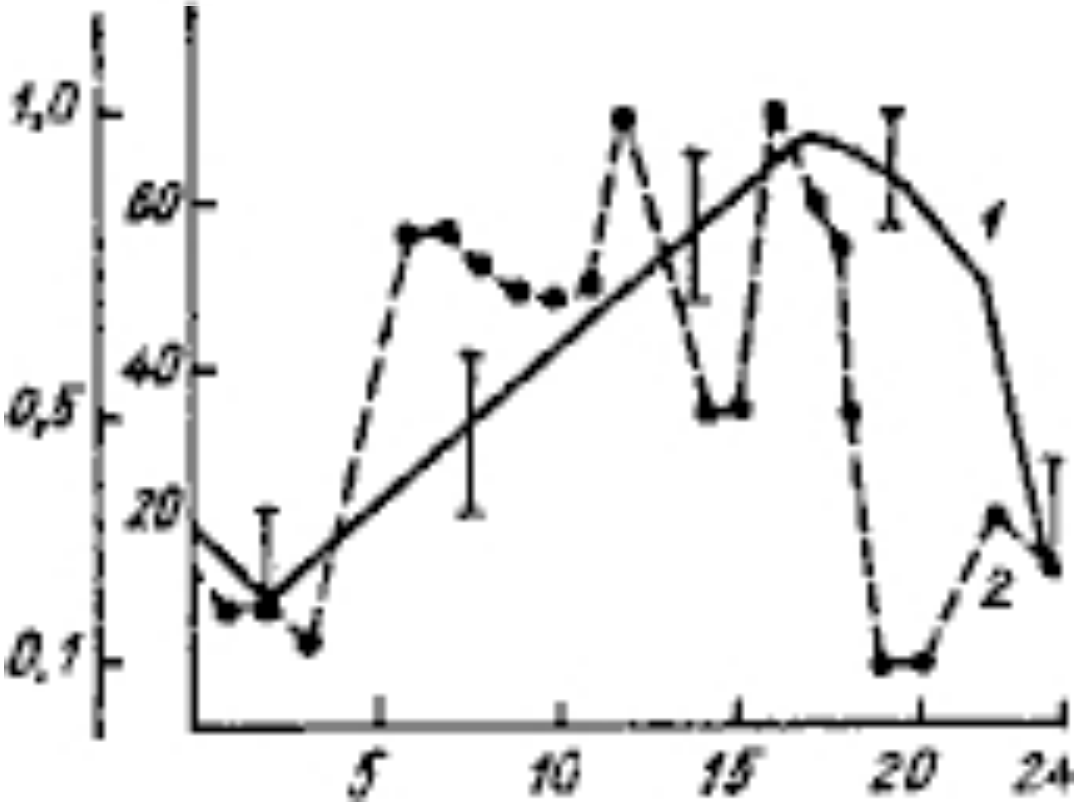

Бп
Л
П

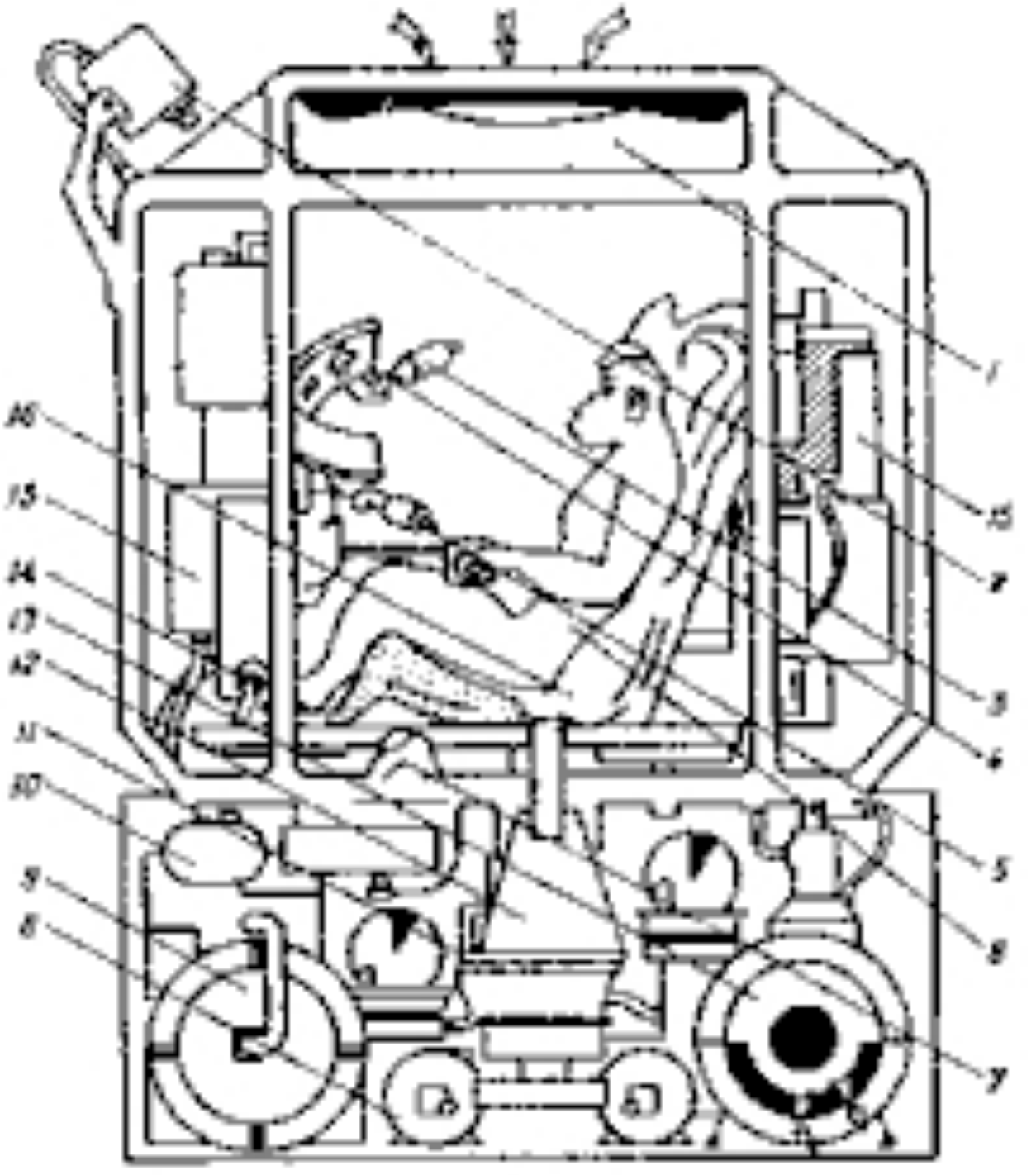

б
Л
П

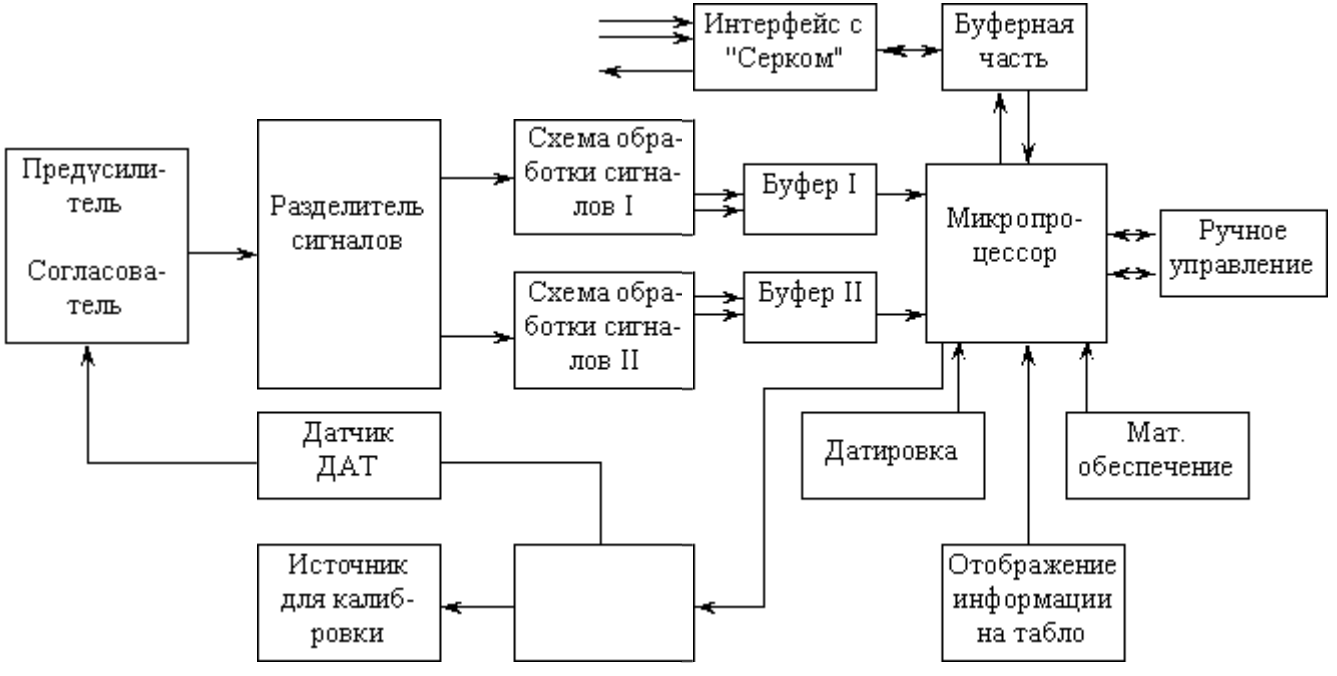


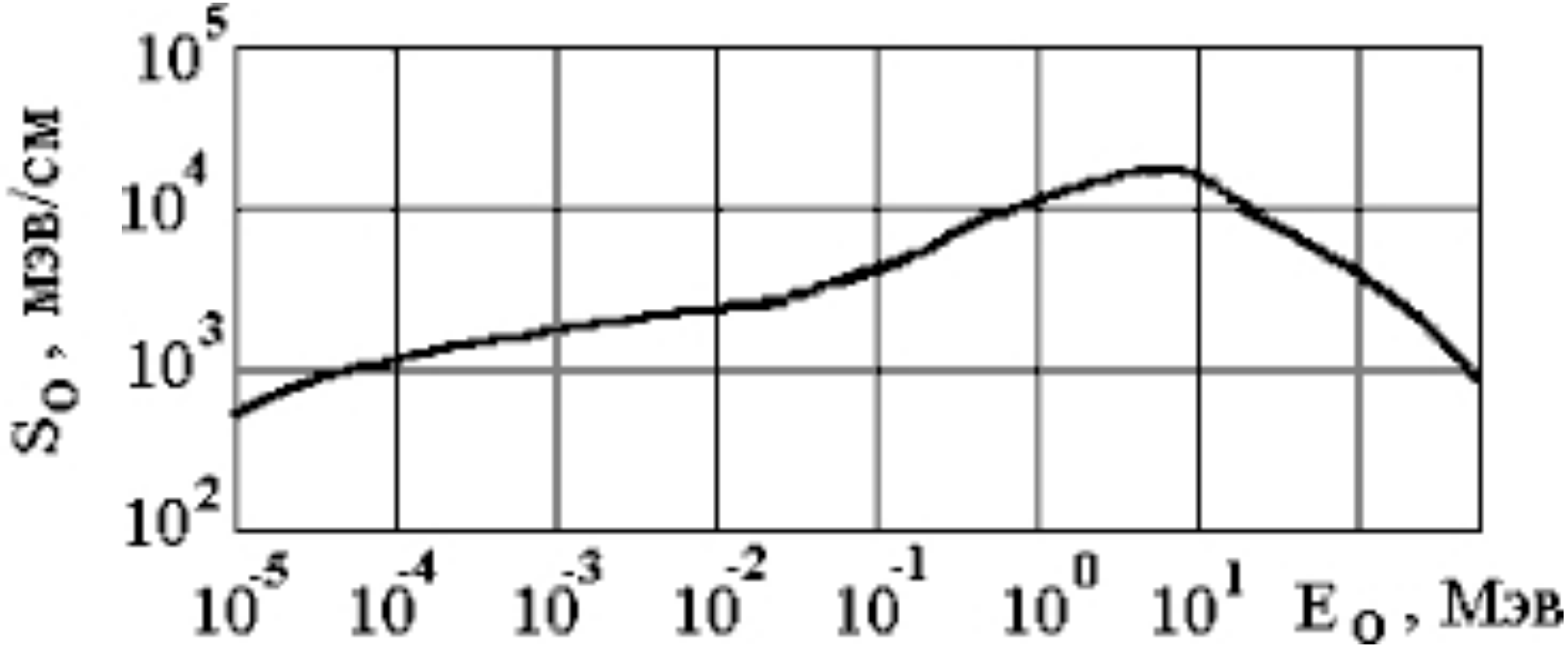

10
5
1
1
2
3
4
5
10
15
20

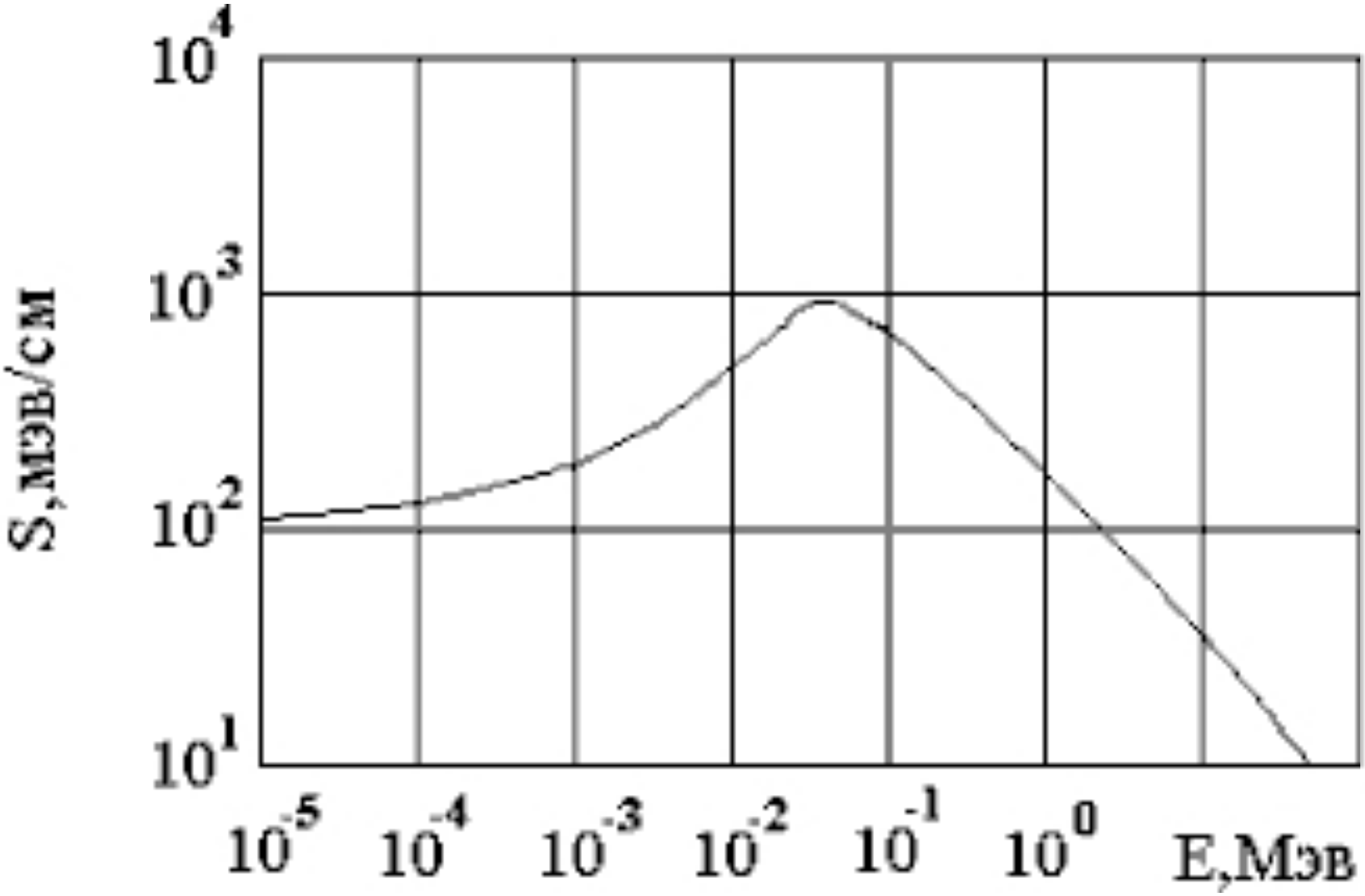

1,0
0,5
0,1
2
5
10
15
20
24

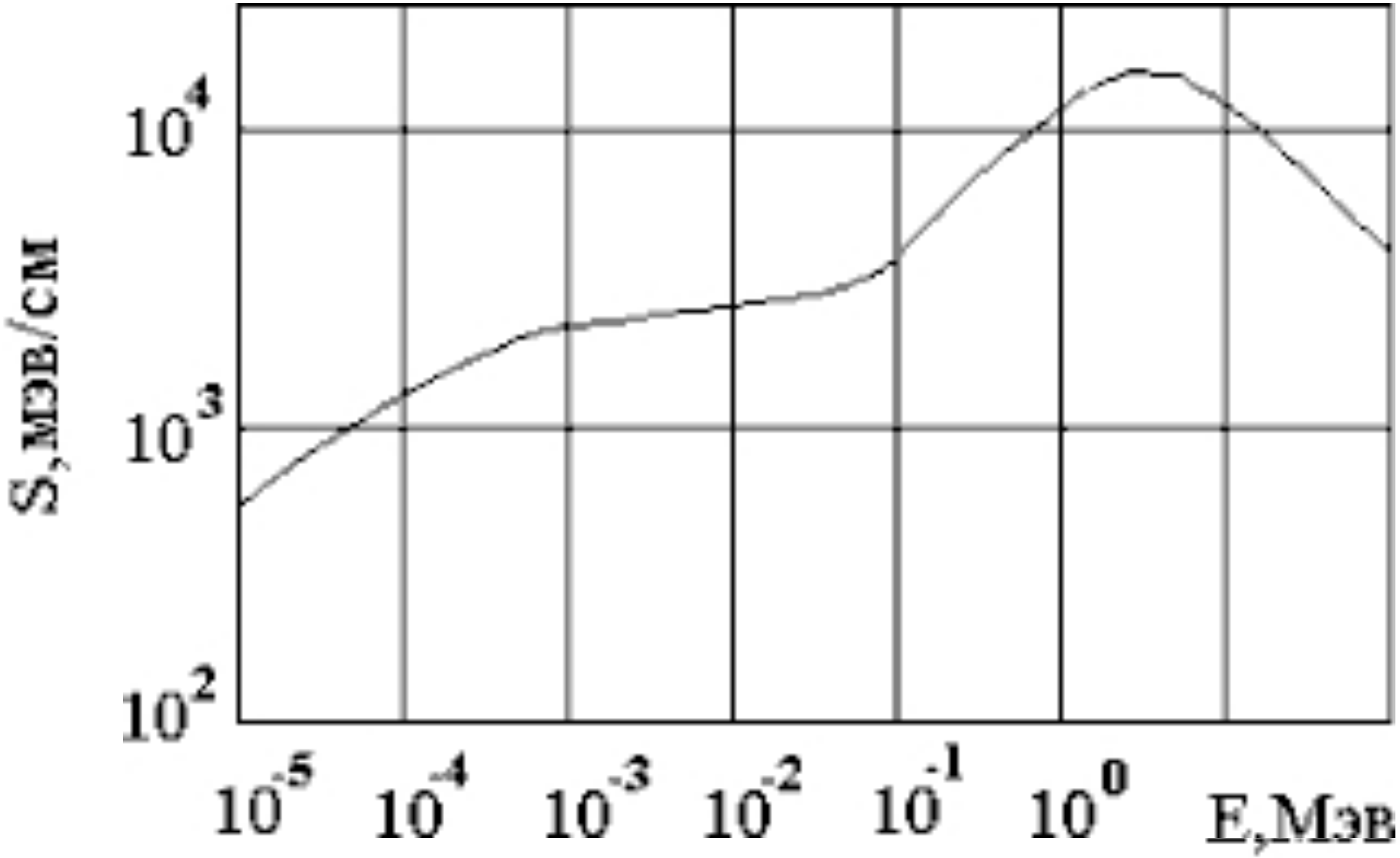

1,0
0,5
0,1
60
40
20
1
2
5
10
15
20
24

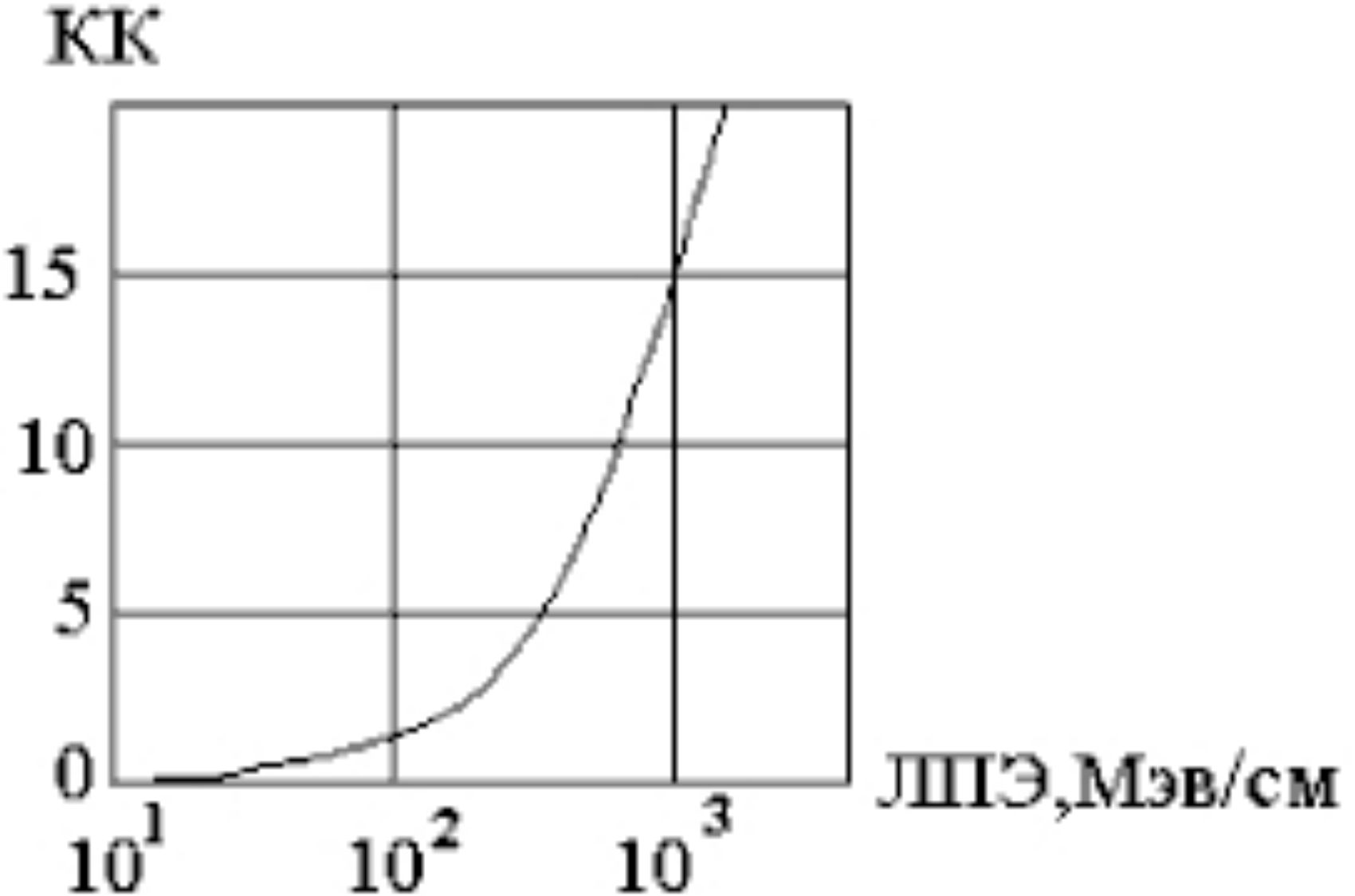

1
10
9
3
4
5
8
7
16
15
14
17
12
11
2


Интерфейс с "Серком"
Буферная часть
Предусилитель
Согласователь
Разделитель сигналов
Схема обработки сигналов I
Буфер I
Микропроцессор
Ручное управление
Схема обработки сигналов II
Буфер II
Датчик ДАТ
Датировка
Мат. обеспечение
Источник для калибровки
Отображение информации на табло

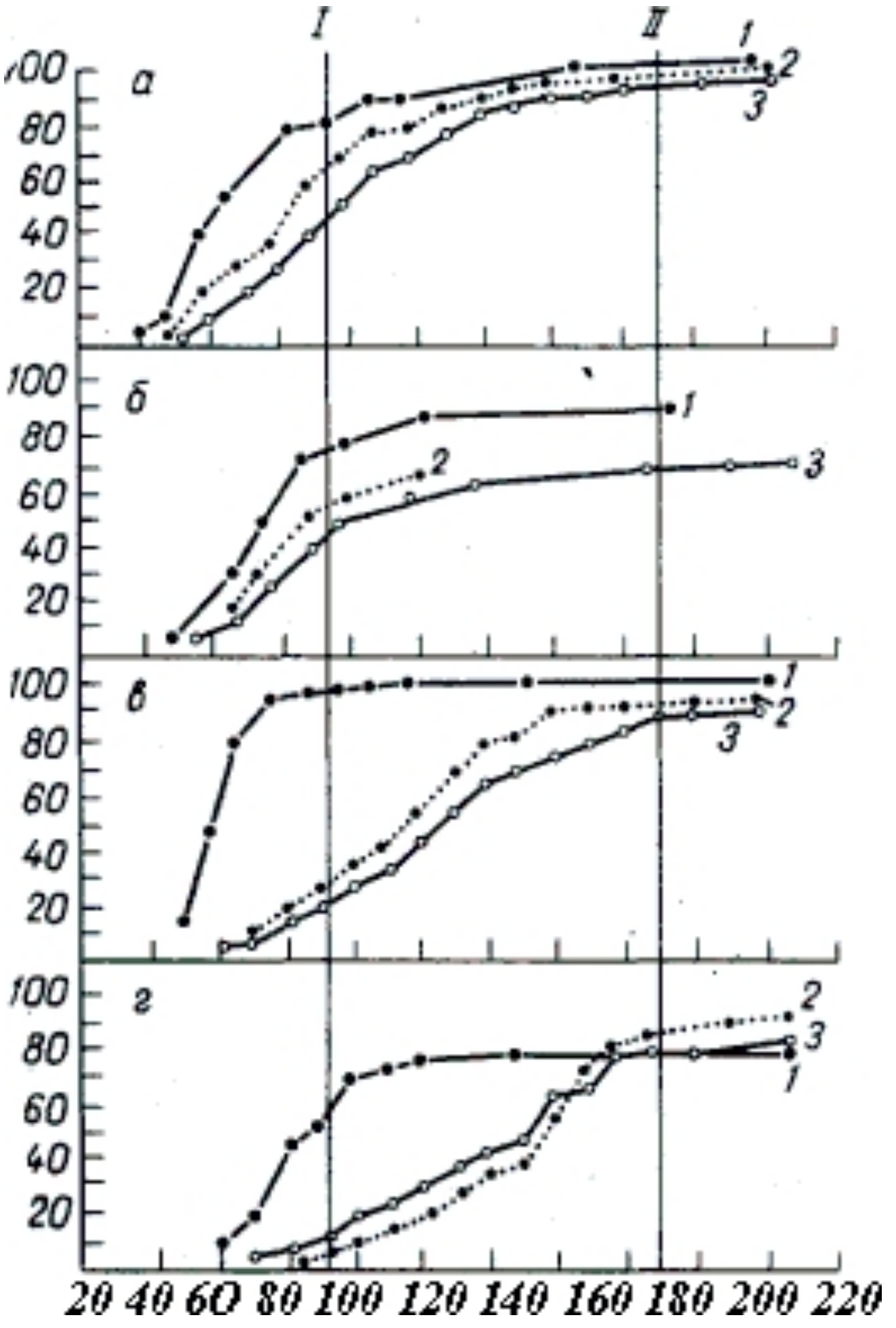

S_0, МЭВ/СМ
10^5
10^4
10^3
10^2
10^{-5} 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 10^{-1} 10^0 10^1 E_0, МЭВ

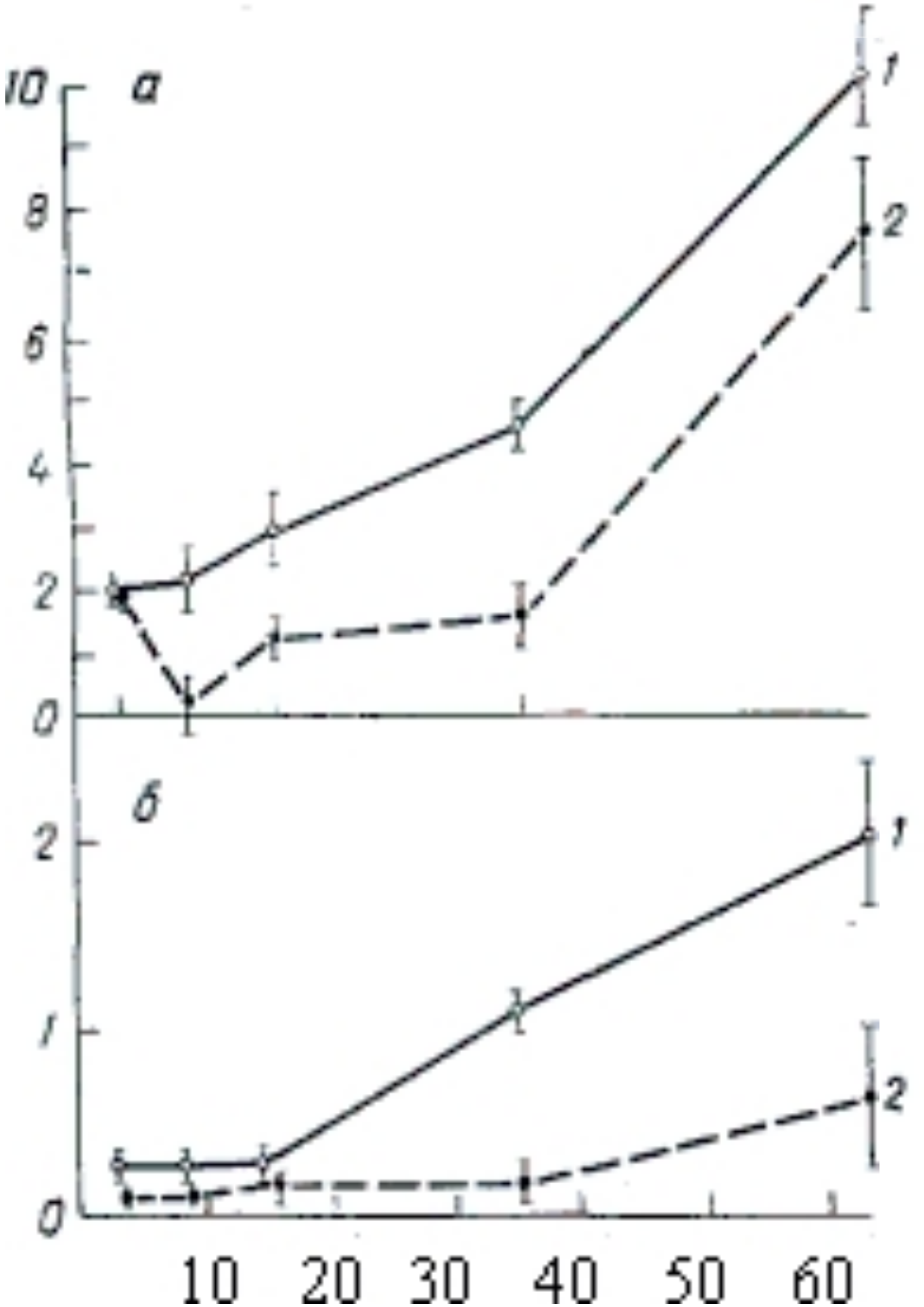

S,МЭВ/СМ
10^4
10^3
10^2
10^1
10^-5
10^-4
10^-3
10^-2
10^-1
10^0
E,МЭВ

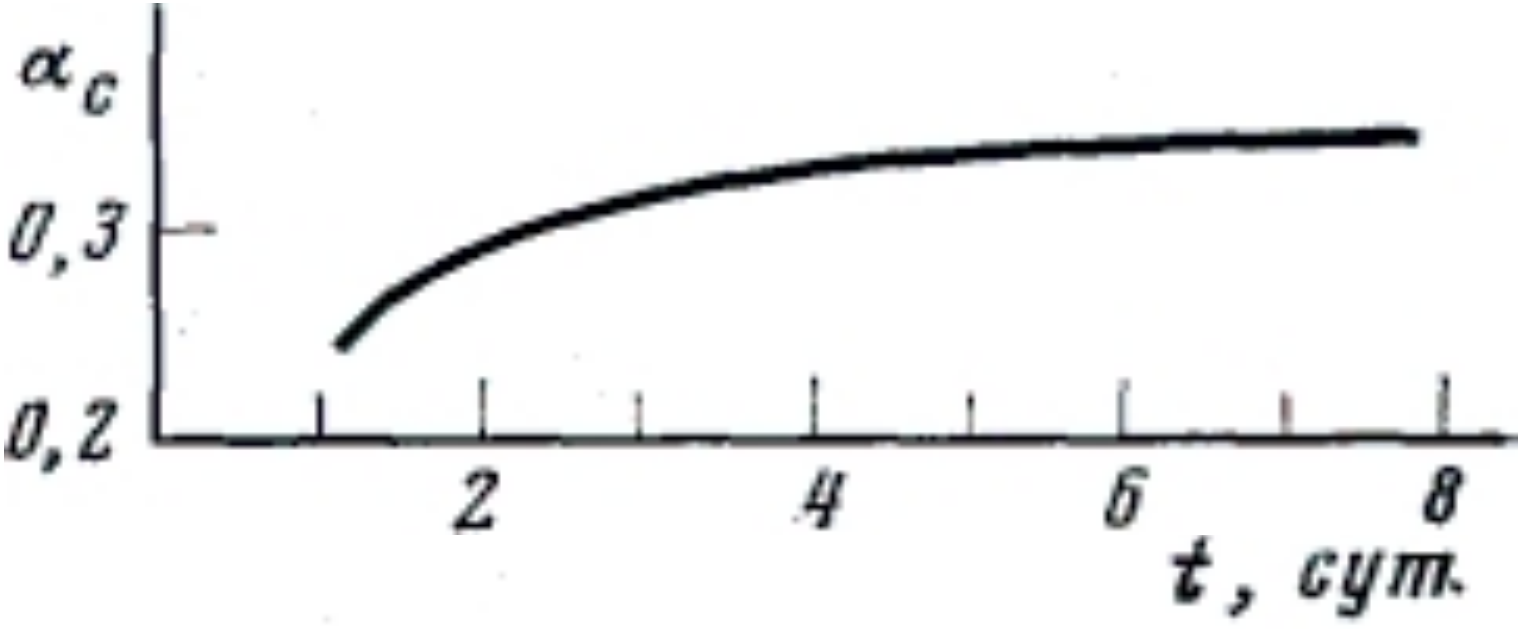

S, МЭВ/СМ
10^4
10^3
10^2
10^-5
10^-4
10^-3
10^-2
10^-1
10^0
E, МЭВ


КК
15
10
5
0
10^1
10^2
10^3
ЛПЭ,Мэв/см

<table>
<tr><td colspan="7">Методические погрешности</td></tr>
<tr><td colspan="2">Погрешности взаимодействия</td><td rowspan="2">Внутренние шумы</td><td rowspan="2">Индивидуальные свойства</td><td rowspan="2">Приемы подготовки БО</td><td rowspan="2">Функциональная связь</td><td rowspan="2">Психофизиологическая</td></tr>
<tr><td>Прибор-объект</td><td>Объект прибор</td></tr>
</table>


I
II
а
б
в
г
1
2
3
100
80
60
40
20
20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220


10
8
6
4
2
0
а
1
2
2
1
0
б
1
2
10
20
30
40
50
60


α_c
0,3
0,2
2
4
6
8
t, сут.

Миссия	Год	Внутри	Доза мГр/сут	Снаружи	Аппаратура	Полет	Измерение
Бион-8	1987	1-2	270-330	1-2	КНА	12.6 дней	12.6 дней
Бион-9	1989	1-2	180-420	1-2	КНА	13.8 дней	13.8 дней
Фотон-7	1991	---		---	---		
Фотон-8	1992	---		1	Биопан-0	15.6 дней	7.8 дней
Бион-10	1993	1-2	174-263	1-2	КНА	11.6 дней	11.6 дней
Фотон-9	1994	---		1-3	Биопан-1	17.6 дней	14.8 дней
Фотон-10	1995	3-4	108-225	---	---	14.6 дней	---
Фотон-11	1997	3-4	172-287	1-3	Биопан-2	13.6 дней	9.9 дней
Фотон-12	1999	1	177-254	1-3	Биопан-3	14.6 дней	12.6 дней

Миссия	Объект тестирования	Что исследовалось	Авторы
Бион-8	Личинки насекомых	Морфологические аномалии в личинках	Бугер, Альпатов
	Семена	Хромосомные изменения	Невзгодина
	Споры бактерий	Смертность	Невзгодина
	Семена	Замедленное прорастание, плохое цветение	Кранц, Шевченко
Бион-9	Личинки насекомых	Морфологические аномалии в личинках	Бугер, Альпатов
	Семена	Хромосомные изменения	Невзгодина
	Семена	Замедленное прорастание, плохое цветение	Кранц, Шевченко
Бион-10	Семена	Смертность	Невзгодина, Рейц
	Семена	Морфологические аномалии в личинках	Кранц, Шевченко
Фотон-9 (биопан-1)	Рассол креветок	Морфологические аномалии в личинках	Гернадорина
	Семена	Изменения ДНК	Кадет
Фотон-11 (биопан-2)	Рассол креветок	Морфологические аномалии в личинках	Матти
	Семена	Изменения ДНК	Кадет

а) Энергетическая стоимость локомоций в скафандре без давления, ккал/час

Скорость движения по наклонной плоскости под углом 10°, км/час	1/6 G	1G
3.2	142	205
6.4	187	430
9.4	329	709

б) Влияние пониженной весомости на локомоций человека

Гравитация, G	Избыт. давл. в скафандре, мм.рт.ст.	Макс. скорость движ, м/сек	Макс. вел. прыжка в высоту, см	Прыжок в длину,см
1	0	3,44	52,0	164,0
1	180	2,8	30,5	100,0
1/6	0	1,64	234,0	366,0
1/6	180	1,22	140,0	214,0

Вид излучения и диапазон энергий	КК
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией < 10 КэВ	5
Нейтроны от 10 до 100 КэВ	10
Нейтроны от 100 КэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны > 20 МэВ	5
Протоны с энергий > 2 МэВ (кроме протонов отдачи)	5
α-частицы, осколки деления и другие тяжелые ядра	20

Энергия падающих частиц, Мэв	диапазон глубины, см			
	0 - 7,5	7,5 - 15	15,0 - 22,5	22,5 - 30,0
электроны				
100	0,16	0,16	0,14	0,1
200	0,16	0,18	0,19	0,18
500	0,18	0,20	0,22	0,25
1000	0,18	0,21	0,25	0,32
5200	0,20	0,25	0,30	0,42
10000	0,21	0,27	0,37	0,44
20000	0,22	0,28	0,43	0,53
ϒ-кванты				
10	0,007	0,009	0.007	0,007
20	0,010	0.015	0.012	0,013
50	0,013	0,030	0,032	0,028
100	0,016	0,042	0,051	0,065
200	0,019	0,049	0,077	0,095
500	0,021	0,062	0,092	0,14
1000	0,023	0,063	0,12	0,16
5200	0,026	0,081	0,14	0,22
10000	0,029	0,088	0,16	0,24
20000	0,030	0,10	0,15	0,26

Вид животного	Напряженность МП, нТл (срок воздействия)	Тесты	Результаты
Мыши	100 (4-12 мес)	Развитие, воспроизводство, тератогенные эффекты, поведение животных, морфологические изменения в органах, кровь, увеличение количества опухолей	+
Мыши	50 (4-12 мес)	Развитие, воспроизводство, тератогенные эффекты, поведение животных, морфологические изменения, кровь, увеличение количества опухолей	–
Мыши	100 (до 3 мес)	Развитие, кровь, (ферментные элементы, электролиты) поведение животных, митотическая активность эпителия роговицы, суточные ритмы	–
Крысы	50-100 (8-3 сут)	Морфологические и гистохимические исследования в печени, селезенке, коре надпочечников (содержание гликогена, липидов, СДГ)	+
Кролики	80 (18 ч)	Фагоцитарная активность лейкоцитов, активность щелочной и кислой фосфатаз и трансаминаз в микрофагах	+
Кролики	50-150	Постнатальная смертность и дисперсия веса крольчат, родившихся от матерей, находившихся в ГГМП в период беременности. Отложения жира в почках, сердце (явления дистрофии миокарда) и брюшной полости. Морфологические и гистохимические изменении в легких, селезенке и желудке у крольчат в постнатальном периоде	+
Крысы	290	Поведение, обучение, физическая выносливость, состояние сердечно-сосудистой системы	+
Примечание. + - наличие эффекта, – - эффект отсутствует.			

Поглощенная доза, бэр*	Ожидаемые физиологические эффекты
10-50	Никаких видимых сдвигов, за исключением незначительных изменений крови
50-100	От 5 до 10% пораженных испытывают тошноту и рвоту в течение приблизительно одних суток. Иногда отмечается повышенная утомляемость, но без резко выраженного нарушения работоспособности. Преходящее снижение числа лимфоцитов и нейтрофилов. Смертельные исходы не наблюдаются
100-200	От 25 до 50% пораженных испытывают тошноту и рвоту в течение приблизительно одних суток. В последующем развивается другая симптоматика острой радиационной травмы. Число лимфоцитов и нейтрофилов падает на 50%. Смертельные исходы не наблюдаются
200-350	Подавляющее большинство пораженных испытывают в течение первых суток после облучения тошноту и рвоту, с последующим развитием другой симптоматики острой лучевой болезни, например, потери аппетита, поноса, небольших кровотечений. Число форменных элементов, циркулирующих в периферической крови, падает на 75%. Смертельные исходы регистрируются от 5 до 50% всех случаев
350-550	Практически все пораженные испытывают тошноту и рвоту в течение первых суток после облучения с последующим развитием других симптомов острой лучевой болезни, например, повышение температуры тела, кровотечения, понос, обезвоживание. Смертельные исходы регистрируются от 50 до 90% всех случаев поражений в течение 6 недель. Выжившие выздоравливают в течение приблизительно 6 мес
550-750	Все пораженные страдают от тошноты и рвоты в течение первых 4 ч с момента облучения, в дальнейшем появляется развернутая клиническая картина тяжелой формы лучевой болезни. Смертельные исходы регистрируются в 100% всех случаев поражений
750-1000	Тяжелая тошнота и рвота продолжаются в течение 3 сут с момента облучения. Средняя продолжительность заболевания до наступления смертельного исхода менее 2,5 недель
1000-2000	Тошнота и рвота развиваются в течение первых 1-2 ч после облучения. Все пораженные погибают в течение 2 недель
4500	Острое нарушение работоспособности в течение нескольких часов после поражения. Все пострадавшие гибнут в течение первой недели с момента облучения

* 100 бэр = 1 Зв.

Длина волны, нм	Предельно допустимая доза, Дж/м ^{2}	Относительная спектральная эффективность	Длина волны, нм	Предельно допустимая доза, Дж/м ^{2}	Относительная спектральная эффективность
200	1000	0,03	280	34	0.88
210	400	0,075	290	47	0,64
220	250	0,12	300	100	0,30
230	160	0,19	305	500	0,06
240	100	0,30	310	2000	0,015
250	70	0,43	315	10000	0,003
254	60	0,50			
260	46	0,65			
270	30	1,00			

Реакция	Условия и объекты наблюдения	Примечания
Ощущения безопорного положения, плавания, падения, переворота, вращения, прилива крови к голове, ухудшение ориентации в пространстве, преобладание роли зрительной информации в оценке положения тела в пространстве	Человек (БН,ПК,КП)	Эмоциональная окраска ощущений (страх, радость и др.) зависит от опыта и тренированности испытуемых. В орбитальных полетах – адаптация
Смещение последовательного зрительного образа при перегрузке – вниз (окулографическая иллюзия), а при невесомости – вверх (окулографическая иллюзия). Иллюзии характерны для начальных периодов пребывания в невесомости	Человек (ПК, КП)	Реальное расположение зрительных ориентиров при перегрузке – выше последовательного образа, а при невесомости – ниже. При фиксации взгляда на ориентире последовательный образ совмещается с ним
Замедление скорости и точности движений; промахи при попытке попасть в центр мишени (отклонение попаданий вверх)	Человек (ПК, КП)	Только в начальной фазе КП, затем адаптация
Ухудшение способности воспроизводить дозированные мышечные усилия и оценивать различия масс незафиксированных предметов	Человек (ПК)	
Развитие болезни движения или отдельных ее симптомов (головокружение, дискомфорт в желудке, тошнота, рвота и т.д.)	Человек (ПК, КП)	Предполагается участие как вестибулярных, так и экстралабиринтных механизмов, а также изменение взаимодействия афферентных систем
Частота дыхания и легочная вентиляция: увеличение при полете по ПК; разнонаправленные сдвиги при КП; возрастание в послеполетном периоде	Человек (ПК, КП,Р)	Изменения в полете зависят от предшествующего действия перегрузок или характера работы
Газообмен: возрастание при полете по ПК; снижение (по данным анализа регенеративного вещества) при КП: увеличение в послеполетном периоде	Человек (ПК,КП, Р)	По анализу проб выдыхаемого воздуха, взятых в КП, отмечено как снижение, так и увеличение. При ДПР – снижение
Уменьшение потребности в пище	Человек (КП)	Отмечается не во всех полетах. Характерно для ДПР
Частота пульса: замедление нормализации после действия перегрузок; в последующем тенденция к урежению, увеличению колеблемости (возможны аритмии по типу бигемении): в конечной стадии длительных КП некоторое учащение	Человек, животные (КП)	При ДПР после начального урежения частота пульса учащается (детренированность)

Артериальное давление: умеренное снижение, затем стабилизация, тенденция к снижению пульсового давления	Человек (КП)	При ДПР вначале снижение, затем возрастание (симпатический эффект)
Сердце: уменьшение размеров (по данным рентгенологических исследований); признаки снижения сократительной способности (по данным электро- и сейсмокардиографии и результатам фазового анализа сердечного цикла)	Человек (КП, Р)	Описаны случаи увеличения механической активности сердца в полете
Костная ткань: деминерализапия (по данным рентгенофотометрии) за счет потери Са++	Человек, животные, (Р)	При использовании метода фотонной абсорбциометрии изменений не обнаружено
Мышцы: снижение объема ц силы	Человек, животные (КП, Р)	Преимущественно атрофия антигравитационной мускулатуры
Снижение веса (массы) тела на 2—5% от исходного веса	Человек, животные (Р)	Пребывание на Луне в отдельных случаях уменьшало потерю веса тела. После полета вес быстро восстанавливается (исключение – 18-суточный полет «Союза-9»)
Ухудшение переносимости поперечных перегрузок на участке спуска	Человек (КП)	Не во всех полетах
Ощущение тяжести тела, быстрая утомляемость, затруднения при ходьбе, мышечные боли	Человек (Р)	Преимущественно после полетов большой продолжительности без использования профилактических средств
Ортостатическая неустойчивость	Человек (Р)	Развивается и в наземных экспериментах с имитацией невесомости
Снижение физической работоспособности	Человек (Р)	Следствие гиподинамии
Снижение иммунитета	Человек, животные (Р)	Увеличивает опасность инфекционных заболеваний во время и после полета
Увеличение длительности восстановительного периода в продолжительных полетах по сравнению с кратковременными	Человек (Р)	Улучшение условий обитания и использование профилактических средств сокращает продолжительность восстановительного периода

БН — башня невесомости; ПК — парабола Кеплера: КП — космический полет; Р — период реадаптации; ДПР—длительный постельный режим.

Полет	Космонавт	Возникновение болезни движения в анамнезе			Симптомы иллюзорных ощущений и болезни движения в космическом полете			
		на наземных, воздушных и морских средствах передвижения	при полете по параболе невесомости	при покидании капсулы на море и тренировках по покиданию	Иллюзия переворота	неприятные ощущения в желудке	тошнота	рвота
7	A	X						
	B	X	X	X				
	C	X		X	X			
8	D	X				X	X	X
	E	X	X	X		X	X	
	F	X	X			X		
9	G							
	H			X	X	X		
	1	X	X	X		X	X	X
10	J	X						
	K	X						
	L	X				X		
11	M	X	X	X				
	N	X	X	X				
	O	X	X					
12	P	X						
	Q			X				
	R							
13	S(E)	X	X	X				
	T					X	X	X
	U					X		
14	V	X						
	W	X						
	X							
15	Y(H)			X				
	Z		X		X	X		
	AA							
16	BB (X)	X						
	CC	X	X					
	DD	X	X					
17	EE (L)	X	X			X		
	FF	X	X			X		
	GG	X	X					

Биообъекты	Показатель	Эффект космического полета
Лизогенная культура кишечной палочки	Индукция умеренного фага Выживание бактерий	Увеличение в 3 раза (P<0,01)
Тетрахимена	Клеточная пролиферация Объем клеток Форма клеток Содержание ДНК Содержание белка	Ускорение (p<0,05) 0 Более сферическая 0 Уменьшение (p<0,05)
Хлорелла (автотрофная культура)	Количество автоспор Прирост биомассы	Увеличение 0
Вольфия	Рост Старение	Стимуляция Ускорение
Гапдопаппус (культура ткани)	Перекисное окисление липидов Ультраструктура клетки	Увеличение 0
Ооциты: Дрозофилы рыб гуппитритонов	Плоидность ядер Развитие новой генерации Размер ооцитов Количество и размер ядрышек	0 Увеличение
Самки Дрозофилы	Частота мейотического кроссинговера	Больше или меньше в зависимости от локуса
Яйца палочника	Эмбриональное развитие Вылупление личинок	0 Повышенная гибель, аномалии
Рыбы гуппи (мальки)	Эмбриональное развитие Вестибулярный аппарат Плавательный пузырь	0 Не заполнен воздухом
Жуки-чернотелки	Период свободнотекущего ЦР	Сокращение (p < 0,005)
Бальзамин (проростки)	Регенерация корневого чехлика	0
Планарии	Регенерация тела	0
Тритоны	Регенерация конечностей и хрусталиков	В полете—0, спустя 2 нед—ускорение
Лимфоциты обезьян	Сестринские хроматидные обмены Количество ядрышек	Незначительное увеличение Увеличение

Полет	Растение	Митотический индекс, %	
		контроль	эксперимент
"Биосателлит-П	Пшеница	11,6	9,2*
"Союз-12"	Горох	5.2	3,9
"	Листовой салат	3,3	2,8
"Салют-6"	Тоже	8,2*	5,7*
"	Ячмень	11,5**	7,7*
Космос-1514	"	22,8	21,9
Космос-1667	Листовой салат	8,7	8,4

*Разница статистически достоверна, p = 0,05.
**Контрольный посев на бортовой центрифуге при 1 g.

Номер отсека	Летный вариант	Контроль
3	$(27,68\pm2,78)\cdot10^9$	$(10,71\pm l,73)\cdot10^9$
4	$(18,85\pm2,29)\cdot10^9$	$(23,30\pm2,55)\cdot10^9$
5	$(67,3\pm4,33)\cdot10^9$	$(66,29\pm4,30)\cdot10^9$
6	$(31,09\pm2,94)\cdot10^9$	$(48,62\pm3,68)\cdot10^9$
7	$(16,07\pm2,11)\cdot10^9$	$(52,93\pm3,85)\cdot10^9$
8	$(22,40\pm2,50)\cdot10^9$	$(92,09\pm5,06)\cdot10^9$
9	$(47,43\pm3,48)\cdot10^9$	$(135,29\pm6,14)\cdot10^9$

Номер отсека	Лаг-фаза роения		Средняя скорость роения, мм/ч	
	Летный	Контроль	Летный	Контроль
3	4	18	5,7	3,7
4	4	14	5,7	5,0
5	4	14	5,7	5,0
6	4	10	5,7	4,1
7	4	10	5,7	4,5
8	4	10	5,7	4,5
9	4	10	5,7	4,5

Средняя плотность вещества Вселенной (соответствует равномерному распределению видимого вещества в наблюдаемой части пространства) На основе наблюдений Теоретическая	 $3 \cdot 10^{-31}$ мг/м^3 $1 \cdot 10^{-29}$ мг/м^3
Плотность излучения во Вселенной	10^9 фотонов на 1 нуклон
Число галактик в наблюдаемой части Вселенной	10^{11}
Расстояние до самой удаленной наблюдаемой обыкновенной галактики	$5 \cdot 10^9$ св. лет
Расстояние до самого удаленного наблюдаемого квазара	$12 \cdot 10^9$ св. лет

Вселенная	$1 \cdot 10^{-29}$(оценка)
Скопления галактик	$5 \cdot 10^{-28}$
Межзвездный газ	$3 \cdot 10^{-25}$
Галактики	$2 \cdot 10^{-24}$
Шаровое скопление	$4 \cdot 10^{-21}$
Красный гигант	$5 \cdot 10^{-8}$
Солнце	1,4
Белый карлик	10^{6}
Нейтронная звезда	10^{14}(плотность атомного ядра)
Черная дыра (возникшая из звезды)	$5 \cdot 10^{93}$(предполагаемая, т. н. плотность Планка)

Астрономическая единица (среднее расстояние от Земли до Солнца)	$1{,}49598 \cdot 10^{11}$ м ~ 150 млн. км
Световой год	$9{,}4605 \cdot 10^{15}$ м = 63420 а.е. = 0,3066 пс
Парсек	$3{,}0857 \cdot 10^{16}$ м = 3,2616 св. лет
Масса Солнца	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг ~ 333000 масс Земли
Радиус Солнца	696000 км = 109 радиусов Земли
Масса Земли	$5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг = 81,3 массы Луны
Экваториальный радиус Земли	6378 км
Период повторяемости солнечных и лунных затмений (сарос)	18 лет 11,3 дня

Наименование	Тип	Масса в массах Солнца
Яркие сверхгигантские галактики	эллиптические	10^{13}
Сверхгигантские галактики	эллиптические и спиральные	10^{12}–10^{11}
Гигантские и карликовые галактики	эллиптические, спиральные и неправильные	10^{10}–10^{8}
Карликовые галактики и пигмеи	эллиптические	10^{7}–10^{6}

Галактика	Оптическое излучение (Дж/с)	Радиоизлучение (Дж/с)	Полная энергия (Дж)
Солнце	$4 \cdot 10^{26}$	Слабое, переменное	$7 \cdot 10^{41}$
Обыкновенная гигантская галактика	10^{37}	10^{31}	10^{53}
Радиогалактика	10^{37}	10^{34}–10^{36}	10^{53}–10^{55}
Квазар	10^{39}	10^{37}	10^{53}

Диаметр	120 000 св. лет
Толщина	6 500 св. лет
Масса	$1{,}4 \cdot 10^{11}$ массы Солнца
Масса газа и пыли от массы всех звезд	5%
Расстояние спиральных рукавов от центра	30 000 – 40 000 св. лет
Скорость вращения:	
На расстоянии 3 000 св. лет от центра	200 км/с
На расстоянии 6 000 св. лет от центра	183 км/с
На расстоянии 30 000 св. лет от центра	250 км/с
На расстоянии 100 000 св. лет от центра	150 км/с
Скорость освобождения:	
Для центра Галактики	700 км/с
Над Солнцем	360 км/с
Для края Галактики	240 км/с

Радиус	$6{,}9599 \cdot 10^8$ м
Объем	$1{,}4122 \cdot 10^{27}$ м^3
Площадь поверхности	$6{,}087 \cdot 10^{18}$ м^2
Масса	$1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг
Средняя плотность	1,409 Мг/м^3
Ускорение силы тяжести на поверхности	273,98 м/с^2
Полное излучение	$3{,}826 \cdot 10^{26}$ Дж/с
Скорость освобождения на поверхности	1617,7 км/с
Линейная скорость вращения на экваторе	2,025 км/с

Эффективная температура поверхности	5770 К
Скорость движения относительно ближайших звезд	19,5 км/с (движется в направлении созвездия Геркулеса)
Расстояние от центра Галактики	28 000 св. лет
Расстояние от плоскости Галактики	50 св. лет
Скорость обращения вокруг галактического центра	250 км/с
Период обращения вокруг галактического центра	200 млн. лет
Возраст	5 млрд лет
Температура в центре	15 млн К
Плотность в центре	160 мг/м^3
Давление в центре	$3{,}4 \cdot 10^{16}$ Па
Химический состав по массам	H – 71%, He – 26,5%, ост. – 2,5%
Уменьшение массы в результате излучения	4,3 млн. т/с
Расстояние от Земли до Солнца	
среднее	149 597 900 км
в перигелии	147 100 000 км
в афелии	152 100 000 км

Общая масса планет	447,8 массы Земли
Общая масса спутников планет	0,12 массы Земли
Общая масса малых планет	0,0003 массы Земли
Общая масса комет и метеоритного вещества	10^{-9} массы Земли
Общая масса планетной системы	448 массы Земли

Автор	Год	Основная идея гипотезы
Р. Декарт	1644	Вихревое движение – единственная устойчивая форма движения, из первичных и вторичных вихрей образовались Солнце и планеты со спутниками
Ж. Л. Л. Бюффон	1745	Гигантская комета столкнулась с Солнцем и вырвала из него вещество, из которого образовались планеты
И. Кант	1755	Конденсировалось вращающееся облако межзвездного газа
П. С. Лаплас	1796	Объяснение предыдущей гипотезы: облако стягивалось и каждый раз, когда центробежная сила была достаточно большой, от облака отделялось газовое кольцо, из которого образовывалась планета
А. Бикертон	1878	Солнце прошло близко от звезды, и из него вырвалось вещество
Т. К. Чемберлин	1901	Солнце прошло близко от звезды, и вещество выплеснулось из приливной волны
О. Биркеланд	1912	В магнитном поле Солнца из ионов, выброшенным Солнцем, образовались газовые кольца
С. А. Аррениус	1913	Солнце столкнулось со звездой, после столкновения звезда распалась и остались Солнце и длинный газовый хвост, из которого образовывались планеты
Х. Джеффрис	1916	Звезда задела Солнце, и образовался длинный хвост
Дж. Х. Джинс	1917	Звезда прошла близко от Солнца, вещество вырвалось из приливной волны и образовало длинные хвосты
Г. Берлейдж	1930	Из частиц, выброшенных Солнцем, образовался газовый диск
Г. Н. Рессел	1935	Солнце было двойной звездой, второй компонент был разрушен третьей звездой
Дж. Литлтон	1936	Солнце было тройной звездой, система неустойчивой, два компонента отделились и оставили часть своего вещества
Х. О. Альфвен	1942	Солнце встретилось с газовым облаком, атомы газа ионизировались и начали двигаться в магнитном поле
О. Ю. Шмидт	1943	Солнце встретилось с газовым облаком и захватило его, в результате соударений частиц образовались планеты
К. Вейцзеккер	1944	Из вихрей во внешних слоях сжимающегося протосолнца образовывались планеты и их спутники
Ф. Хойл	1944	Солнце было двойной звездой, второй компонент которой вспыхнул сверхновой звездой, выбросил газовое облако и покинул систему
Ф. Л. Уиппл	1947	Протосолнце захватило газовое облако, у которого был достаточно большой момент количества движения
Д. Тер Хар	1948	Планеты образовались в турбулентных внешних слоях протосолнца
Дж. П. Койпер	1949	Планеты образовались в газовом облаке, окружавшем протосолнце, в результате гравитационных возмущений

Экваториальный радиус	6378,164±0,003 км
Полярный радиус	6356,779 км
Средний радиус	6371,03 км
Масса	$(5{,}976 \pm 0{,}004) \cdot 10^{24}$ кг
Средняя плотность	5,518±0,004 Мг/м^3
Скорость обращения вокруг Солнца	29,78 км/с
Скорость освобождения на поверхности	11,19 км/с
Площадь материков и островов	149 000 000 км^2
Площадь океанов	361 000 000 км^2
Средняя высота материков (над уровнем моря)	860 м
Средняя глубина океанов	3,9 км
Масса океанов	$1{,}45 \cdot 10^{21}$ кг
Стандартное ускорение силы тяжести	980,665 см/с^2
Центробежное ускорение на экваторе	3,3915 см/с^2

Расстояние от Земли	356 400 – 406 700 км
Доля видимой с Земли поверхности Луны	59%
Средний видимый угловой диаметр	31'04"
Средний радиус	1732 км = 0,27252 радиуса Земли
Масса	$7{,}350 \cdot 10^{22}$ кг
Средняя плотность	3,341 Мг/м^3
Ускорение силы тяжести на поверхности	162,2 см/с^2
Скорость освобождения на поверхности	2,38 км/с
Поток тепла через поверхность	$8{,}3732 \cdot 10^{-7}$ Дж/с·см^2
Температура поверхности в ночное время	–169 ^{0}C
Температура поверхности, когда Солнце в зените	+122 ^{0}C

Планета	Среднее расстояние от Солнца		Период обращения	Период вращения на экваторе	Экваториальный диаметр (км)	Масса в массах Земли
	Млн. км	А. Е.				
Меркурий	57,9	0,39	87,97 сут	58,6 сут	4 878	0,055
Венера	108,2	0,72	227,70 сут	243* сут	12 104	0,805
Земля	149,6	1	265,26 сут	23 ч 56 мин	12 756	1
Марс	227,9	1,52	686,98 сут	24 час 37 мин	6 974	0,106
Юпитер	778,3	5,20	11,86 л	9 ч 50 мин	142 600	314,03
Сатурн	1427	9,54	29,46 л	10 ч 14 мин	120 200	94,01
Уран	2870	19,18	84,01 л	~20* ч	53 000	14,4
Нептун	4496	30,06	164,81 л	~20 ч	49 500	17,0
Плутон	5946	39,75	247,7 л	6,29 сут	4 000	0,002

Планета и спутники	Среднее расстояние от центра планеты (тыс. км)	Период обращения (сут.)	Диаметр или размеры	Автор и год открытия
ЗЕМЛЯ				
Луна	384,40	27,32	3476	
МАРС				
1 Фобос	9,37	0,32	25x21x19	А. Холл 1877
2 Деймос	23,52	1,26	15x12x11	А. Холл 1877
ЮПИТЕР				
1 Ио	421,6	1,77	3680	Г. Галилей 1610
2 Европа	670,9	3,55	3100	Г. Галилей 1610
3 Ганимед	1 070	7,16	5300	Г. Галилей 1610
4 Каллисто	1 880	16,69	4840	Г. Галилей 1610
5 Амальтея	181,0	0,50	140x260	Э. Э. Барнард 1892
6 Гамалия	11 470	250,6	120	Ч. Перрайн 1904
7 Элара	11 780	260,1	120	Ч. Перрайн 1905
8 Пасифея	23 300	735*	40	Ф. Мелотт 1908
9 Синопа	23 700	758*	22	С. Никольсон 1914
10 Лизифоя	11 710	260	22	С. Никольсон 1938
11 Карма	22 350	692*	24	С. Никольсон 1938
12 Ананке	20 700	617*	20	С. Никольсон 1951
13 Леда	11 100	240		Ч. Козул 1974
14	57,8	0,30	30	"Вояджер 2" 1979
15	300	0,60	100	"Вояджер 1" 1979
САТУРН				
1 Мимас	186	0,94	500	В. Гершель 1789
2 Энцелад	238	1,37	600	В. Гершель 1789
3 Тефия	295	1,89	1000	Дж. Кассини 1684
4 Диона	377	2,74	800	Дж. Кассини 1684
5 Рея	527	4,52	1500	Дж. Кассини 1684
6 Титан	1237	15,95	5500	Х. Гюйгенс 1655
7 Гиперион	1481	21,28	400	Дж. Бонд 1848
8 Япет	3560	79,33	1500	Дж. Кассини 1671
УРАН**				
1 Ариэль	192	2,52	600	У. Лассел 1851
2 Умбриэль	267	4,14	400	У. Лассел 1851
3 Титания	438	8,7	1000	В. Гершель 1787
4 Оберон	586	13,46	800	В. Гершель 1787
5 Миранда	130	1,41		Дж. Койпер 1948
НЕПТУН				
1 Тритон	354	17*	4000	У. Лассел 1846
2 Нереида	5570	5	300	Дж. Койпер 1949
ПЛУТОН				
1 Харон	17	6,39	800	Д. Кристи 1978

* Направление обращения обратно направлению вращения.

** В 1896 г. открыты еще 10 спутников.

Метеорит	Место падения	Масса (т)	Дата падения или год обнаружения
ЖЕЛЕЗНЫЕ МЕТЕОРИТЫ			
Гоба	Намибия	60	1920
Кейп-Йорк I	Гренландия	31	1818
Бакубирито	Мексика	27	1863
Мбози	Танзания	26	1930
Арманты	Китай	20	неизвестно
Кейп-Йорк VI	Гренландия	15	1963
Вильяметте	США	14	1902
Чупадерос	Мексика	14	1852
Морито	Мексика	11	1600
Мундрабилла	Австралия	10	1966
ЖЕЛЕЗНОКАМЕННЫЕ МЕТЕОРИТЫ			
Битбург	ФРГ	1,5	1805
Хукитта	Австралия	1,4	1937
Бондок	Филиппины	0,886	1956
Палласово Железо	СССР (Сибирь)	0,687	1749
Эстервилл	США	0,337	10.V.1879
Маунт-Вернон	США	0,159	1868
Молонг	Австралия	0,105	1912
КАМЕННЫЕ МЕТЕОРИТЫ			
Цзилинь	Китай	1,77	8.III.1976
Нортон Каунти	США	1,078	18.II.1948
Лонг Айленд	США	0,564	1891
Парагулд	США	0,372	17.II.1930
Хьюготон	США	0,325	1927
Оханский	СССР	0,3	30.VIII.1887
Княгиня	СССР (Карпаты)	0,293	9.VI.1866

Технические характеристики спектрометра

1. Частота протонного резонанса, МГц	10,8
2. Диаметр ампулы, мм	6
3. Длительность 90°-импульса, мкс	10
4. Отношение 'сигнал-шум' для 0,2 $см^3$ глицерина, не менее	200
5. Диапазон измерения длительности фазирующего импульса	0,5 мкс ... 100 с
6. Диапазон измерения интервалов между импульсами	0,5 мкс ... 100 с
7. Время нечувствительности усилительного тракта, мкс	< 20