5.6.6. История науки и техники

Научная статья
УДК 629.78:614.8(47+57)"1960/1989"

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ В СССР В 1960–1980-Е ГОДЫ

Путилин Иван Андреевич, кандидат исторических наук, Московский государственный университет геодезии и картографии, Россия, Москва, putilin74@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу развития технологий защиты человека от космической радиации в СССР в 1960–1980-е годы как самостоятельного направления отечественной космической науки и техники. Актуальность темы обусловлена тем, что в 2025–2026 гг. опубликованы обобщающие работы по истории и современному состоянию радиационной защиты космонавтов, а советский период 1960–1980-х годов как целостный историко-технический сюжет остается фрагментарно раскрыт, в основном в биографическом и мемуарном ключе. Целью статьи стало прослеживание формирования в СССР комплексной системы физической, биолого-фармакологической и нормативно-организационной защиты, от первых пилотируемых полетов до утверждения серии ГОСТ 25645 в 1983–1985 гг., а также ее сопоставление с опытом американской программы «Аполлон». Использовались историко-генетический и историко-сравнительный методы, а также анализ нормативно-технической документации. Установлено, что созданный в 1963 г. Институт медико-биологических проблем, разработанный в 1974 г. радиопротектор Б-190 (индралин) и утвержденные Временные нормы радиационной безопасности космических полетов (ВНРБ-75) составили основу системы, которая впоследствии была закреплена государственными стандартами. При сопоставимых с американскими количественных пределах доз

советская система отличалась более выраженной нормативной формализацией. Сформулирован вывод о технологической и нормативной зрелости советской системы при сохранении нерешенной проблемы веса физической защиты.

Ключевые слова: история науки и техники, космическая радиобиология, радиационная безопасность космонавтов, физическая защита от радиации, радиопротекторы, ГОСТ 25645, космонавтика СССР.

Original article

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR PROTECTING HUMANS FROM COSMIC RADIATION IN THE USSR IN THE 1960s–1980s

Putilin Ivan Andreevich, Candidate of Historical Sciences, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia, putilin74@mail.ru

Abstract. The article examines the development of technologies for protecting humans from cosmic radiation in the USSR in the 1960s–1980s as an independent direction of Soviet space science and technology. The topic's relevance stems from a series of generalizing works on the history and current state of cosmonaut radiation protection published in 2025–2026, whereas the Soviet period of the 1960s–1980s as a coherent historical-technical subject remains addressed only fragmentarily, mostly in biographical and memoir form. The goal was to trace the formation in the USSR of a complex three-part protection system (physical, biological-pharmacological, and regulatory-organizational) from the first piloted flights to the adoption of the GOST 25645 series of state standards in 1983–1985, and to compare it with the parallel experience of the American Apollo program. The historical-genetic and historical-comparative methods were applied, together with an analysis of normative-technical documentation. The Institute of Biomedical Problems founded in 1963, the radioprotector B-190 (indralin) developed in 1974, and the Provisional Radiation Safety Standards for Space Flights (VNRB-75) are shown to have formed the basis of

the system later consolidated by state standards. The Soviet system is shown to have featured more pronounced regulatory formalization while arriving at dose limits comparable to the American ones. The article concludes that the Soviet system achieved technological and regulatory maturity while the problem of shielding mass remained unresolved.

Keywords: history of science and technology, space radiobiology, cosmonaut radiation safety, physical radiation shielding, radioprotectors, GOST 25645, Soviet space program.

Введение. Проблема радиационной опасности в космосе появилась как инженерный вызов, который был поставлен природой околоземного пространства. В 1958 г. на первых советских и американских спутниках были открыты радиационные пояса Земли, а именно внешний пояс был открыт С. Н. Верновым, Е. А. Чудаковым, П. В. Вакуловым, Е. В. Горчаковым и Ю. И. Логачевым, а внутренний был открыт Дж. Ван Алленом [8, с. 152]. Открытие совпало по времени с началом отбора и подготовки космонавтов и астронавтов (1959–1960 гг.) и с первыми пилотируемыми полетами (1961 г.), так что задачу защиты человека от радиации пришлось решать в режиме опережающей необходимости [8, с. 152].

Актуальность обращения к советскому опыту 1960–1980-х годов сегодня определяется тем, что современные проекты освоения Луны и Марса, от программы «Артемида» до перспективных обитаемых баз, вновь ставят те же вопросы веса защиты, дозовых пределов и надежности прогнозирования солнечной активности, которые советские специалисты решали шестьдесят лет назад [14, p. 1]. В дополнение, за последние два года вышли обобщающие публикаций (от исторической реконструкции С. В. Кричевского до ретроспективного анализа А. В. Шафиркина), которые делают тему вновь предметно обсуждаемой в историко-научном сообществе, но ни одна из них не

ставит своей целью комплексное историко-техническое описание советского периода как отдельного сюжета [8, с. 152].

Автор наиболее подробного из имеющихся обзоров С. В. Кричевский признает: «Не удалось обнаружить отечественные и зарубежные исследования, публикации с охватом всей истории технологий защиты людей от радиации в космосе, исторические аспекты в изученных источниках отражены фрагментарно» [8, с. 152]. Его наблюдение и определило постановку настоящей работы. Если общая история технологий защиты в мировом масштабе действительно не написана, то тем более не выделен из нее советский период 1960–1980-х годов как самостоятельный этап со своей организационной логикой, собственным набором технических решений и завершением в виде серии государственных стандартов.

Целью статьи является анализ становления и развития технологий защиты человека от космической радиации в СССР в 1960–1980-е годы как направления отечественной науки и техники. Для достижения цели решались следующие задачи:

1) рассмотрение организационных предпосылок формирования данного направления;

2) анализ эволюции физических (конструкционных) технологий защиты;

3) изучение биолого-фармакологического направления защиты;

4) анализ нормативно-организационной составляющей (от временных норм безопасности до государственных стандартов);

5) сопоставление советского опыта с опытом американской программы «Аполлон».

Научная новизна исследования состоит в том, что впервые разобщенные данные организационной истории (документированной участниками событий), технологической классификации (предложенной современными историками науки) и нормативно-технического корпуса документов (ГОСТ 25645) сведены в единую периодизированную картину применительно к советскому опыту 1960–

1980-х годов, а также в сопоставлении полученной картины с первоисточником по американской программе «Аполлон», который ранее в отечественной историографии темы комплексно не привлекался.

Обзор литературы. Наиболее полной современной работой по общей истории технологий защиты от радиации в космосе остается статья С. В. Кричевского, которая опубликована в 2025 г. Автор проанализировал свыше 100 источников и предложил периодизацию из трех этапов, а также классификацию технологий защиты по методам (физические пассивные и активные, биологические, химические) и по этапам применения (дополетный, космический, послеполетный) [8, с. 156]. По его оценке, пассивное экранирование по-прежнему составляет около 70 % всех выявленных технологических решений, а медико-биологические методы составляют не более 20 % [8, с. 157]. Ценность его работы для настоящего исследования в том, что она определяет общую рамку, однако ее хронологический охват (весь XX и начало XXI в.) оставляет советский период 1960–1980-х годов только одним из многих эпизодов, без подробного организационного анализа.

Иной тип источника представляет собой мемуарно-биографическая и организационная историография, которая была написана непосредственными участниками событий. Юбилейная статья И. Б. Ушакова о Ю. Г. Григорьеве восстанавливает хронологию создания в СССР школы космической радиобиологии, от прихода Григорьева в Институт биофизики АМН СССР в 1949 г. до основания в 1975 г. Службы радиационной безопасности пилотируемых космических полетов [10, с. 442]. 12 глава коллективной монографии «История отечественной космической медицины» (2001), которая написана Б. И. Давыдовым, А. С. Фаустовым и В. И. Поповым (сотрудниками того самого радиобиологического отдела), описывает разработку системы радиационной безопасности для кораблей «Восток» и «Восход» и историю создания радиопротектора Б-190 [6, с. 204–210]. Обе работы отличаются высокой

фактологической плотностью, но написаны в жанре организационной памяти. Периодизация в них подчинена биографии ученых и истории учреждения.

Третья группа литературы представляет ретроспективные обзоры действующих специалистов по космической радиобиологии, которые обращаются к истории для объяснения современного состояния проблемы. А. В. Шафиркин прослеживает почти 70-ти эволюцию подходов к радиационному нормированию в СССР (России) и США и показывает, что советские и американские нормативы дозовых пределов для космонавтов одновременно формировались и сближались уже к середине 1960-х годов [13, с. 104]. А. С. Самойлов, И. Б. Ушаков и В. А. Шуршаков дают современный обзор мониторинга и защиты и отмечают, что доза радиации на орбитальной станции примерно в 200 раз превышает средний наземный фон [9, с. 5]. М. В. Васин реконструирует историю открытия радиопротекторов (от цистамина Зенона Бака (1951) до индралина (1974)), причем делает это как непосредственный участник разработки [1, с. 379–381]. И. Б. Ушаков и М. В. Васин в более раннем обзоре описывают современный арсенал противолучевых средств космонавтики (латран, нейпомакс, природные антиоксиданты) как продолжение советской фармакологической школы [11, с. 150].

Особое место занимают первоисточники периода. Книга Дж. Хаффнера в переводе и под редакцией Е. Е. Ковалева (1971 г.) представляет собой инженерный расчетный аппарат защиты космического корабля, которым пользовались советские конструкторы [12]. Статья Е. Е. Ковалева (1978 г.) является редким примером открытой публикации специалиста по итогам полета «Салют-6», которая излагает действовавшую на тот момент нормативную базу [7]. Отчет NASA «Apollo Experience Report: Protection Against Radiation» (1973 г.) позволяет сопоставить советский опыт с американским по документу того же периода [15]. Современный международный контекст определяют обзоры С. Блунье с соавторами (2025 г.) о защите реголитом для лунных баз и Л. Нарици с соавторами (2026 г.) о состоянии дел в снижении радиационных рисков. Обе

работы показывают, что предложенная С. В. Кричевским классификация физических, биологических и организационных мер совпадает с независимо выработанной европейской систематикой [14; 16].

Литература по теме находится в трех слабо связанных между собой жанрах (обобщающая историко-техническая классификация, организационная память участников и специализированный ретроспективный обзор), но ни один из них не дает связного историко-технического нарратива о советском периоде 1960–1980-х годов в сопоставлении с зарубежным опытом. Настоящая статья опирается на данные всех трех направлений литературы и старается свести их в единую картину.

Методы исследования. В работе использовался историко-генетический метод, который позволил проследить формирование советской системы защиты от радиации (от организационного оформления направления (1960–1964 гг.) через создание технических и фармакологических решений (1965–1975 гг.) до нормативного закрепления системы в виде государственных стандартов (1983–1985 гг.)). Применялся историко-сравнительный метод для сопоставления советского и американского подходов к защите экипажей на материалах программ «Восток», «Союз», «Салют», с одной стороны, и «Аполлон» с другой. Использовался метод анализа нормативно-технической документации применительно к текстам Временных норм радиационной безопасности космических полетов (ВНРБ-75) и серии государственных стандартов ГОСТ 25645.201-83, 25645.204-83, 25645.214-85 и 25645.215-85.

Источниковую базу составили документы и публикации непосредственных участников событий 1960–1980-х годов, а именно статья Е. Е. Ковалева 1978 г. и коллективная монография «История отечественной космической медицины». В источниковую базу вошли нормативно-технические документы, т.е. четыре указанных государственных стандарта, а также вошли современные ретроспективные обзоры специалистов космической радиобиологии, которые реконструируют организационную историю по внутренним материалам отрасли

(А. В. Шафиркин, И. Б. Ушаков, М. В. Васин). Источниковая база включает обобщающую историко-техническую работу С. В. Кричевского, которая использована для верификации периодизации и классификации, а также включены зарубежный первоисточник (отчет NASA 1973 г.) и современные зарубежные обзоры, которые были привлечены для сравнительного анализа.

Отдельным методическим приемом стало сопоставление количественных нормативов (предельно допустимых доз, коэффициентов ослабления, толщины защиты), которые приводятся в разных источниках для одного и того же периода, что позволило выявить совпадения (сближение советских и американских дозовых пределов к 1964–1965 гг.) и различия (более высокая степень нормативной формализации советской системы к середине 1980-х годов).

Результаты. Отдел радиобиологических исследований, который стал впоследствии центром разработки средств защиты космонавтов, был организован в 1960 г. Первым его руководителем стал профессор П. П. Саксонов, заместителем назначен кандидат медицинских наук В. В. Антипов [6, с. 204]. На раннем этапе одной из задач отдела была радиобиологическая оценка будущих полетов человека, а исследования велись в содружестве с учреждениями Академии наук и Академии медицинских наук СССР. После полета Ю. А. Гагарина в экспериментах участвовали космонавты В. Ф. Быковский, Б. Б. Егоров, П. Р. Попович [6, с. 204].

Переломным для организационного оформления стал 1963 год. По свидетельству А. В. Шафиркина, в этом году в конструкторском бюро С. П. Королева проектировался корабль для полета на Марс, что поставило задачу расчета необходимой физической защиты и обоснования допустимых доз для полета длительностью до трех лет. 28 октября 1963 г. на основании постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР и приказа министра здравоохранения СССР был создан Институт медико-биологических проблем Минздрава СССР [13, с. 104]. В феврале 1964 г. в структуре института создается специальное подразделение (сектор № 3), в задачи которого входило обеспечение

радиационной безопасности длительных орбитальных полетов и перспективных полетов к Луне и Марсу [13, с. 104]. В начале 1960-х годов к работе присоединился Ю. Г. Григорьев, который стал вместе с коллегами из Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины и Института биофизики Минздрава СССР одним из основоположников космической радиобиологии как научного направления [10, с. 442].

Усложнение организационной структуры растянулось на десятилетие. Сектор № 3 превратился в специализированную службу, и только в 1975 г. Ю. Г. Григорьев создал Службу радиационной безопасности пилотируемых космических полетов [10, с. 442], которая, по описанию Е. Е. Ковалева, к концу десятилетия обслуживала действующие полеты, в частности, экспедицию на станции «Салют-6» [7, с. 30]. Организационная история направления прошла путь от рабочего отдела в 1960 году через специализированный сектор внутри нового института в 1964 году к самостоятельной оперативной службе в 1975 году. Приведенная последовательность предопределила технический характер решений на каждом из этапов.

Первая система обеспечения радиационной безопасности, которая была применена на кораблях «Восток» и «Восход», включала физическую защиту с помощью оболочки корабля и различных экранов, измерение интегральной дозы и мощности дозы на борту с индивидуальным дозиметрическим контролем и сигнализацией, биологическую дозиметрию космической радиации, медико-гигиенические мероприятия, в том числе методы фармакохимической профилактики и прогнозирование радиационной обстановки. Государственная комиссия признала систему корректной и вполне обеспечивающей безопасность [6, с. 209].

Физическое обоснование выбора предложенной конструкции защиты изложено Е. Е. Ковалевым. Галактические космические лучи по проникающей способности превосходят все виды излучения, кроме нейтрино, и для их полного

поглощения потребовался бы свинцовый экран толщиной около 15 м. Решение было очевидно неосуществимое для летательного аппарата [7, с. 23]. Конструкторы вынуждены были искать компромиссные решения. Наиболее естественным из них оказалось использование в качестве убежища на случай солнечной вспышки того отсека корабля, который и без того обладал повышенной степенью защищенности. При орбитальных полетах спускаемый аппарат корабля «Союз», который обладает значительной толщиной тепловой защиты, оказывался надежным радиационным убежищем без каких-либо дополнительных конструктивных доработок [7, с. 25].

Отдельного технического решения потребовала защита радиочувствительных органов (костного мозга и желудочно-кишечного тракта) от протонного и гамма-нейтронного излучения. Изучение патогенетических процессов привело к идее локальных экранов, для отработки которых понадобились исследования на ускорителе протонов в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне и на ядерных реакторах силами Б. Л. Разговорова, В. С. Шашкова, М. Д. Никитина, В. С. Морозова и Т. Ф. Осокиной [6, с. 206]. Позднее методика расчета экранированности точек внутри тела космонавта с учетом реальной конструкции корабля была формализована государственным стандартом, который определил защиту как «конструкцию космического аппарата (КА), его оборудование и специальное снаряжение, защищающее (экранирующее) космонавта от ионизирующего излучения» [3, разд. 1].

Важным испытанием физической защиты стало столкновение с рукотворным изменением радиационной обстановки. 8 июля 1962 г. над островом Джонстон в Тихом океане США провели мощный ядерный взрыв в верхних слоях атмосферы, что привело к образованию дополнительного пояса радиации неопределенного срока существования. Только спутниковое зондирование позволило установить, что к моменту пуска «Востока-3» и «Востока-4» интенсивность наведенного излучения на высотах полета снизилась до допустимых пределов [6, с. 209–210]. С той же проблемой столкнулась и

американская сторона. Собственное высотное ядерное испытание 1962 г. мощностью 1,5 мегатонны также искусственно подняло уровень радиации в поясах Ван Аллена, и, по данным отчета NASA, к 1969 г. количество внесенных электронов сократилось до одной двенадцатой от первоначального уровня 1962 г. [15, p. 4]. Обе программы решали в 1962–1963 гг. одну и ту же незапланированную инженерную задачу, а именно учет последствий собственных высотных ядерных испытаний при планировании траекторий пилотируемых полетов.

Поиск химических средств защиты от радиации в СССР опирался на мировую традицию, которая восходит к открытию Зеноном Баком в 1951 г. радиопротектора цистамина [11, с. 150]. Возглавивший в 1960 г. радиобиологический отдел П. П. Саксонов был видным радиационным фармакологом, что определило высокий уровень данного направления исследований. Коллектив в составе В. В. Антипова, М. В. Васина, Б. И. Давыдова, В. А. Козлова и В. С. Шашкова создал радиозащитные рецептуры для космических экипажей на случай мощной солнечной вспышки во время полета [6, с. 205].

Кульминацией работы стало открытие в 1974 г. нового радиозащитного средства из группы индолилалкиламинов, который получил впоследствии обозначение Б-190 (индралин). В отличие от известных протекторов, оно хорошо защищало обезьян и не оказывало побочного действия, которое бы снижало работоспособность оператора, как принятый на снабжение армии цистамин [6, с. 205]. М. В. Васин, один из непосредственных участников изучаемой работы, оставил подробное и весьма личное описание событий: «Как непосредственный участник данных событий, могу отметить, что препарат индралин, помеченный первоначально мною как препарат П-9, был одним из более 300 вновь синтезированных <…> производных биогенных аминов, проходивших скрининг на радиозащитную активность в Институте авиационной и космической медицины МО СССР» [1, с. 380]. По его же данным, решающий эксперимент был

поставлен на собаках, которые ранее пережили облучение в смертельной дозе 4 Гр. При повторном облучении в той же дозе на фоне профилактического введения индралина выжили все подопытные животные при стопроцентной смертности в контрольной группе [1, с. 381]. Синтез вещества принадлежал коллективу химиков под руководством профессора Н. Н. Суворова в Московском химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева, а окончательное подтверждение эффективности потребовало испытаний на 50-ти собаках и последующей серии опытов на обезьянах макака-резус в Сухумском институте экспериментальной патологии и терапии [1, с. 381].

Практически синхронно в США по сходной логике разрабатывался препарат WR-2721 (амифостин) в Научно-исследовательском институте им. Уолтера Рида, т.е. обе программы в 1970-е годы независимо друг от друга пришли к необходимости создания радиопротектора нового поколения, который действовал со 100% эффективностью на крупных животных при летальных дозах облучения [1, с. 380]. В последующие десятилетия арсенал фармакохимической защиты расширился за счет средства ранней терапии латрана (ондансетрона) и патогенетического средства нейпомакса, а также природных антиоксидантов и обогащенного флавоноидами питания, т.е. развитие пошло по пути дифференциации средств под определенные фазы лучевого поражения [11, с. 150].

Накопленный к середине 1970-х годов физиологический и клинический материал потребовал сведения его в единый нормативный документ. Такими стали Временные нормы радиационной безопасности космических полетов (ВНРБ-75), которые были утверждены Министерством здравоохранения СССР и определяли требования к радиационной защите при полетах длительностью до одного года [7, с. 34]. Е. Е. Ковалев обращает внимание на международный характер эмпирической базы документа: «в утвержденных нормативах воплощен обобщенный опыт обеспечения радиационной безопасности космических полетов, накопленный как в нашей стране, так и в США» [7, с. 36], поскольку при

разработке использовались клинические данные по лучевой терапии и данные комплексных экспериментов, которые получены в обеих странах.

Центральную часть ВНРБ-75 составляла таблица нормативных уровней радиации (НУР) в зависимости от длительности полета. Для одного месяца – 50 бэр, для трех месяцев – 80 бэр, для шести месяцев – 110 бэр, для двенадцати месяцев – 150 бэр на костный мозг при равномерном облучении всего тела, с поправочными коэффициентами 3 для кожи, 1,5 для хрусталика глаза и 0,5 для гонад при неравномерном облучении [7, с. 38]. Норматив включал и вероятностную составляющую. Надежность защиты пилотируемого летательного аппарата определялась вероятностью непревышения нормативного уровня радиации, причем во всех случаях она должна была быть не ниже 0,99 при доверительной вероятности 0,90 [7, с. 39]. Насколько реальные полеты укладывались в имеющиеся пределы, видно из примера. Доза облучения первого основного экипажа станции «Салют-6» не превысила примерно 1/27 нормативного уровня для трехмесячного полета [7, с. 38], а при 84-суточном полете на американской станции «Скайлэб» доза достигала 10–15 бэр против примерно 3 бэр за 96-суточный полет на «Салюте-6». Разницу Е. Е. Ковалев объясняет более низкой орбитой советской станции [7, с. 28].

Завершающим этапом нормативного оформления системы стало принятие в 1983–1985 гг. серии государственных стандартов ГОСТ 25645, разработкой которых занимался обширный коллектив специалистов, в том числе Е. Е. Ковалев и А. В. Шафиркин [2]. ГОСТ 25645.201-83 закрепил терминологический аппарат и определил, в частности, радиационную безопасность экипажа как состояние защищенности «по отношению к радиационному воздействию в период его профессиональной деятельности» [2, разд. 1]. ГОСТ 25645.204-83 установил алгоритм вычисления функций, которые характеризуют экранированность точек внутри тела космонавта, представленного тканеэквивалентным фантомом, с учетом конструкции защиты корабля [3, разд. 1]. ГОСТ 25645.214-85 закрепил математическую модель обобщенного радиобиологического эффекта, которая

включала расчет скорости смертности космонавта в зависимости от накопленной дозы и возраста [4, п. 4]. ГОСТ 25645.215-85 установил окончательные нормы безопасности для полетов длительностью до трех лет. Например, для восемнадцатимесячного полета предельно допустимая равноценная доза составляла 93,5 сЗв, а для тридцатишестимесячного составляла уже 162,5 сЗв [5]. Как отмечает А. В. Шафиркин, ключевое понятие «обобщенной дозы», которое впервые предложено в 1970 г., вошло в нормативный документ в 1983 г. в виде формулы H = D·КК·КВ·КР, где отдельные коэффициенты учитывали качество излучения, временную и пространственную неравномерность его воздействия [13, с. 105].

Сопоставление с американским опытом того же периода показывает сходство и различия в подходах. В 1964–1965 гг. на совместных астронавтических конгрессах советские и американские специалисты пришли к близким значениям пределов доз. В СССР предел дозы за одно солнечное протонное событие для кратковременных полетов был установлен на уровне 150 мЗв, доза оправданного риска установлена 500 мЗв на костный мозг, критическая доза равна 1,25 Зв. Для программы «Аполлон» была утверждена допустимая доза 250 мЗв и максимальная оперативная доза 500 мЗв на глубине 5 см [13, с. 104]. Реальные дозы, которые были получены экипажами «Аполлонов» (с 7-го по 15-й), оказались значительно ниже допустимых пределов, т.е. от 0,16 рад (Аполлон-7) до 1,14 рад (Аполлон-14) по кожной дозе при максимально допустимой оперативной дозе в 400 рад на кожу и 50 рад на кроветворные органы [15, p. 3]. Отличие состояло в том, что американская программа полагалась в первую очередь на оперативную стратегию, т.е. быстрое прохождение поясов Ван Аллена и правило солнечной вспышки, а советская сторона к середине 1980-х годов завершила формирование замкнутого нормативного контура, от терминологии и методики расчета экранированности до модели радиобиологического эффекта и итоговых норм безопасности, которые были оформлены в виде государственных

стандартов, т.е. перевела инженерное решение в категорию обязательного к применению отраслевого норматива.

Обсуждение полученных результатов. Периодизация С. В. Кричевского, согласно которой второй этап развития технологий защиты («разработка и испытания на Земле и в космосе новых методов… с 1960-х гг.») охватывает единым блоком три десятилетия вплоть до начала XXI в. [8, с. 156], нуждается, на основании рассмотренного материала, в уточнении применительно к СССР. Организационные и нормативные данные позволяют выделить внутри рассматриваемого периода три подэтапа. 1960–1963 гг. является доорганизационным этапом, когда работы велись силами одного вновь созданного отдела без специализированной структуры, 1963–1975 гг. – этап организационной консолидации, когда были созданы ИМБП, сектор № 3, разработан индралин и введены ВНРБ-75, и 1975–1985 гг. – этап нормативно-технической стандартизации, когда оперативная Служба радиационной безопасности и накопленный опыт полетов на «Салюте» были переведены в форму государственных стандартов. Приведенное уточнение не противоречит общей схеме С. В. Кричевского, но показывает, что советская история более дискретна, чем это следует из его обобщенной мировой периодизации.

Обращает на себя внимание и историографическое расхождение в оценке результата. С. В. Кричевский, который пишет с дистанции историка науки, характеризует решение проблемы защиты как идущее «медленно» на протяжении всей его истории, с сохраняющимся преобладанием пассивного экранирования [8, с. 154–157]. Участники же событий (авторы «Истории отечественной космической медицины» и Е. Е. Ковалев) описывают свою систему как признанную государственной комиссией «корректной и вполне обеспечивающей радиационную безопасность» [6, с. 209]. Имеющееся расхождение закономерно. Организационная память содержит успешное решение определенной инженерной задачи в конкретный момент, а ретроспективный историко-технический анализ оценивает всю траекторию

развития технологии на длинной дистанции, в том числе ее последующую стагнацию. Обе оценки не исключают друг друга. Советская система действительно была работоспособна и адекватна задачам своего времени, но не преодолела фундаментального ограничения (веса пассивной защиты), которое, как показывают расчеты С. Блунье с соавторами, не преодолено и полвека спустя. Экранирование дополнительным слоем лунного реголита толщиной 45 г/см² снижает эффективную эквивалентную дозу только с 291 до 213 мЗв в год, т.е. примерно на четверть, ценой значительного увеличения массы конструкции [14, p. 1].

Сближение советских и американских дозовых пределов уже к 1964–1965 гг., несмотря на отсутствие официального канала научного сотрудничества между странами в космической сфере, заслуживает отдельного объяснения. Наиболее вероятным представляется то, что оба норматива опирались на общий и в значительной степени универсальный массив клинических данных, прежде всего на последствия атомных бомбардировок и результаты лучевой терапии [13, с. 103]. Конвергенция нормативов в данном случае является не столько результатом заимствования, сколько следствие того, что радиобиологические закономерности поражения организма человека объективны и не зависят от политической системы, в рамках которой их изучают.

Необходимо указать и на ограничение проведенного анализа. Сопоставление с американским опытом опирается на единственный первоисточник (отчет NASA 1973 г.), а не на широкую американскую историографию радиационной защиты, доступ к которой затруднен теми же причинами, на которые указывает С. В. Кричевский применительно к российским архивам. Рассекречивание идет медленно как в России, так и в США, а важные документы о радиационных аспектах полетов «Аполлона» на Луну остаются труднодоступными исследователям [8, с. 151]. Организационная часть анализа опирается в основном на опубликованные воспоминания и обзоры непосредственных участников событий, но в меньшей степени затрагивает

первичные архивные материалы ИМБП, что, как и в исследованиях смежных историко-технических сюжетов, создает определенную зависимость от интерпретаций, которые уже предложены этими авторами.

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшая работа над темой предполагает несколько направлений. Первое связано с расширением источниковой базы за счет архивных фондов ИМБП и конструкторских бюро, поскольку, как отмечалось выше, доступные сегодня публикации в большей степени опираются на уже введенные в оборот другими исследователями материалы. Второе направление связано с более полным сопоставлением с американской программой на основе широкого круга англоязычных источников, что позволило бы точнее оценить, в какой мере сближение нормативов 1964–1965 гг. было следствием параллельного развития. Третье направление касается персональной истории рядового технического персонала, который обеспечивал дозиметрический контроль. В «Истории отечественной космической медицины» перечислены имена нескольких десятков младших научных сотрудников и лаборантов (С. Н. Комаровой, Л. А. Ивановой, Л. А. Семеновой, М. С. Афониной, О. Е. Давыдовой, Н. А. Радукан, И. В. Рогачевой, М. М. Зубрицкой, Г. И. Фаеновой), чей вклад в успех работы отдела признается составителями монографии, но никогда не становился предметом отдельного исследования [6, с. 210]. Заслуживает специального изучения история нереализованных технологических решений, например, предложенной К. А. Трухановым в 1970 г. активной магнитной защиты космических кораблей, которые остались на уровне проекта и не были внедрены в практику [8, с. 157], что позволило бы дополнить историю успешных решений историей путей, которые были отвергнуты по инженерным или экономическим причинам.

Заключение. Проведенный анализ показывает, что за период с 1960 по 1985 гг. в СССР была выстроена трехкомпонентная система защиты человека от космической радиации, которая включала физическую защиту (от корпуса корабля как первичного экрана до локальных экранов костного мозга и

желудочно-кишечного тракта), биолого-фармакологическую защиту (от скрининга производных биогенных аминов до создания радиопротектора экстренного действия Б-190) и нормативно-организационную защиту (от Временных норм 1975 г. до полноценной серии государственных стандартов ГОСТ 25645, которая принята в 1983–1985 гг.). Организационной основой процесса стали созданный в 1963 г. Институт медико-биологических проблем и выросшая из его сектора № 3 к 1975 г. самостоятельная Служба радиационной безопасности пилотируемых космических полетов.

Количественное сопоставление с американской программой «Аполлон» показывает, что при сравнимых дозовых пределах, которые были согласованы к 1964–1965 гг., советская сторона к середине 1980-х годов пришла к более полной нормативной формализации проблемы и закрепила ее решение в виде обязательных государственных стандартов, что стало редким для мировой практики того времени случаем доведения инженерно-медицинской задачи до уровня отраслевого норматива с математической моделью радиобиологического эффекта.

Вместе с тем, достигнутая технологическая и нормативная зрелость не означала полного решения проблемы. Двойственность результата не была случайной. Она коренилась в физическом ограничении, которое не удалось преодолеть советским и впоследствии американским и европейским специалистам, в непропорционально большой массе вещества, необходимой для сколько-нибудь значимого ослабления галактических космических лучей. Поэтому большое нормативно-технологическое достижение (создание работоспособной, признанной государственной комиссией системы защиты для орбитальных станций) сочеталось с сохранением фундаментальной уязвимости человека при выходе за пределы магнитосферы Земли, уязвимости, которая, как показывают современные расчеты для лунных баз, остается практически столь же острой и сорок лет спустя.

Список литературы

1. Васин, М. В. Препарат Б-190 (индралин) в свете истории формирования представлений о механизме действия радиопротекторов / М. В. Васин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Т. 60, № 4. – С. 378–395.

2. ГОСТ 25645.201–83. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Термины и определения. – Введ. 1985-01-01.

3. ГОСТ 25645.204–83. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Методика расчета экранированности точек внутри фантома. – Введ. 1985-01-01.

4. ГОСТ 25645.214–85. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Модель обобщенного радиобиологического эффекта. – Введ. 1987-01-01.

5. ГОСТ 25645.215–85. Безопасность радиационная экипажа космического аппарата в космическом полете. Нормы безопасности при продолжительности полетов до трех лет. – Введ. 1987-01-01.

6. История отечественной космической медицины : по материалам военно-медицинских учреждений / И. Б. Ушаков, В. С. Бедненко, Г. П. Ступаков [и др.] ; под общ. ред. И. Б. Ушакова [и др.]. – Москва : ГосНИИ военной медицины ; Воронеж : Воронежский государственный университет, 2001. – 319 с.

7. Ковалев, Е. Е. Защита экипажей от ионизирующей радиации / Е. Е. Ковалев // Космическая медицина и биология. – Москва : Знание, 1978. – С. 21–39.

8. Кричевский, С. В. Краткая история технологий защиты людей от радиации в космосе в России и мире в XX – начале XXI в. / С. В. Кричевский // Вопросы истории естествознания и техники. – 2025. – Т. 46, № 1. – С. 146–165.

9. Самойлов, А. С. Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полетах: мониторинг и защита / А. С. Самойлов, И. Б. Ушаков, В. А. Шуршаков // Экология человека. – 2019. – Т. 26, № 1. – С. 4–9.

10. Ушаков, И. Б. Радиобиологический марафон Юрия Григорьевича Григорьева / И. Б. Ушаков // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Т. 60, № 4. – С. 441–445.

11. Ушаков, И. Б. Фармакохимическая защита в дальнем космосе: современный взгляд / И. Б. Ушаков, М. В. Васин // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2019. – Т. 59, № 2. – С. 150–160.

12. Хаффнер, Дж. Ядерное излучение и защита в космосе / Дж. Хаффнер ; сокр. пер. с англ. Ю. И. Колесникова ; под ред. Е. Е. Ковалева. – Москва : Атомиздат, 1971. – 320 с.

13. Шафиркин, А. В. Почти 70-летний опыт космической радиобиологии для оценки радиационных рисков в процессе космических полетов и суммарного радиационного риска в течение жизни космонавтов в результате полета на Марс / А. В. Шафиркин // Медицинская физика. – 2026. – № 2 (110). – С. 100–122.

14. Blunier, S. Regolith-based lunar habitat for astronaut radiation protection and organ dose assessment / S. Blunier, D. Athanasopoulos, C. Dittmar [et al.] // Planetary and Space Science. – 2025. – Vol. 261. – Art. 106116. – P. 1–10.

15. English, R. A. Apollo Experience Report. Protection Against Radiation / R. A. English, R. E. Benson, J. V. Bailey, C. M. Barnes. – Washington, D.C. : National Aeronautics and Space Administration, 1973. – IV, 15 p.

16. Narici, L. Radiation risk mitigation in human space exploration: a primer, a vision, and the state of the art / L. Narici, G. Baiocco, G. Cenci [et al.] // The European Physical Journal Plus. – 2026. – Vol. 141. – Art. 100. – P. 1–35.

References

1. Vasin, M. V. Preparat B-190 (indralin) v svete istorii formirovaniya predstavlenii o mekhanizme deistviya radioprotektorov / M. V. Vasin // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2020. – T. 60, № 4. – S. 378–395.

2. GOST 25645.201–83. Bezopasnost' radiatsionnaya ekipazha kosmicheskogo apparata v kosmicheskom polete. Terminy i opredeleniya. – Vved. 1985-01-01.

3. GOST 25645.204–83. Bezopasnost' radiatsionnaya ekipazha kosmicheskogo apparata v kosmicheskom polete. Metodika rascheta ekranirovannosti tochek vnutri fantoma. – Vved. 1985-01-01.

4. GOST 25645.214–85. Bezopasnost' radiatsionnaya ekipazha kosmicheskogo apparata v kosmicheskom polete. Model' obobshchennogo radiobiologicheskogo effekta. – Vved. 1987-01-01.

5. GOST 25645.215–85. Bezopasnost' radiatsionnaya ekipazha kosmicheskogo apparata v kosmicheskom polete. Normy bezopasnosti pri prodolzhitel'nosti poletov do trekh let. – Vved. 1987-01-01.

6. Istoriya otechestvennoi kosmicheskoi meditsiny : po materialam voenno-meditsinskikh uchrezhdenii / I. B. Ushakov, V. S. Bednenko, G. P. Stupakov [i dr.] ; pod obshch. red. I. B. Ushakova [i dr.]. – Moskva : GosNII voennoi meditsiny ; Voronezh : Voronezhskii gosudarstvennyi universitet, 2001. – 319 s.

7. Kovalev, E. E. Zashchita ekipazhei ot ioniziruyushchei radiatsii / E. E. Kovalev // Kosmicheskaya meditsina i biologiya. – Moskva : Znanie, 1978. – S. 21–39.

8. Krichevskii, S. V. Kratkaya istoriya tekhnologii zashchity lyudei ot radiatsii v kosmose v Rossii i mire v XX – nachale XXI v. / S. V. Krichevskii // Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. – 2025. – T. 46, № 1. – S. 146–165.

9. Samoilov, A. S. Radiatsionnoe vozdeistvie v orbital'nykh i mezhplanetnykh kosmicheskikh poletakh: monitoring i zashchita / A. S. Samoilov, I. B. Ushakov, V. A. Shurshakov // Ekologiya cheloveka. – 2019. – T. 26, № 1. – S. 4–9.

10. Ushakov, I. B. Radiobiologicheskii marafon Yuriya Grigor'evicha Grigor'eva / I. B. Ushakov // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2020. – T. 60, № 4. – S. 441–445.

11. Ushakov, I. B. Farmakokhimicheskaya zashchita v dal'nem kosmose: sovremennyi vzglyad / I. B. Ushakov, M. V. Vasin // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 2019. – T. 59, № 2. – S. 150–160.

12. Khaffner, Dzh. Yadernoe izluchenie i zashchita v kosmose / Dzh. Khaffner ; sokr. per. s angl. Yu. I. Kolesnikova ; pod red. E. E. Kovaleva. – Moskva : Atomizdat, 1971. – 320 s.

13. Shafirkin, A. V. Pochti 70-letnii opyt kosmicheskoi radiobiologii dlya otsenki radiatsionnykh riskov v protsesse kosmicheskikh poletov i summarnogo radiatsionnogo riska v techenie zhizni kosmonavtov v rezul'tate poleta na Mars / A. V. Shafirkin // Meditsinskaya fizika. – 2026. – № 2 (110). – S. 100–122.

14. Blunier, S. Regolith-based lunar habitat for astronaut radiation protection and organ dose assessment / S. Blunier, D. Athanasopoulos, C. Dittmar [et al.] // Planetary and Space Science. – 2025. – Vol. 261. – Art. 106116. – P. 1–10.

15. English, R. A. Apollo Experience Report. Protection Against Radiation / R. A. English, R. E. Benson, J. V. Bailey, C. M. Barnes. – Washington, D.C. : National Aeronautics and Space Administration, 1973. – IV, 15 p.

16. Narici, L. Radiation risk mitigation in human space exploration: a primer, a vision, and the state of the art / L. Narici, G. Baiocco, G. Cenci [et al.] // The European Physical Journal Plus. – 2026. – Vol. 141. – Art. 100. – P. 1–35.

Статья поступила в редакцию 04.06.2026; одобрена после рецензирования 16.07.2026; принята к публикации 09.10.2026.

The article was submitted 04.06.2026; approved after peer review 16.07.2026; accepted for publication 09.10.2026.