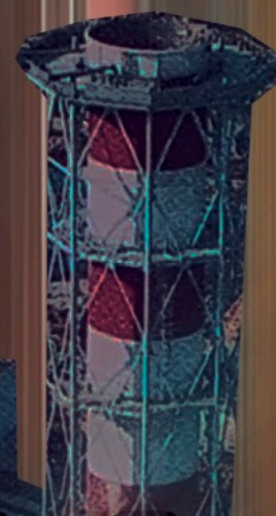


М.А.Пронин, С.К.Солдатов



**МАЛЫЕ  
ДОЗЫ  
РАДИАЦИИ  
И ЗДОРОВЬЕ  
ЛЁТЧИКОВ**



М.А.Пронин, С.К.Солгатов

# МАЛЫЕ ДОЗЫ РАДИАЦИИ И ЗДОРОВЬЕ ЛЁТЧИКОВ



МОСКВА  
ФИЗМАТЛИТ®  
2023

УДК 615.849  
ББК 28.071  
П 81

*Издание осуществлено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации № НШ-2553.2020.8*

Пронин М. А., Солдатов С. К. **Малые дозы радиации и здоровье лётчиков** / Под ред. академика РАН И. Б. Ушакова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2023. — 232 с. — ISBN 978-5-9221-1964-1.

В монографии изложены результаты многолетних комплексных экспертно-прогностических исследований воздействия малых доз радиации на здоровье вертолётчиков — ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Рассмотрены ближайшие и отдаленные последствия в состоянии психосоматического здоровья вертолётчиков, описаны нарушения в системах кроветворения, иммунного и психофизиологического статусов. Обоснованы предельно допустимые уровни радиационного воздействия, предложены диагностические модели для рассматриваемых радиационных ситуаций.

Монография предназначена специалистам в области радиационной медицины, медицинским работникам, занимающимся вопросами организации медицинского обеспечения по предупреждению и ликвидации последствий радиационных аварий, а также научным работникам, специализирующимся в области радиобиологии, медицины труда, авиационной медицины и экологии человека.

Рецензенты:

заслуженный деятель науки РФ  
доктор медицинских наук, профессор  
*Владимир Иванович Легеза*

заслуженный работник высшей школы РФ  
доктор медицинских наук, профессор  
*Николай Алексеевич Смирнов*

ISBN 978-5-9221-1964-1

© ФИЗМАТЛИТ, 2023

© М. А. Пронин, С. К. Солдатов, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к книге . . . . .	6
Введение . . . . .	9
Сокращения . . . . .	18
<b>Часть I. Ближайшие последствия острых радиационных поражений у вертолетчиков</b>	
Предисловие к части I . . . . .	21
<b>Глава 1. Ближайшие соматические последствия острых радиационных поражений (взгляды на момент катастрофы на Чернобыльской АЭС) . . . . .</b>	<b>24</b>
1.1. Значение радиационных поражений для военного и гражданского здравоохранения . . . . .	24
1.2. Ближайшие последствия острых радиационных поражений . . . . .	27
1.3. Острые поражения в диапазоне доз менее 1 Гр . . . . .	32
1.4. Математико-статистические подходы к классификации пораженных малыми дозами ионизирующих излучений . . . . .	35
<b>Глава 2. Характеристика обследованных вертолетчиков и методы обследования . . . . .</b>	<b>39</b>
2.1. Материалы исследования . . . . .	39
2.2. Клинико-инструментальные методы исследования . . . . .	44
2.3. Методы математико-статистического анализа материалов исследований . . . . .	48
<b>Глава 3. Медико-радиологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС и клиническая характеристика обследованных . . . . .</b>	<b>50</b>
3.1. Медико-радиологическая характеристика аварии на ЧАЭС . . . . .	50
3.2. Клиническая характеристика обследованных . . . . .	55

<b>Глава 4. Состояние некоторых функциональных систем организма и работоспособности летного состава в ближайший период работы на радиоактивно-загрязненной местности . . . . .</b>	<b>59</b>
4.1. Реакция периферической крови и некоторых иммунологических и биохимических показателей . . . . .	60
4.1.1. Связь изменений форменных элементов периферической крови, иммунологических и биохимических сдвигов у летного состава с воздействием радиационных и нерадиационных факторов . . . . .	60
4.1.2. Временная динамика изменения лабораторных анализов периферической крови . . . . .	63
4.1.3. Заключение . . . . .	72
4.2. Функциональное состояние кардио-респираторной системы и физическая работоспособность летного состава . . . . .	74
4.2.1. Изменения в функциональном состоянии кардио-респираторной системы организма и физической работоспособности, связанные с дозой внешнего облучения . . . . .	75
4.2.2. Связь изменений функционального состояния кардио-респираторной системы и физической работоспособности с продолжительностью облучения . . . . .	76
4.2.3. Значение напряженности летной деятельности для функционального состояния кардио-респираторной системы организма и физической работоспособности вертолетчиков . . . . .	78
4.2.4. Профессиональные факторы и изменения в состоянии кардио-респираторной системы организма и работоспособности летного состава . . . . .	79
4.2.5. Влияние исходного состояния организма на выявляемые изменения в функционировании кардио-респираторной системы и работоспособности летного состава после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности . . . . .	82
4.2.6. Временная динамика выявленных расстройств . . . . .	85
4.2.7. Заключение . . . . .	88
4.3. Резюме . . . . .	94
<b>Глава 5. Классификация пораженных при внешнем воздействии малых доз ионизирующих излучений методами многомерного статистического анализа . . . . .</b>	<b>98</b>
5.1. Методология политетической классификации. . . . .	98
5.2. Методика классификации . . . . .	102

---

5.3. Классификация пораженных и ее результаты . . . . .	105
5.4. Обсуждение результатов классификации . . . . .	110
<b>Глава 6. Моделирование уровня воздействия внешнего облучения на функциональное состояние организма летного состава вертолетов на основе дискриминантного анализа . . . . .</b>	<b>127</b>
6.1. Комплекс диагностических моделей на основе показателей лабораторных исследований крови . . . . .	128
6.2. Комплекс диагностических моделей на основе показателей состояния сердечно-сосудистой системы . . . . .	131
Заключение . . . . .	133
Выводы . . . . .	144

**Часть II. Результаты многолетнего мониторинга последствий острых радиационных поражений у вертолетчиков**

<b>Глава 7. Психосоматические изменения у вертолетчиков как критерий оценки влияния комплекса факторов Чернобыльской аварии на здоровье ликвидаторов . . . . .</b>	<b>147</b>
7.1. Динамика постстрессовых изменений показателей психофизиологического здоровья вертолетчиков, участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (1986–1996 гг.) . . . . .	147
7.1.1. Анализ заболеваемости до и после аварии . . . . .	148
7.1.2. Динамика гематологических показателей . . . . .	155
7.1.3. Связь показателей периферической крови с воздействием радиационных и нерадиационных факторов . . . . .	161
7.2. Оценка иммунологических и цитохимических показателей . . . . .	165
7.3. Характер изменений метаболизма нейтрофильных гранулоцитов и лимфоцитов крови . . . . .	177
7.4. Особенности психоневрологических нарушений у ликвидаторов в ближайший и отдаленный периоды после чернобыльской аварии . . . . .	182
7.5. Обсуждение результатов изменений психофизиологического здоровья участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, наблюдаемые в поставарийный период . . . . .	196
Послесловие. « <b>Стандартный/условный ликвидатор</b> »: к фундаментальным итогам и перспективам настоящей работы . . . . .	204
Список литературы . . . . .	213
Сведения об авторах . . . . .	231

## Предисловие к книге

Основной целью настоящего труда явилось обобщение научных данных и результатов многолетнего мониторинга состояния здоровья летного состава вертолетов (ЛС), участвовавшего в ликвидации последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС).

Впервые специалистами Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины (ГНИИИ АиКМ) Минобороны России и Центрального военного научно-исследовательского авиационного госпиталя (ЦВНИАГ) осуществлено обследование сравнительно однородной по возрасту, полу, условиям профессиональной деятельности, периоду аварии группы людей, подвергшихся внешнему относительно равномерному облучению и внутреннему радиоактивному заражению в диапазоне малых доз.

На основании анализа связей и сопоставления рядов динамики первичных и расчетных показателей, характеризующих состояние основных физиологических систем организма, установлена группа информативных показателей в каждом виде диагностических исследований в определенные сроки после облучения. Выявлены изменения в организме, связанные с радиационными и/или нерадиационными факторами, определены весовые вклады этих факторов в описанные изменения.

Разработана классификация функционального состояния организма при воздействии доз внешнего облучения (от 0,1 до 0,5 Гр). На основе методов многомерного статистического анализа выделены две группы, достоверно различающиеся между собой по ряду параметров крови и состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) в зависимости от уровня полученной дозы, граница которой между группами составляет 0,3 Гр. Для экспресс-диагностики выделенных групп в ранние сроки после облучения построены модели на основе дискриминантного анализа с учетом воздействия на вышеуказанные системы организма. Впервые предложены диагностические правила биологической дозиметрии, основанные на показателях состояния ССС.

Анализ состояния кардио-респираторной системы (КРС), картины периферической крови, иммунологического и биохимического статуса людей в различные сроки после работы в чрезвычайных условиях и облучения позволил разработать диагностические критерии поражения в диапазоне облучения до 0,5 Гр по данным лабораторных и инстру-

ментальных исследований и предложить радиологические нормативы по облучению ЛС, работающего на загрязненной местности.

Критерии и модели, положенные в основу классификационной схемы поражений, пригодны для разработки автоматизированной системы ранней клинико-лабораторной экспресс-диагностики поражения малыми дозами ионизирующих излучений (ИИ).

В настоящей монографии сделана попытка систематизировать и обобщить и эмпирический клинический материал, и существующие методологические подходы к диагностике и оптимизации ФС «ликвидатора» с единых системных позиций.

В первой части изложены результаты исследования ближайших последствий радиационных поражений ЛС с первых суток до первого года с начала поражения.

Во второй части изложены результаты многолетнего мониторинга последствия острых радиационных поражений у ЛС.

При изложении материала мы старались не использовать узкоспециальных терминов, чтобы сделать изложение материала понятным специалистам различных областей знаний: врачам, инженерам, психологам и др.

Мы благодарны доктору медицинских наук профессору С.А. Бугрову, академику Российской академии образования доктору медицинских наук профессору В.А. Пономаренко за оказанное нам доверие и неоценимую помощь при организации мероприятий по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в 1986–1990 гг. и постоянный профессиональный интерес к нашим работам в постчернобыльский период.

Мы искренне признательны рецензентам: доктору медицинских наук профессору В.И. Легезе, доктору медицинских наук профессору Н.А. Смирнову, — за внимательное изучение материалов монографии и высказанные ценные замечания и предложения.

Выражаем благодарность сотрудникам ГНИИИ АиКМ, принимавших непосредственное участие в работах по медико-дозиметрическому обследованию вертолетчиков — участников ЛПА на ЧАЭС, Б.И. Давыдову, В.С. Тихончуку, М.В. Васину, А.А. Галкину, В.Н. Карпову, В.Г. Зуеву, А.А. Марьяновскому, А.Н. Гайдамакину, Л.А. Семеновой, Л.В. Королевой, М.М. Абрамову, Т.С. Львовой, И.Г. Длусской, В.М. Звоникову, А.Б. Стрельченко, С.Н. Комаровой, М.С. Афонинной, а также осуществлявшим редактирование этой книги Н.И. Арлащенко, О.М. Рыжовой, Н.Ю. Окуновой. Выражаем благодарность руководству, врачам и персоналу ЦВНИАГ, проводивших прием и наблюдение за облученными вертолетчиками в ранние и отдаленные сроки после аварии: А.П. Иванчикову, И.А. Сидельникову, В.И. Коледенку,



В.П. Захарову, А.П. Козловскому, Р.В. Беледе, В.Я. Колягину, Е.Е. Николаевскому, А.Н. Болтикову, А.В. Пулику, Ю.М. Деревянко.

Мы искренне признательны члену-корреспонденту АМН СССР, РАМН Г.И. Алексееву и К.Я. Журковичу — научным руководителям диссертационного исследования М.А. Пронина. А также сотрудникам Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова: Л.Е. Полякову, В.И. Кувакину (кафедра автоматизации управления медицинской службой с военно-медицинской статистикой); А.М. Никифорову, Ю.Н. Шишмареву (кафедра военно-полевой терапии); В.Д. Куликову, С.Т. Сергееву, С.В. Плотниковой (главный вычислительный центр); коллегам-врачам И.А. Горину, В.В. Ващенкоу и И.А. Лаврентьеву, внесшим значительный вклад в поддержку и реализацию многолетнего исследования. Только работа над подготовкой материалов этого исследования, его кодировкой, формированием массива данных, статистической обработкой заняли 4 года.

Самые теплые слова благодарности адресуем академику РАН И.Б. Ушакову — участнику чернобыльских событий, непосредственному организатору и руководителю работ по наблюдению за летчиками — участниками ЛПА, любезно согласившемуся стать научным редактором монографии.

Искренне надеемся, что представляемая книга будет интересна широкому кругу специалистов, занимающихся вопросами радиобиологии человека, оказания медицинской помощи пострадавшим при радиационных авариях: и врачам-радиологам, и организаторам здравоохранения, занятым санитарно-гигиеническим контролем в районах размещения АЭС и других объектов ядерной энергетики.

## Введение

26 апреля 1986 г. на 4-м блоке ЧАЭС произошла авария, сопровождавшаяся большими разрушениями и выбросом из активной зоны реактора в окружающую среду радиоактивных продуктов ядерного деления. Внезапность произошедшего события, имевшего к тому же трагические последствия, включая человеческие жертвы, придает случившемуся бедствию статус катастрофы.

По определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) катастрофой следует считать ситуацию, представляющую неожиданную, серьезную и непредвиденную угрозу для здоровья общества (жизни человека). К катастрофическим последствиям (с медицинской точки зрения) обычно относят те явления, которые существующая в государственном масштабе система медицинской помощи не в состоянии преодолеть ни в первый момент, ни в течение последующего периода без использования соответствующих специальных сил и средств. Для нашей страны авария на Чернобыльской АЭС переросла в экологическую и социально-политическую катастрофу, потребовавшую от государства огромных экономических затрат и организационных усилий, ликвидация последствий которой заняла не одно десятилетие.

Авария на Чернобыльской АЭС разделила век ядерной энергетики и всех смежных с ней наук и дисциплин, связанных с медицинскими и социальными аспектами, на периоды до и после трагедии. Согласно международной оценке событий на АЭС эта авария отнесена к разряду глобальных, поскольку сопровождалась выбросом в окружающую среду массы радиоактивных продуктов, накопленных в активной зоне, и загрязнением радиоактивными осадками больших территорий, включающих более чем одну страну [72]. По данным ВОЗ в результате аварии на Чернобыльской АЭС из реактора было выброшено в окружающую среду радиоактивных материалов в 200 раз больше, чем их освободилось после взрыва атомных бомб, сброшенных на Хиросиму и Нагасаки [181]. Радиоактивные осадки выпали в основном на территории Европейской части бывшего СССР, причем произошел и трансграничный перенос значительных количеств радионуклидов [73]. Были превышены дозовые пределы для запроектных аварий, в результате чего возникли условия для острых лучевых поражений людей в первое время и для хронического воздействия радиации на людей, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях, и экосистему в целом в последующие годы после аварии.

Дозы, полученные участниками ликвидации последствий аварии, формировались как за счет внешнего, так и внутреннего облучения, а у жителей, эвакуированных из 30-километровой зоны, — в результате воздействия проходившего радиоактивного облака и выпадений радиоактивных осадков. В дальнейшем дозообразование у населения, проживающего на радиоактивной местности, формировалось в основном за счет внутреннего облучения при поступлении радионуклидов с пищевыми продуктами и водой. В первые дни после аварии радиоактивные изотопы йода представляли собой основные дозообразующие радионуклиды, которые обусловили формирование дозовых нагрузок на щитовидную железу.

Таким образом, специфика радиационного поражения людей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, заключалась в сочетанном воздействии не только внешнего гамма-бета-излучения в результате выпадения радионуклидов в атмосферу, на поверхность земли, водоемов, травяной покров и непосредственно на кожу пострадавших, но и внутреннего альфа-бета-гамма-облучения вследствие ингаляционного и перорального поступления и депонирования радионуклидов в органах человека.

Отмечая особенности течения патологических процессов у людей, пострадавших в результате чернобыльской катастрофы, особенно у тех из них, кто принимал участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в 1986 и 1987 гг., некоторые исследователи основным этиологическим фактором, вызывающим возникновение у этих людей психических расстройств, сердечно-сосудистой патологии, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, считают хронический эмоциональный стресс, протекающий на фоне действия малых доз ионизирующего излучения [127]. Надо признать, что в первое время после аварии влияние эмоционального стресса на психосоматическое состояние пострадавших несомненно было весьма значительным. Исследованиями [134] было убедительно показано, что первоначальные посттравматические нервно-психические стрессовые расстройства, вызванные психотравмирующими факторами аварии, трансформируются в органические психические расстройства. Очевидно, что влияние эмоционального стресса играло важную роль в эскалации психосоматических расстройств раннего поставарийного периода. Следует, однако, расценивать это влияние как действие фактора, усугубляющего картину психофизиологических нарушений здоровья людей, пострадавших в результате воздействия ионизирующего излучения. В более поздние сроки главным фактором следует признать хроническое воздействие радиации, ибо, согласно общепринятой концепции развития

адаптационного синдрома в ответ на действие повреждающих факторов среды, ионизирующее излучение, являясь травмирующим фактором, неизбежно само по себе должно вызвать ответную неспецифическую стрессовую реакцию организма.

Под воздействием небольших доз хронического ионизирующего излучения возможен срыв адаптивной деятельности лимбико-ретикулярного комплекса, в результате чего развивается дизадаптивный синдром, выражающийся целым рядом психосоматических расстройств, а также вегетативно-сосудистой дисфункцией: вегетативно-сосудистой и нейрорегуляторной дистонией, артериальной гипертензией, вегетативно-сосудистыми пароксизмами, эмоциональной неустойчивостью, нарушением терморегуляции, эндокринными и обменными расстройствами. У ликвидаторов часто выявляются психопатические состояния, характеризующиеся главным образом астенической симптоматикой, неврозоподобными расстройствами, угнетенностью или повышенной тревожностью, нарушением сна, депрессией, апатией, нарушениями профессиональной работоспособности, сопровождающимися ухудшением обучаемости, слуховой, речевой и зрительной форм памяти.

Существуют данные, свидетельствующие о стимулирующем характере облучения животных от внешних источников ионизирующего излучения. Экспериментальные исследования, проведенные в области низкоинтенсивного облучения [155], выявили двойственный характер воздействия ионизирующего излучения, предполагающий возможность не только патогенного, канцерогенного, мутагенного, но и саногенного, гормезисного, адаптогенного эффектов. Стимулирующие эффекты внешнего облучения можно наблюдать в районах близкого залегания у поверхности Земли урановых руд, ториевых, так называемых *монацитовых* песков, выхода на поверхность радоновых источников. Радиационный фон может превышать в этих районах среднее значение в 20, 100 и даже 1000 раз. Здесь существуют богатая флора и фауна, издавна живут люди. Многолетние тщательные исследования этих регионов не выявили никаких отклонений в состоянии жизнедеятельности растений, животных и человека. Учитывая существование стимулирующих эффектов внешнего облучения малыми дозами радиации, имеются все основания надеяться на реальность подобного события также в отношении эффектов внутреннего облучения, если учесть к тому же данные экспериментальных исследований [128], которые показали, что у животных, получавших очень малые количества радионуклидов, часто отмечалось увеличение продолжительности жизни, несмотря на рост у них числа опухолей, в том числе злокачественных.

Существует достаточно широко распространенная точка зрения, что последствия Чернобыля для здоровья человека не такие уж и серьезные, что большую опасность для населения представляет распространявшаяся на Украине, в России и Белоруссии после Чернобыльской катастрофы радиофобия. В то же время факты, полученные в результате экспериментального изучения закономерностей внешнего воздействия низкоинтенсивных малых доз ионизирующего излучения, не могут объяснить всего многообразия неблагоприятных последствий поражения продуктами ядерного деления, особенностей течения возникающих и усугубляющихся во времени нарушений здоровья людей, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. Для того чтобы получить истинную масштабную картину радиационной катастрофы конца XX столетия, необходимо продолжать наблюдения за состоянием здоровья участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, исследовать отдаленные последствия воздействия *радиационного экологического стресса* на организм человека.

Необходимо признать, что авария на ЧАЭС положила начало новому этапу развития медицинской радиобиологии и радиоэкологии, связанному с изучением последствий облучения участников ликвидации ее последствий. Остается надеяться, что корректное представление о произошедших на ЧАЭС катастрофических событиях и их возможных последствиях может способствовать решению вопросов улучшения радиоэкологии человека, обеспечению необходимого качества жизни для пострадавших членов сообщества, сохранению здоровья нынешнего и будущего поколений людей.

\* \* \*

Следует понимать, что полные последствия чернобыльской катастрофы и сегодня до конца не известны, наукой не изучены и человечеством не поняты — не отрефлексированы, политиками не осознаны как специфический объект для социально-экономического управления. Ее последствия, увы, неисчерпаемы как атом, если уместно использовать такую метафору. Приведенные в настоящей работе систематизированные и обобщенные результаты научных исследований специфичной и уникальной в плане организации многолетнего медицинского наблюдения за здоровьем группы ликвидаторов — советских летчиков вертолетной авиации, принимавших участие ЛПА с первых ее дней до свертывания военной группировки войск в 30-километровой зоне, — вносят существенный вклад в эволюцию/развитие современных научных представлений о последствиях острого лучевого воздействия в малых дозах и радионуклидного поражения на радиоактивно загрязненной/зараженной местности.

Философия определения понятия «малые дозы», в частности радиации, всегда методологически опиралась на выявление значимых медико-биологических эффектов/последствий воздействия и установление соответствующих им дозовых значений. Выраженность эффекта/последствий оценивается либо как «биологически оправданная» ввиду их от приходящего, транзиторного до нозологического характера, не приводящего с стойким нарушениям и расстройствам, и тогда наука имеет моральное право продолжать говорить о «малых дозах» радиационного воздействия, либо, когда клиническая манифестация свидетельствует о радиационных поражениях, ситуация переводит представления науки на язык клиники внутренних болезней, тогда речи о так называемых «малых дозах» радиации уже быть не может. Выявление до нозологических проявлений воздействий ИИ требует специально организованного научно-исследовательского процесса (программы). К сожалению, эпидемиологическая методология в подобных случаях требует больших организационных и финансовых затрат на регулярную диспансеризацию/обследование, функционирование работоспособных информационных систем, четкое межведомственное взаимодействие и прочих вполне очевидных усилий по агрегации первичных данных из историй болезней/медицинских карт поликлинического учета, которые не были бы возможны без принятия законов СССР/Российской Федерации, указов Президента РФ, постановлений Правительства РФ и приказов министерств (здравоохранения, минсоцразвития, обороны, внутренних дел и пр.).

На момент катастрофы на ЧАЭС ни такой системы, ни существующих ныне радиационно-эпидемиологических регистров не было. Хотя достаточно оперативно, уже в июне 1986 г. в целях решения проблемы минимизации медицинских последствий для облученного населения Минздравом СССР была принята программа по созданию Всесоюзного распределительного регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС (ВРР), головная организация которого была образована на базе вычислительного центра НИИ медицинской радиологии АМН СССР (г. Обнинск). В свою очередь научно-исследовательский отдел «Всеармейский регистр» как структурное подразделение Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова был образован на основании приказа заместителя Министра обороны СССР — начальника Тыла Вооруженных Сил — №117 от 15 декабря 1986 г. в связи с аварией на ЧАЭС для персонального учета военнослужащих-ликвидаторов и полученных ими доз радиационного воздействия. Были организованы ведомственные регистры МВД СССР, позднее МЧС России и ФМБА России. Налицо временной разрыв

между моментом катастрофы — началом облучения — и началом всего комплекса работ по медико-эпидемиологическому наблюдению за состоянием здоровья: если для ликвидаторов, жителей из зоны эвакуации и пр. категорий граждан, пострадавших вследствие чернобыльской катастрофы, он составил месяцы или несколько лет, то для подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии в 1957 г. на производственном объединении «Маяк» и сбросов радиоактивных отходов в реку Теча (вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне) ветеранов подразделений особого риска данный разрыв занял десятилетия. Ситуация если не закономерно, то неслучайно повторяющаяся: так, совместная американо-японская медицинская комиссия начала работать в Хиросиме и Нагасаки лишь спустя 3 недели после атомных взрывов.

Исторически дозовые зависимости клинических проявлений лучевой болезни к моменту катастрофы на ЧАЭС, как и санитарно-гигиенические нормативы профессионального облучения персонала тех же АЭС, были уже установлены; предельно допустимые дозы (ПДД) облучения в случае аварий, согласно НРБ 72/87, допускали пятикратное превышение ПДД годового облучения для профессионалов (0,05 Гр). Для военнослужащих-ликвидаторов была принята аналогичная ПДД, для представителей летно-подъемного состава — 0,25 Гр. Однако превышение ПДД тогда опиралось преимущественно на сведения об отдаленных последствиях, а не на непосредственные ближайшие проявления реакций на облучение [53]. В связи с этим появление результатов обследования и математико-статистической обработки массива первичных медико-психологических данных о ближайших радиационных последствиях острых радиационных поражений у вертолетчиков — речь идет о 2–3 сутках с начала аварии и 1–10 сутках с начала облучения — позволили установить, что дозу острого облучения в 0,3 Гр за 2–3 дня можно считать «биологически оправданной». Этому вопросу посвящена Часть I настоящей монографии «Ближайшие последствия острых радиационных поражений у вертолетчиков».

Организационно-медицинская уникальность обследованной группы состоит в том, что летно-подъемный состав ВВС и в СССР, и в России подлежит специальному медицинскому контролю, включающему ежегодное углубленное медицинское обследование: при «наличии диагноза» в стационаре ежегодно, при его отсутствии через год, а также прохождение врачебно-летной комиссии ВАК. При увольнении в запас военнослужащие проходят медицинское обследование и военно-врачебную комиссию (ВВК), что позволяло при определенных организационных усилиях получать данные о «медицинских ис-

ходах» в состоянии здоровья вертолетчиков-ликвидаторов в сопоставлении с «обычными» вертолетчиками их возрастной группы. Часть II настоящей монографии как раз раскрывает результаты многолетнего мониторинга последствий острых радиационных поражений у вертолетчиков-ликвидаторов. И, наконец, послесловие «Стандартный/условный ликвидатор»: к фундаментальным итогам и перспективам работе адресован не только и не столько ВВС, сколько радиационной биологии и медицине.

Для выявления закономерностей (тех или иных антропологических констант) абстрагирования и теоретизации необходимы эмпирические данные о результатах воздействия ИИ. Для их получения требуются постоянные усилия для эффективности работы инфраструктурных решений; имеются ввиду все виды ведомственных подрегистров Национального радиационно-эпидемиологического регистра (НРЭР) — МО РФ, МВД России, МЧС России, ФМБА России — и действующих на их основе научно-исследовательских программ. Эпидемиологическая картина постфактум, отдаленных последствий, с помощью учета «накопленных диагнозов» и времени дожития не позволяет ухватить стертую, преходящую, транзиторную до нозологической скрытую клиническую манифестацию острого радиационного воздействия: идеология «посмертного бухгалтерского учета постфактум», если пользоваться метафорой экономистов, мало что дает для понимания сути, содержания процессов и выявления причинно-следственных закономерностей, особенно касающимися острых клинических последствий радиационных воздействий. Система эпидемиологических регистров для этого не предназначена изначально. Кроме того, сегодня можно констатировать, что на организацию работы регистров ушел ни один десяток лет; организационная дисфункция, если не патология, налаживания работы данных регистров оставляла желать лучшего: один из соавторов данной монографии, будучи участником ЛПА на ЧАЭС, так и не обнаружил ни себя, ни своих сослуживцев по Научному центру МО СССР в Чернобыле (в/ч 19772) в подрегистре МО СССР/РФ ни на момент его создания, ни годы спустя. И сегодня, хотя декларируется иное, учетная работа в поликлиниках МО РФ с ликвидаторами-пенсионерами не ведется — первичный феноменологический материал теряется: формально-статистическое преобладает над содержательно-исследовательским. Тем ценнее результаты, представленные в настоящей монографии. Коллегам, на которых никто никогда в приказах не налагал никаких обязательств и поручений, а именно их инициативные усилия позволили собрать и обобщить представленные здесь материалы, мы выше, в предисловии, выразили благодарности.



Композиционно монография выстроена в нескольких жанрах: истории науки и техники, философии как экспертизы и гуманитарной экспертизы последствий участия в ликвидационных работах на ЧАЭС. Понятие философской экспертизы ввел член-корреспондент РАН Б.Г. Юдина [192], философско-методологические основания, особенности, цели и задачи «философской экспертизы» подробно рассмотрены в его работах [193, 194].

Для предъявления динамики во взглядах на эффекты воздействия малых доз ИИ мы сохранили обзоры литературы на момент подготовки результатов исследований для Частей I и II. Такая структура позволяет увидеть конкретно-историческую динамику изменений представлений о последствиях малых доз ИИ за прошедшие годы с момента катастрофы на ЧАЭС. Это диахронический план наших исследований; он, как известно, направлен на изучение фактов в их развитии. Кроме того, полагаем, что совмещение изложения в одной монографии результатов синхронного плана исследований и диахронического плана на фактически одной и той же когорте обследованного (в острый период аварии) и наблюдаемого (в отдаленные ее периоды) контингента ликвидаторов позволят создать «рельеф», дающий полезную научную новизну в понимании истории смены величины разрешения «мировоззренческой оптики» взглядов на последствия облучения в малых дозах ИИ. Синхронный план, что общеизвестно, предполагает изучение фактов, относящихся к одному и тому же времени. Временная дискриминация и агрегация материалов опирались на две константы. Первая (это день с момента катастрофы на ЧАЭС) есть время астрономическое (как маркер момента с начала катастрофы). Такая «привязка» крайне важна, она задает понимание контекста ликвидационных работ (этапа/периода аварии), в котором ликвидатор получил облучение. Общепризнанно, что понимание текста без знания контекста затруднено; аналогична ситуация и с первичными научными данными/фактами. Вторая константа — время личное, субъективное: день с момента начала участия в ликвидационных работах, т. е. момент с начала облучения. Последняя маркировка традиционна для анамнеза болезни — больной поступил/осмотрен на такой-то день с начала заболевания/поражения/травмы .... Иными словами, каждый обследованный был позиционирован относительно двух центров двух систем координат: объективной (день с момента катастрофы) и субъективной (день с начала облучения/работ); таким образом формировался и нормировался синхронный и диахронистический планы наблюдений, исследований, анализа и обобщений.

Нормирование обследованных проводилось и на основании зафиксированных доз облучения (это третья «точка отсчета», нормирования). Вынуждены эксплицировать некоторые фактические обстоятельства «особенностей» дозиметрического контроля во время ликвидационных работ; фактуры на этот счет достаточно, тем не менее укажем на имеющие отношение к военным ликвидаторам-вертолетчикам. С одной стороны, в острый период аварии дозы облучения «записывались честнее», чем в 1987 г. и позднее, с другой, и точность, и реальность таковых и тогда вызвала большие сомнения. Даже у вертолетчиков, мягко говоря, она не была точной. Согласно наставлениям у военнослужащих срочной службы дозиметр полагался один (!) на отделение (выдавался командиру подразделения): «средняя доза по отделению» — это, увы, не шутка, как «со средней температурой по больнице». Офицерам он же выдавался как индивидуальный — имеется в виду дозиметр карманный прямопоказывающий ДКП-50А. Согласно личному сообщению (записано в 2015 г.) военного авиационного врача Виктора Владимировича Ядова, выпускника факультета подготовки врачей для военно-воздушных сил ВМедА им. С.М. Кирова 1985 г., он в апреле–мае 1986 г. выкладывал по 10 (!) дозиметров ДКП-50А на передней панели вертолета и фиксировал их показатели после каждого пролета экипажем над разрушенным «реактором» 4-го энергоблока ЧАЭС: ни разу не было так, чтобы хотя бы 2 дозиметра показали одну и ту же дозу! Правда, бортовой радиометр на 250 рентген во время пролетов зашкаливал. О других «причудах» дозиметрического контроля в 1988 г. в населенном пункте в Белоруссии до и после дезактивационных работ (дозиметры высокой чувствительность фонового экологического уровня ИИ) рассказано в статье М.А. Пронина «Наука на коровьем хвосте» (можно прочесть на сайте «Независимой газеты»), а также в философско-антропологических очерках [149].

Справедливости ради вынуждены сказать, что сначала создается система, когда объективных данных о дозовых нагрузках нет, а потом этим же и «попеняют» ликвидаторам.

Таким образом, использование сравнительно-исторического, описательного, количественного (квантитативного) и других методов в синхронном и диахроническом планах — отличительная особенность настоящей программы анализа и обобщения медико-биологических (соматических и функциональных) и социально-психологических последствий у ликвидаторов-вертолетчиков в связи с их участием в работах на радиоактивно загрязненной/зараженной местности в 30-километровой зоне катастрофы на ЧАЭС. Период обобщения материалов клинического обследования и наблюдения составил 26 лет, с 1986 г. по 2012 г.

## Сокращения

- 16-ФЛО — 16-факторный личностный опросник Кеттелла  
IAEA — Международное агентство по атомной энергии  
INES — международная шкала ядерных событий  
PRIS — информационная система по энергетическим реакторам  
PTSD — посттравматическое стрессовое расстройство  
SO — общая систола  
TEPCO — токийская электроэнергетическая компания  
АМФК — аутомикрофлора кожи  
АСП — аэробная способность  
АЭС — атомная электростанция  
БАД — боковое артериальное давление  
БНСТ — базальные условия НСТ-теста  
ВВК — военно-врачебная комиссия  
ВВС — военно-воздушные силы  
ВЛК — врачебно-летная комиссия  
ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения  
ВРР — Всесоюзный распределительный регистр  
ВЭМ — велоэргометрия  
ГНИИИ АиКМ — Государственный научно-исследовательский испытатель-  
ный институт авиационной и космической медицины  
ГУ — гемодинамический удар  
ГФДГГ — глицерофосфатдегидрогеназа гиалоплазматическая  
ГФДГМ — глицерофосфатдегидрогеназа митохондриальная  
ДАД — диастолическое артериальное давление  
ДНЛЖ — давление наполнения левого желудочка  
ДФ — дискриминантная функция  
Евд. — емкость вдоха  
ЖЕЛ — жизненная емкость легких  
ИИ — ионизирующее излучение  
ИИР — индекс инотропного резерва миокарда  
ИНМ — индекс напряженности миокарда  
ИС — изометрическое сокращение  
ИСДД — индекс среднего динамического давления  
ИХР — индекс хронотропного резерва сердца  
ИЭРС — индекс эффективности работы сердца  
ККГ — кинетокардиография

- КРС — кардио-респираторная система  
ЛГП — локальная гипоксическая проба  
ЛДГ — лактатдегидрогеназа  
ЛКБ — лизосомально-катионные белки  
ЛПА — ликвидация последствий аварии  
ЛР — лучевая реакция  
ЛС — летный состав вертолетов  
МВЛ — максимальная вентиляция легких  
МЕТ — метаболические единицы труда  
МКРЗ — Международная комиссия по радиационной защите  
ММР — индекс инотропного резерва миокарда  
МО — минутный объем сердца  
МОД — минутный объем дыхания  
МПК — максимальное потребление кислорода  
МПКК — максимальное потребление кислорода, полученное косвенным способом  
МСЛЖ — мощность сокращения левого желудочка  
НКРЗ — Национальная комиссия по радиационной защите  
НРБ 72/87 — Национальные нормы радиационной безопасности 1972 и 1987 гг.  
НРЭР — Национальный радиационно-эпидемиологический регистр  
ОЛБ — острая лучевая болезнь  
ОСВ — объемная скорость выброса крови  
ОФВ — объем форсированного выдоха  
ПВПГ — правая ветвь пучка Гиса  
ПД — пульсовое давление  
ПДД — предельно допустимая доза  
ПКГ — поликардиография  
ПМРС — производительность механической работы сердца  
ПНС — парасимпатическая нервная система  
ППП — пакет прикладных программ  
ПР — первичная реакция на облучение  
ПТМвыд. — пневмотахометрия выдоха  
ПТСР — посттравматическое стрессовое расстройство  
РВ — радиоактивные вещества  
РЗМ — радиоактивно загрязненная местность  
РО — радиационная обстановка  
Ровыд. — резервный объем выдоха  
РЭ — расход энергии  
САД — систолическое артериальное давление  
СДГ — сукцинатдегидрогеназа

- СИ — сердечный индекс  
СНИ — сердечный нагрузочный индекс  
СНСТ — стимулированные условия НСТ-теста  
СОЭ — скорость оседания эритроцитов  
СрАд — среднее артериальное давление  
СРРЖ — синдром ранней реполяризации желудочков  
ССС — сердечно-сосудистая система  
СЭМ — спироэргометрия  
ТММ — тредмиллометрия  
ТРГ — тетраполярная реография  
УИ — ударный индекс  
УПСР/УПСФ — удельное периферическое сопротивление рабочее/фактическое  
ФБИ — фаза быстрого изгнания  
ФВД — функция внешнего дыхания  
ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких  
ФИЗ — фаза изометрического расслабления  
ФМН — фаза медленного наполнения  
ЦВНИАГ — Центральный военный научно-исследовательский авиационный госпиталь  
ЦНС — центральная нервная система  
ЧАЭС — Чернобыльская АЭС  
ЧСС — частота сердечных сокращений  
ЭКГ — электрокардиография  
ЯО — ядерное оружие

# Часть I

## БЛИЖАЙШИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ У ВЕРТОЛЕТЧИКОВ

### Предисловие к части I

В этом разделе представлены материалы углубленного клинического обследования летно-подъемного состава вертолетов, принимавших участие в ЛПА на ЧАЭС с первых ее дней. Результаты публикуются «как были» на 1986–1992 гг., включая обзор литературы: последний, кроме историко-научного интереса, показателен с точки зрения динамики изменений ситуации с мирным и военным атомом, понимания научных представлений о последствиях облучения и некоторых прогнозов того времени, которые читатель сегодня может «проверить» на адекватность.

\* \* \*

Последние десятилетия (перед 1986–1992 гг.) характеризуются расширением профессиональных контингентов, имеющих контакт с многообразными источниками излучения. В развитых странах они составляют до 3,8–4,6% численности населения. Положение усугубляется старением станций, что неизбежно приведет к учащению случаев выхода из строя оборудования.

В ликвидационных мероприятиях на ЧАЭС основной объем работ выполняли подразделения ВС СССР, МВД СССР и Гражданской обороны СССР. Около 600 тысяч военнослужащих приняли участие в работах по ЛПА. Вполне вероятно привлечение подразделений войск и к ликвидации других крупных радиационных аварий [129].

По всей видимости, достаточно серьезны медицинские последствия для ликвидаторов. Так, например, из 16,5 тыс. сотрудников МВД СССР — участников ЛПА — 355 человек получили дозу облучения 0,25 Гр и более, 57 человек заболели острой лучевой болезнью (ОЛБ),

4750 — вегето-сосудистой дистонией, у 1500 возникли обострения хронических заболеваний органов дыхания, сердечно-сосудистой системы (ССС), желудочно-кишечного тракта, т. е. примерно у трети из них ухудшилось состояние здоровья.

Военнослужащие в силу своих профессиональных особенностей, имеют дело с ядерным оружием (ЯО). Известно, что за последние 30 лет только в США произошло свыше 125 серьезных аварий американских бомбардировщиков и ракет, сопровождавшихся возникновением вероятности ядерного взрыва <sup>1)</sup>.

По данным «Гринпис» и Вашингтонского института политических исследований, в 1980-х гг. в мире было зарегистрировано около 60 аварий атомных подводных лодок (это минимальные оценки, так как сведения об инцидентах отрывочны) [229].

Российские и иностранные ученые [61, 144, 145, 214] считают вполне вероятным намеренное разрушение предприятий ядерного топливного энергетического цикла в случае развязывания войны, ведущейся обычным вооружением и, особенно, высокоточным оружием. Вполне реален и терроризм, направленный на атомные электростанции, находящиеся на чужой территории.

В последние годы ученые и политические деятели озабочены возможностью разработки так называемого *радиологического* оружия, действие которого основано на использовании боевых радиационных веществ (РВ). Под последними понимают специально получаемые и приготовленные в виде порошков или растворов вещества, содержащие в своем составе радиоактивные изотопы химических элементов, предназначенные для заражения территории противника [61].

Вместе с тем непрекращающиеся разработка и производство все новых типов ЯО, в том числе тактического, так называемых мининюков (миниатюрных зарядов) и т. п., неизбежно ведут к снижению «ядерного порога», т. е. к возможности применения ЯО уже на ранней стадии вооруженного конфликта [61, 227, 228].

---

<sup>1)</sup> США до 2025 г. произведут 480 тактических ядерных авиабомб В61-12, которые являются усовершенствованной версией боеприпаса В61-3, 4; 7; 10 и 11, и разместят их в Европе (<https://smotrim.ru/article/2648624>) (<https://ria.ru/20211205/ssha-1762250539.html>). США уже складировуют в Европе от 100 до 150 ядерных авиабомб для тактической авиации.

Таким образом, тактический авиационный ядерный потенциал США в Европе увеличится в три раза, не считая тактических артиллерийских ядерных боеприпасов.

Таким образом, медицинские проблемы противорадиационной защиты до сих пор не утратили своей актуальности.

Авария на Чернобыльской АЭС не только «проверила» готовность медицинской службы бывшего СССР, достижения медицинской науки, но и обусловила целый ряд новых направлений исследований в радиобиологии, радиационной экологии, радиационной и военной медицине [66, 175].

Несмотря на научные успехи в области биологического действия малых доз радиации, многие ученые справедливо указывают на крайнюю недостаточность подобного рода материалов.

Отсутствие материалов и (как следствие) научных результатов о воздействии малых доз на организм человека в ближайшие сроки после облучения вполне объяснимо. В период массового поражения людей все внимание направлено на лиц с клинически четко очерченной картиной лучевой болезни, подвергшиеся же субклиническому облучению, как правило, жалоб не предъявляют и в стационаре не обследуются.

К тому же и сам диапазон малых доз определяется далеко неоднозначно [13].

Актуальными остаются вопросы изучения действия комбинации различных профессиональных факторов, в том числе ИИ, на возникновение, развитие и течение наиболее распространенных общесоматических заболеваний. В дальнейшем развитии нуждаются методические и математические подходы: к оценке вклада каждого из факторов в окончательный эффект комбинированного воздействия, к оценке взаимодействия между эффектом каждого поражающего фактора, участвующего в формировании синдрома комбинированного поражения организма (оценка «синдрома отягощения») [47, 104, 184, 195].

Требуют более строгого количественного определения возникающие после облучения малыми дозами ограничения физической и умственной работоспособности, а также методические приемы, позволяющие оценить эффективность лечебно-диагностических мер коррекции этих нарушений [47].

Последние направления особенно актуальны для Вооруженных сил и армейской авиации, так как в период армейско-фронтальной операции для сохранения боеспособности авиационных частей требуется эффективная организация всех этапов медицинского обеспечения (профилактики поражений, их ранней диагностики, лечения, реабилитации и диспансерного наблюдения) деятельности летного состава, подвергшегося облучению в малых дозах и воздействию комплекса нерадиационных факторов, связанных с профессиональной боевой деятельностью.



## Глава 1

# **БЛИЖАЙШИЕ СОМАТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ (ВЗГЛЯДЫ НА МОМЕНТ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС)**

### **1.1. Значение радиационных поражений для военного и гражданского здравоохранения <sup>1)</sup>**

Одна из важнейших и далеко не решенных проблем военно-медицинской науки и практики — комплексная оценка влияния особых факторов боевых и экстремальных ситуаций на состояние здоровья и боеспособность военнослужащих. Один из таких факторов — воздействие ИИ (ионизирующие излучения), прежде всего, в результате применения вероятным противником ЯО.

Непрекращающиеся разработки и производство все новых типов ЯО — радиологического, тактического и т. д. — неизбежно ведут к снижению «ядерного порога», т. е. к возможности применения ЯО уже на ранней стадии вооруженного конфликта [61, 227, 229]. В последние годы ученые и политические деятели озабочены возможностью намеренного разрушения предприятий ядерного топливного энергетического цикла в случае развязывания войны, ведущейся обычным вооружением и особенно высокоточным оружием [61, 144, 145, 214]. Об этом свидетельствует и американо-иракский конфликт: из двадцати четырех иракских ядерных устройств восемнадцать были уничтожены полностью, три — частично повреждены.

Терроризм, направленный на атомные электростанции, находящиеся на чужой территории, давно уже стал реальностью. Так, в декабре 1982 г. на АЭС в Куберге (ЮАР) произошло четыре серьезных взрыва. Неудачей закончилось нападение Ирана в 1980 г. на иракский ядерный реактор «ОЗИРАК» (г. Тувайт, близ Багдада). В 1981 г. на этот же реактор совершил нападение, уже удачное, Израиль. Ирак, в свою очередь, совершил воздушные налеты на иранскую АЭС в Бушире —

---

<sup>1)</sup> Обзор ситуации и литературы на 1986–1992 гг.

24 марта 1984 г., 12 февраля 1985 г. (все реакторы, за исключением реакторов ЮАР, находились в стадии строительства).

Не меньшую опасность таит в себе и уже имеющееся ЯО: за последние 30 лет только в США произошло свыше 125 серьезных аварий американских бомбардировщиков и ракет, сопровождавшихся возникновением вероятности ядерного взрыва. Согласно докладу Сандийской лаборатории (США) в период с 1950 по 1968 гг. в ВС страны произошло 1250 инцидентов с ЯО, включая те 272, когда удары по элементам оружия могли привести к детонации имеющихся в ЯО обычных взрывчатых веществ. Среди этих инцидентов отмечено: 107 падений бомб или ракет во время погрузки на складах; 48 падений ракет или боевых частей с боеголовками в шахтах или на подготовительных площадках; 41 падение с самолетов бомб во время авиационных катастроф; 26 падений боеголовок, упакованных в контейнеры, на складах; 24 случайных падений бомб и пусков ракет с самолетов и судов; 22 случая падения и ударов боеголовок во время транспортировки и 4 случая механических повреждений [135].

По данным «Гринпис» и Вашингтонского института политических исследований, в 1980-х гг. в мире было зарегистрировано около 60 аварий атомных подводных лодок (это минимальные оценки, так как сведения об инцидентах отрывочны). Профессор Ян Бример считает, что до 40 % кораблей российского флота находится на пределе допустимого срока эксплуатации, и поэтому их агрегаты подвержены авариям [229].

Далеко не лучше состояние безопасности в ядерной энергетике: опыт эксплуатации АЭС показывает, что и мирный атом — грозная сила, требующая к себе бережного отношения.

С 1971 по 1984 гг. на атомных станциях ФРГ произошла 151 авария. В Японии на 37 действующих АЭС с 1981 по 1985 гг. было зарегистрировано 390 аварий, 69 % которых сопровождались утечкой РВ.

В 1985 г. в США зафиксированы 3000 неисправностей в системах и 764 временные остановки АЭС (это на 28 % больше, чем в 1984 г.). Иначе говоря, в среднем каждая АЭС в 1985 г. закрывалась 6 раз, или каждый день в среднем было две остановки АЭС [212]. В 1987 г. в результате различных неполадок было произведено не менее 430 остановок реакторов. Персонал допустил 492 нарушения установленных норм эксплуатации того или иного оборудования.

С 1971 по 1978 гг. при перевозке РВ в США произошло 389 аварий. Из 70 добровольно представленных отчетов об авариях в 24 фиксировалась утечка РВ. Всего же в 14 странах мира в 1971–1985 гг. зарегистрировано более 150 аварий на АЭС с утечкой РВ, с разными (в том числе и с тяжелыми) последствиями для людей и окружающей

среды. Ежегодно в мире случается в среднем 45 пожаров на АЭС. К сказанному можно добавить, что за последние десятилетия число аварий и катастроф в промышленности резко возросло: начиная с 1977 г. крупные катастрофы в промышленности, сопровождающиеся гибелью более чем 50 человек, составляют 50 % от общего числа аварий и катастроф.

Из 16 действующих в СССР атомных электростанций на 14 проверенных технической инспекцией труда профсоюзов выявлены серьезные недостатки в работе по охране труда, культуре производства. В результате ремонтный и обслуживающий персонал постоянно облучается сверх установленных норм. В 1987 г. только на Курской, Ленинградской и Смоленской АЭС подвергся повышенным дозам облучения 91 человек (постановление президиума ВЦСПС «О серьезных недостатках в охране труда и культуре производства на атомных станциях», декабрь 1988 г., цит. по [148]).

Таким образом, ремонтные работы, эксплуатация АЭС сопровождаются переоблучением обслуживающего персонала и населения.

Последние десятилетия характеризуются расширением профессиональных контингентов, имеющих контакт с многообразными источниками излучения. В развитых странах они составляют до 3,8–4,6 % численности населения (1–2 % в 1972 г.); к концу века прогнозируется ее удвоение [47, 78], что сопоставимо с численностью ВС ведущих капиталистических государств [201, 234].

Предполагается также, что в начале третьего тысячелетия ядерная энергетика как минимум сохранит свою долю в энергообеспечении научно-технического прогресса, особенно в развитых странах [44, 114; 153] <sup>1)</sup>.

В мире произошли три крупные ядерные катастрофы с выбросом большого количества РВ в окружающую среду: в 1957 г. в Уиндскейле (Великобритания), в 1979 г. — на АЭС «Тримайлайленд» (США) и в 1986 г. на Чернобыльской АЭС (СССР), в результате которой заболели ОЛБ 237 человек, из них погибли 28. Всего же в мире в 1944–1985 гг. от 294 аварий, связанных с выбросом РВ, пострадало 1371 человек, из них получили большие дозы облучения 633 человека, число погибших на месте составило 37 человек [1].

---

<sup>1)</sup> По состоянию на 2021 г. в 32 странах мира эксплуатируется 190 атомных электростанций с 442 энергоблоками общей электрической мощностью около 393 496 МВт. 51 энергоблок находится в стадии строительства, 196 энергоблоков закрыто PRIS — Permanent Shutdown Reactors, International Atomic Energy Agency (IAEA).

В банке данных «Всероссийского распределенного регистра» содержатся медико-дозиметрические данные на 531 тысячу человек, из них 198 тысяч — принимавших участие в ЛПА на ЧАЭС; во «Всеармейском регистре» в ВМедА имени С.М. Кирова — более, чем на 17 000 офицеров и прапорщиков. Всего же около 600 тыс. человек приняло участие в работах по ЛПА на ЧАЭС. И в дальнейшем, в случае крупных радиационных аварий и катастроф, планируется привлечение военнослужащих к работам по ликвидации их последствий [129].

Радиоактивному загрязнению в результате чернобыльской катастрофы в той или иной степени подверглись 11 областей СССР, в которых проживало около 5 млн. человек (из них на март 1991 г. — более 115 тыс. военнослужащих и членов их семей), 115 тыс. человек были выселены с загрязненной территории.

Серьезные последствия ядерных аварий имеются в Челябинской области [9; 231]: по данным Академии наук СССР, общее количество облученных составило 437 тыс. человек, выселены из районов постоянного проживания более 15 тыс. [130].

По данным Гражданской обороны СССР, в зонах возможного радиоактивного загрязнения от АЭС в нашей стране проживают около 120 миллионов человек.

Таким образом, медицинские проблемы противорадиационной защиты личного состава войск и гражданского населения от поражений малыми уровнями ИИ, не вызывающими ОЛБ, сохраняют свою актуальность.

Здесь на первое место выходит задача нормирования облучения с целью сохранения бое- и трудоспособности и предотвращения радиационных поражений военнослужащих и населения в ближайший период после облучения. Ее решение возможно при наличии клинических диагностических критериев поражения и соответствующих ему лечебно-профилактических и реабилитационных мероприятий.

## **1.2. Ближайшие последствия острых радиационных поражений**

Если для ОЛБ имеется достаточный объем первичных клинических данных, научно обоснованных диагностических критериев [15, 24, 31, 36, 43, 50, 51, 54, 59, 74, 146, 160, 200], то для диапазона доз менее 1 Гр этого сказать нельзя.

Основой для общепринятых диагностических, прогностических и гигиенических решений и выработанных соответствующих рекомендаций в указанной области доз явилась экстраполяция эффектов облучения.

Вызывают вопросы и дискуссии на страницах печати не только тип экстраполяции (линейная или нелинейная), но и допустимость ее применения к оценке стохастических и нестохастических эффектов при переходе от высоких доз и мощностей доз облучения к малым уровням облучения (смотри, например, публикации Международной комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) №№ 26, 41).

Обращается внимание на особую сложность установления лимитов облучения при низких уровнях ИИ, не создающих облигатных эффектов, а также подчеркивается отсутствие надежных для этой цели экспериментальных данных и возможностей для экстраполяции с животных на человека.

Просматривается также очевидная тенденция в оценке невозможности восполнить чисто экспериментальным путем указанную зону доз, наиболее значимую для нормирования, и попытки преодолеть эти трудности путем привлечения математического аппарата [172].

Основой для выработки дозиметрических критериев оценки риска облучения, принятых МКРЗ, послужили материалы наблюдений за жертвами ядерных бомбардировок в Японии (в Хиросимском исследовательском центре содержатся данные на 93741 человека [224]). Однако почти все результаты относятся к отдаленным эффектам, а не к характеристике состояния организма в ближайший период после облучения <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> **Фукусима.** Авария на АЭС Фукусима-1 — радиационная авария максимального, 7-го уровня по Международной шкале ядерных событий (INES), начавшаяся в пятницу 11 марта 2011 г. в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами. Затопление подвальных помещений, где располагались распределительные устройства, резервные генераторы и батареи, привело к полному обесточиванию станции и отказу систем аварийного охлаждения. Произошли расплавление ядерного топлива в реакторах энергоблоков № 1–3, накопление водорода в результате парциркулиониевой реакции и взрывы гремучей смеси на энергоблоках № 1, № 3 и № 4. В окружающую среду попали в основном летучие радиоактивные элементы, такие как изотопы йода и цезия, объем выброса которых составил до 20 % от выбросов при Чернобыльской аварии.

Несмотря на то, что не было зарегистрировано ни одного случая острой лучевой болезни, повышенное облучение вовлеченных в аварию работников увеличивает среди них риск возникновения онкологических заболеваний, являющихся отдаленными последствиями облучения. Правительством Японии было подтверждено несколько случаев таких заболеваний, и одно из них привело к смерти человека в 2018 г. С загрязненных территорий было эвакуировано около 164 тысяч человек. При этом в ходе эвакуации из больниц вследствие

Поэтому нормирование при облучении всего тела все еще опирается преимущественно на сведения об отдаленных последствиях, развивающихся в течение длительного времени (рак легкого), а не на непосредственные ближайшие проявления реакций на облучение и соматическую патологию.

Скудность материалов и, как следствие, научных результатов воздействия малых доз на организм человека в ближайшие сроки после облучения вполне объяснима. В период массового поражения людей все внимание было направлено на раненых, обожженных и лиц с клинически четко очерченной картиной ОЛБ; подвергшиеся же облучению в субклинических дозах, как правило, за медицинской помощью не обращались. Положение усугубили и серьезные потери медицинской службы ВС Японии и гражданского здравоохранения, а объединенная японо-американская медицинская комиссия (материалы работы которой и легли в основу концепций нормирования радиационного фактора, разрабатываемых и рекомендуемых МКРЗ) приступила к деятельности лишь через 3 недели после бомбардировки [51, 146].

С конца 1970-х гг. публикуются результаты исследований, в которых указаны многие недостатки ориентировочной дозиметрии T65D, пришедшей на смену системе дозиметрических данных 1957 г. (T57D), результаты дозовых оценок которой использовались во всех радиобиологических и эпидемиологических исследованиях в 1960–1980-х гг. В 1986 г. была завершена разработка новой дозиметрической системы (DS86), на основе которой уже уточнены некоторые численные значения радиационного риска. Важнейший предварительный вывод из этих данных состоит в том, что радиационный риск, по крайней мере, в 2 раза выше рекомендованного МКРЗ в 1987 г. для лейкоза и в 3 раза выше для других форм рака [179, 217, 218, 220, 221, 224, 225, 226]. Таким образом, проблема радиационного риска нуждается в дальнейшем изучении, а существующие клинические классификации радиационных поражений — в критичной оценке.

---

недостатка ухода погибло 50 тяжелобольных пациентов. В течение нескольких лет после эвакуации из-за физического и психологического стрессов и плохого медицинского обслуживания и ухода наступили 2304 преждевременные смерти, в основном, среди эвакуированных людей пожилого возраста. В декабре 2013 г. АЭС была официально закрыта. На территории станции продолжают работы по ликвидации последствий аварии. По оценке Токийской электроэнергетической компании (TEPCO), на приведение объекта в стабильное, безопасное состояние может потребоваться до 40 лет.

Мы акцентировали внимание на ближайших последствиях (принято считать, что они проявляются в течение первых 2 месяцев) субклинического облучения по нескольким соображениям.

Во-первых, они в наибольшей степени интересуют военную медицину, так как от состояния и реакций организма военнослужащих после облучения напрямую зависят эффективность их деятельности, бое- и трудоспособность. Работоспособность же — одна из ведущих категорий деятельности летного состава вертолетов (ЛС) [2, 22, 38, 39], определяющая успешность выполнения полетного задания, безопасность полета и, в конечном счете, боеготовность частей и подразделений, на повышение которой направлены все военно-медицинские исследования [157, 158].

Во-вторых, все еще нет всеобъемлющей теории физиологических адаптаций. Идет очень интенсивное накопление фактов. Наиболее перспективная задача радиологической практики — прогнозирование ее возможностей на основе вскрытия закономерностей адаптирования к воздействию малых уровней ИИ. Определение пределов, порогов адаптации и должно служить основанием гигиенического нормирования лучевого фактора в виде пороговых и предельно допустимых уровней облучения — для предотвращения развития ближайших соматических (нестохастических) эффектов [9, 53, 86].

Специфические требования к ЛС, а также воздействие на их организм комплекса присущих для летной деятельности физических и психических факторов определяют особый подход к выбору клинических критериев оценки радиационной опасности при выполнении полетных заданий. И здесь в качестве такого критерия необходимо принимать во внимание, прежде всего, работоспособность ЛС в ближайший период после облучения (армейской фронтовой операции), возможность выполнения боевого задания, принятия правильных решений на ответственных участках полета и пр. Исходя из этого требуется строго количественно определить возникающие после облучения ограничения физической и умственной работоспособности, а также предложить методические приемы, позволяющие оценить эффективность лечебно-реабилитационных мер коррекции этих нарушений.

В-третьих, с точки зрения разработки радиобиологических основ патогенеза поздних лучевых изменений большой интерес представляет выяснение именно характера взаимосвязи между ранними и поздними лучевыми повреждениями. Здесь существенно представление о том, что большинство эффектов, особенно в отдаленные сроки, являются полиэтиологичными и требуют рассмотрения в рамках установления связей в сложных системах взаимодействия с факторами, один из

которых — излучение [159]. Поэтому необходимо дальнейшее развитие методических и математических подходов: к оценке вклада процесса поражения, вызванного каждым из факторов, в окончательный эффект комбинированного воздействия; к оценке взаимодействия между эффектом каждого поражающего фактора, участвующего в формировании синдрома комбинированного поражения организма (оценка «синдрома отягощения») [195].

Последние направления особенно актуальны для вооруженных сил и армейской авиации, так как в условиях возможной ядерной войны большое значение приобретают нормирование облучения и разработка лечебно-профилактических мероприятий ЛС, подвергшемуся облучению в субклинических дозах и воздействию комплекса нерадиационных факторов, связанных с профессиональной боевой деятельностью, на основе вскрытия механизмов развития реакций основных систем организма, изучения связей между параметрами этих систем.

В-четвертых, чернобыльская авария диктует необходимость разработки, планирования и заблаговременной подготовки мероприятий так называемого *вторичного уровня* защиты населения, если авария все-таки произойдет. Поэтому одной из рекомендаций в решении научной конференции по медицинским аспектам аварии на Чернобыльской АЭС, состоявшейся 11–13 мая 1988 г. [119], была следующая: «Развивать поисковые и прикладные научные исследования по дальнейшему изучению новых подходов к диагностике, профилактике и лечению последствий лучевых воздействий ...». Здесь необходимо подчеркнуть важность оперативности и экспрессности указанных медицинских мероприятий, обеспечивающихся ранней диагностикой тяжести и опасности любого поражения, в том числе и радиационного, позволяющих вовремя и наиболее эффективно провести комплекс необходимых лечебно-профилактических и реабилитационных мер коррекции выявленных расстройств.

Наиболее сложна в этом отношении организация своевременной и качественной медицинской сортировки с выделением потока лиц, получивших дозы облучения до 1 Гр [65]. Поэтому особое значение приобретают конкретные разработки в области совершенствования методов ретроспективного восстановления поглощенных доз в теле человека при внешнем и внутреннем облучении, в частности: подтвердилась большая перспективность методов «дозиметрии без дозиметров» для реконструкции поглощенных доз внешнего облучения [119].

Таким образом, требует решения проблема оценки функционального состояния организма и работоспособности человека в ранние сроки после воздействия малых уровней ИИ, имеющая важное научно-практическое и военно-прикладное значение.



### 1.3. Острые поражения в диапазоне доз менее 1 Гр

В доступной литературе имеются лишь ограниченные сведения о влиянии сочетанного воздействия острого внешнего облучения в небольших дозах, внутреннего и наружного радиоактивного заражения на функциональное состояние организма, систему кроветворения и показатели периферической крови. Наиболее ценные результаты были получены при обследовании жителей Маршалловых островов (атолла Бикини) и американских военнослужащих, случайно подвергшихся воздействию радиоактивных осадков в результате испытаний США ЯО в 1954 г.

Дозы внешнего облучения у 157 человек составили около 0,14, у 18 — 0,69, у 28 — 0,78 и у 54 человек — 1,75 Гр. Наряду с внешним  $\gamma$ -облучением, которое, по мнению специалистов, играло основную роль в поражающем эффекте, присутствовали инкорпорация РВ и внешнее радиоактивное загрязнение одежды и кожных покровов.

В группе лиц, облученных в дозе 0,14 Гр, наблюдались незначительное понижение уровня лейкоцитов и нейтрофилов в течение 1-й и 2-й недель, число лимфоцитов было ниже контрольных величин. Через месяц общее количество лейкоцитов повысилось за счет нейтрофилов, приближаясь к контрольным показателям. Число тромбоцитов к этому времени было значительно ниже, чем на 19-й день, ниже контрольного числа.

В остальных группах обследованных характер колебаний всех элементов крови был однотипным, отличаясь лишь степенью изменений показателей. У облученных в дозе 0,68 Гр число нейтрофилов через год достигло нормы, а количество тромбоцитов и лимфоцитов осталось пониженным, хотя и более высоким, по сравнению с показателями, имевшими место через 6 месяцев после облучения [52].

В результате этого и других исследований установлено, что у ряда облученных, подвергавшихся воздействию таких доз радиации, которые не приводят к развитию лучевой болезни, развиваются так называемые *доклинические формы* радиационных поражений — лучевые реакции (ЛР).

Под общими ЛР большинство авторов понимают совокупность патологических изменений, возникающих во время или вскоре после облучения и характеризующихся главным образом функциональными нарушениями и, как правило, обратимостью процесса [7]. Клиническая картина общих лучевых реакций проявляется жалобами на слабость, головные боли, головокружения, тошноту и др. В большинстве случаев развиваются ответные реакции кроветворной системы.

Алексеев Г.И. указывает, что при облучении в дозе менее 1 Гр могут возникать различные моносиндромные проявления: преходящая лейкопения, лимфопения, тромбоцитопения, нейроциркуляторная дистония, астеновегетативные расстройства, которые следует трактовать как ЛР [10].

Ряд авторов описывают ЛР как легчайшую степень лучевого поражения, характеризующуюся преходящей лейкопенией и незначительными функциональными расстройствами в организме при практически полностью сохраненной работоспособности пострадавших [33].

Таким образом, считается, что ЛР — состояние после облучения в дозе до 1 Гр, характеризующееся развитием транзиторных моносиндромных (моносимптомных) неспецифических и специфических проявлений. Вариантами проявления последних считаются неустойчивость гематологических показателей и изолированные  $\beta$ -поражения кожи и слизистых. Картина неспецифических проявлений складывается из клиники астении, синдрома вегетативной неустойчивости, нейроциркуляторной дистонии, функциональных расстройств кишечника. Выделяются следующие типы гематологических реакций: гематологические показатели ниже среднестатистической нормы; гематологические показатели в пределах среднестатистической нормы, но ниже индивидуальных исходных значений. Возможны изолированная преходящая лимфопения (на 7–10-е сутки с начала облучения), лейкопения (на 10–14-е сутки), тромбоцитопения (на 30–40-е сутки) и их комбинации.

В интегральном виде дозовые зависимости последствий острого внешнего облучения до 1 Гр на сегодняшний день можно охарактеризовать следующим образом.

**Диапазон 0,015–0,1 Гр.** Никаких видимых нарушений, за исключением, возможно, небольших изменений крови [39, 96]. Минимальный эффект на основе статистической обработки данных о содержании клеток крови у большого количества облученных людей. Стохастический характер генетических и отдаленных последствий. Повышение реактивности физиологических систем (повышение или понижение условнорефлекторной деятельности, нарушение дифференцировок); снижение артериального давления, замедление сердечного ритма; уменьшение количества малых лимфоцитов; начальные изменения проницаемости капилляров [166]. Первоначальные изменения в функциональном состоянии центральной нервной системы (ЦНС) наблюдаются при облучении в дозе 0,005–0,05 Гр.

**Диапазон 0,15–0,3 Гр.** Считается, что внешнее  $\gamma$ -излучение в дозе 0,25 Гр не вызывает заметных отклонений в общем статусе

и морфологическом составе периферической крови [159], снижения количества лимфоцитов [160]. Линейная зависимость отдаленных и генетических последствий; состояние функционального напряжения клеточных и физиологических систем; мобилизация резервных структурно-функциональных единиц; пороговые дозы для реакции большинства физиологических систем организма [166].

**Диапазон 0,35–0,45 Гр.** Значительно превышает удваивающую дозу для генетических последствий и выхода опухолей ряда органов. Пороговые дозы для развития атрофических и гипопластических состояний. Компенсаторная гиперфункция поврежденных систем, «распад» компенсаторных механизмов при дополнительном воздействии чрезвычайных раздражителей [166]. Влияние облучения в дозе 0,25–0,5 Гр может быть выявлено при статистической обработке результатов подсчета форменных элементов крови у достаточно больших групп людей [159]. В единичных случаях возможно появление первичной лучевой реакции (ПР) на облучение [38, 39].

**Диапазон 0,5 Гр.** Вызывает минимальный эффект, который может быть обнаружен в результате лабораторного обследования отдельных людей. Острое облучение в дозе 0,5 Гр в 1 % случаев вызывает рвоту. Поглощенная доза 0,4–0,6 Гр при остром общем облучении в 10 % случаев вызывает симптомы ПР (потерю аппетита, тошноту, рвоту). Доза оправданного риска, при которой лишь в редких случаях могут появиться легкие признаки ПР [83].

**Диапазон 0,5–1 Гр.** Дозы в указанном диапазоне могут вызвать не резко выраженные изменения в картине крови (снижение числа тромбоцитов и лейкоцитов) и симптомы вегетативной дисрегуляции [159]. Доза  $0,82 \pm 0,32$  Гр в 50 % случаев вызывает у облученных потерю аппетита (симптом ПР). Увеличение частоты соматических отдаленных и генетических последствий. Пороговые дозы для нарушения центральных и периферических механизмов регуляции функций организма. Укорочение клеточного обновления, компенсаторная гиперфункция клеток; пороговые дозы для деструктивных, дистрофических и склеротических изменений в ряде органов. Нейроциркуляторная дистония (у отдельных лиц). В зависимости от мощности дозы может формироваться хроническая лучевая болезнь [166].

Таким образом, в доступной литературе недостаточно четко освещен вопрос о возможной зависимости проявлений ЛР от величины дозы облучения, соответствующих им диагностических критериях. Нет указаний и на продолжительность ЛР, на их особенности при сочетанных радиационных воздействиях при различных вариантах облучения и в комбинации с другими факторами нерадиационной приро-

ды. Что касается работоспособности, то нормирование радиационного фактора опирается на пороговые дозы появления симптомов ПР, при которых она бесспорно снижается, а при более низких уровнях облучения (где-то менее 0,5 Гр) считается, что она существенно не страдает.

С другой стороны, многочисленные исследования позволяют признать, что безопасного уровня облучения нет и лучевое воздействие в любой, даже самой малой дозе может вызвать повреждение [163]; установлена способность организма человека уравниваться, адаптироваться к определенному диапазону низких уровней лучевых воздействий; показано существование пределов, порогов адаптации, определение которых должно служить основанием гигиенического нормирования лучевого фактора для нестохастических эффектов.

В связи с этим анализ информации, полученной при обследовании ЛС, участвовавшего в ЛПА на ЧАЭС, имеет как теоретическое, так и практическое значение. Важными являются не только проведение ретроспективной оценки функционального состояния их организма и работоспособности после воздействия факторов радиационной аварийной ситуации, но и выявление порога адаптационных возможностей, получение клинических критериев тяжести поражения и разработка соответствующих прогностических и диагностических алгоритмов классификации состояния. Необходимо оценить и эффекты комбинированного действия ИИ и других факторов боевой профессиональной летной деятельности, что обеспечит наиболее однозначную на данном уровне знаний зависимость между наблюдаемым эффектом и дозой. Короче говоря необходимо создать значимую базу для обоснованного нормирования и регламентации летного труда, эффективной диагностики тяжести состояния (субклинических расстройств) и оперативной сортировки пораженных, выработки соответствующих лечебно-профилактических мероприятий. Эти наблюдения актуальны и для гражданского здравоохранения: выбора критериев здоровья и принципов организации программ широкого диспансерного наблюдения.

#### **1.4. Математико-статистические подходы к классификации пораженных малыми дозами ионизирующих излучений**

Вопрос классификации имеет высокую значимость для понимания и объяснения изучаемой проблемы, так как исследователи всегда стремятся отразить в интересующих их аспектах структуру рассматриваемого множества объектов, выявить связи и отношения, существующие

между отдельными самостоятельными элементами, и сформулировать общий принцип для сведения воедино отдельных элементов, т. е. логически упорядочить их в классы (группы, типы, таксоны), и затем построить классификационную схему, которая явилась бы основой решения не только теоретических, но и прикладных задач. Поэтому актуальна задача классификации радиационных поражений в диапазоне доз до 1 Гр, что помимо целей, связанных с разработкой вопросов субклинических поражений, будет выступать одним из важных условий повышения эффективности и качества гигиенических, диагностических, лечебно-эвакуационных и экспертных решений.

В самом общем виде биологические объекты (системы) в медицинской радиологии характеризуются иерархичностью, наличием большого количества взаимосвязанных между собою подсистем, связей между подсистемами и объектами, т. е. многомерностью [84]. Кроме того, они характеризуются и многокритериальностью, обусловленной разнообразием функций отдельных подсистем, многообразием их морфофункциональной структуры и природы процессов, а также взаимосвязей, существующих между исследуемой системой в целом и другими объектами (системами) [57]. На практике эта многогранность проявляется в целом ряде все еще не преодоленных трудностей. Укажем, как нам кажется, наиболее существенные из них.

Прежде всего, несомненным фактом будет общепризнанная полиэтиологичность ближайших и отдаленных последствий облучения (особенно когда они носят стохастический характер), оценка коих может быть затруднена как из-за неравномерности, так и из-за неоднократности последнего. Так, установлено, что предварительное облучение может изменить радиочувствительность организма к воздействию самых различных факторов. Показано, например, что оно увеличивает радиорезистентность животных к последующему облучению.

В каждом конкретном случае врач, оценивая функциональное состояние организма, физическую работоспособность у отдельного больного, сталкивается с общемедицинской проблемой оценки тяжести травмы и тяжести состояния пораженного [206, 207]. Здесь играет роль высокая радиочувствительность у некоторых лиц (считается, что индивидуальные различия сглаживаются лишь при дозах свыше 2,5 Гр [38]) и общепризнанный феномен — зависимость ответной реакции (направления и силы) любой физиологической системы от ее исходного состояния и пр.

Общепризнано отсутствие биологического индикатора дозы облучения [19], что обуславливает необходимость рассматривать диагностические показатели в связи с другими признаками. Объекты же

исследования описаны, как правило, при помощи множества показателей, а количество рассматриваемых наблюдений зачастую достаточно велико.

Вид излучения, наличие у личного состава средств индивидуальной защиты, прием радиопротекторов, многие из которых влияют на ЦНС, ССС, вызывают симптомы ПР (тошноту, головную боль и пр. [32; 98]), что также усложняют оценку.

Итак, несмотря на кажущуюся явную необходимость полифакторного рассмотрения причинно-следственных отношений и формирования вероятностной клинической картины поражения ИИ в дозах до 1 Гр, в радиационной медицине сохраняются традиционные подходы монокаузальной концепции (радиация–эффект), хотя и усложняемые введением анализа некоторых модифицирующих факторов (пол, возраст и др.), но лишь путем последовательного попарного монофакторного анализа. В результате подавляющее большинство существующих ныне довольно подробных классификационных схем радиационных поражений, практически не затрагивающих диапазон от 0 до 1 Гр, получено применением одномерных процедур. В этом случае к одному классу относят объекты, обладающие одним и тем же сочетанием некоторого фиксированного набора рассматриваемых признаков. Примером может служить классификация ОЛБ и поражений ЯО по тяжести [49].

К существенным недостаткам таких классификаций относится то, что комбинация группировочных признаков приводит к резкому увеличению числа групп, к недостаточной численности объектов в каждой группе и в результате — к вырожденным классам (отсюда же создается опасность на основании небольшого числа наблюдений сделать малообоснованные, случайные выводы о характере рассматриваемой патологии).

Низкая работоспособность одномерных подходов наиболее ярко проявляется в дискуссии о так называемых «малых дозах облучения».

Если попытаться по научным публикациям установить диапазон малых доз облучения, то окажется, что единого мнения нет. Национальная комиссия Радиационной защиты (НКРЗ) США низкими дозами считает дозы менее 0,2 Гр (NCRP, Report № 64). По мнению некоторых авторов, эти дозы на два порядка выше фона (смотри материалы Всесоюзной конференции по действию малых доз ионизирующей радиации, 1984 г.). А.М. Кузин [95] соотносит их с дозами на 1–2 порядка ниже среднелетальных. В.М. Шубик [190] считает, что с позиций иммунологии малыми дозами следует считать те, которые не вызывают изменений неспецифической защиты и иммунитета и неблагоприятных для организма последствий. Таким требованиям, по его

мнению, удовлетворяют дозы, не превышающие 0,05 Гр. В.Н. Мальцев и соавторы [113] считают минимальными повреждающими дозами внешнего облучения организма на отдельные механизмы антиинфекционной резистентности дозы 0,1–1,0 Гр. Малые дозы облучения для эмбриона и плода млекопитающих — менее 1,0 Гр. На основании нарушения обмена веществ в ЦНС А.Т. Пикулев и соавторы [142] указывают на диапазон 0,1–0,18 Гр.

Владимиров В.Г. [30] считает, что в медицинской радиологии, в отличие от специалистов по радиационной гигиене, имеющих обычно дело с дозами, сопоставимыми с уровнями естественного фона радиации, принимают за малые существенно более высокие дозы, исчисляемые несколькими и даже десятками рад. В качестве верхнего предела он указывает 0,5 Гр и обосновывает его тем, что острое облучение в дозах, превышающих этот уровень (в диапазоне от 0,5 до 1 Гр), хотя и не вызывает у человека ОЛБ, тем не менее может быть причиной комплекса изменений, который в клинике известен под названием «реакция на облучение» или «лучевая реакция».

Из приведенных материалов видно, что преобладают «одномерные» взгляды, опирающиеся на концепцию «критического органа», что отражает общее состояние дел: практические врачи и большинство исследователей так и не могут преодолеть «плоскостный» подход к прогнозу и оценке функционального состояния организма у человека на всех уровнях интеграции теоретических и клинических знаний (от формализации принятия решений до малых единиц медицинской информации — классов заболеваний, нозологических форм, синдромов и симптомов).

Указанный подход тем более не позволяет решать задачи содержательного плана в области субклинического облучения, воздействия комплекса факторов радиационных аварий, экстремальных и боевых ситуаций, при нем особенно проблематична классификация комбинированных и сочетанных поражений.

Таким образом, в радиологических исследованиях, когда ученые и врачи имеют дело со сложными медико-биологическими системами типа «человек–окружающая среда» и наблюдаемые соматические эффекты носят вероятностный характер [182], наиболее приемлемой будет многомерная классификация.

## Глава 2

# ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДОВАННЫХ ВЕРТОЛЕТЧИКОВ И МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Материалы исследования

Обеспечение радиационной безопасности летных экипажей и их реабилитация после полетов осуществлялись сотрудниками ГРИИИ АиКМ и ЦВНИАГ под общим руководством Службы авиационной и космической медицины ВВС. Организацию медицинского обеспечения полетов на месте проводила медицинская служба ВВС Киевского военного округа.

Стационарно обследован летный состав вертолетов: 82 мужчины (табл. 2.1), принимавших участие в ЛПА на ЧАЭС в первые 10 дней, т. е. в ее острый период.

Таблица 2.1. Распределение обследованных по возрастным категориям ( $n = 82$ )

Возраст, лет	Количество человек в категории	Процент от общего количества
21–29	30	36,6
30–39	47	57,3
40–50	5	6,1

Во время работы ЛС подвергся воздействию комплекса радиационных и нерадиационных факторов аварийной ситуации, в том числе внутреннему радиоактивному заражению и ведущему в данный момент аварии внешнему относительно равномерному  $\gamma$ - и  $\beta$ -облучению, что подтверждается нашими данными и данными всеармейского регистра [187] о наличии  $\beta$ -загрязнения обмундирования и кожных покровов (табл. 2.2) у обследованных, радиометрии щитовидной железы, крови, мочи, кала и дозиметрии внешнего облучения.



Таблица 2.2. Наличие загрязнения обмундирования и кожных покровов радиоактивными веществами у обследованных ( $n = 80$ )

Загрязнение	Количество человек в категории	Процент от общего количества
Не зарегистрировано	7	8,8
Зарегистрировано	73	91,2

$\beta$ -загрязнение обмундирования и кожных покровов устанавливалось при поступлении в приемном отделении госпиталя с помощью прибора «ДП-5В» по общепринятой методике. Дозы внешнего облучения ЛС взяты из карточек учета доз радиоактивного облучения; по данным проведенного нами анкетного опроса, индивидуальная дозиметрия у обследованных проводилась с помощью дозиметра ДКП-50А и верифицировалась расчетным методом. Радиометрия щитовидной железы осуществлялась по общепринятой методике радиоизотопного ее исследования на «Колодезном счетчике ХК-352» фирмы «Гамма» (ВНР). Расчет и оценка доз ее облучения проводились по «Руководству...» [12].

Дозы внешнего относительно равномерного  $\gamma$ - и  $\beta$ -облучений колебались у обследованных от 0,1 до 0,5 Гр ( $0,29 \pm 0,011$ ), продолжительность облучения — 1 до 10 сут ( $3,28 \pm 0,18$  сут; распределение доз см. табл. 2.3).

Таблица 2.3. Продолжительность облучения обследованных ( $n = 82$ )

Продолжительность облучения, сут.	Количество облучавшихся	Процент от общего количества
1	4	4,9
2	31	37,8
3	17	20,7
4	17	20,7
5	6	7,3
6	4	4,9
7	1	1,2
9	1	1,2
10	1	1,2

Дозы облучения щитовидной железы находились в диапазоне от 0,0 до 48,7 сГр (Дщ =  $11,2 \pm 3,28$ ; табл. 2.4). Оценка данных радиометрии крови, мочи и кала, проведенная по Публикации МКРЗ 33, позволяет констатировать, что внутреннее заражение организма не превышает

Таблица 2.4. Дозы облучения щитовидной железы у обследованных ( $n = 77$ )

Доза облучения, Гр	Число обследованных	Процент от общего количества
0	3	3,9
0,01–0,05	24	31,2
0,06–0,10	15	19,5
0,11–0,15	18	23,3
0,16–0,20	8	10,4
0,21–0,30	4	5,2
0,31–0,45	2	2,6
0,46–0,50	3	3,9

предельно допустимых величин годового поступления радионуклидов, определенных НРБ 72/87 [146].

Первичная госпитализация ЛС в целях углубленного медицинского обследования проведена с 3-го по 19-й дни с начала облучения (работы) или с 6-го по 20-й дни с начала аварии; 53,6 % пораженных поступили в госпиталь в день работы или на следующие сутки (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Распределение обследованных по дням госпитализации ( $n = 82$ )

Сутки с окончания работ	Количество госпитализированных	Процент от общего количества
В день работы	12	14,6
2	32	39,0
3	13	15,9
4	1	1,2
5	6	7,3
6	3	3,7
7	2	2,4
9	1	1,2
10	3	3,7
11	2	2,4
12	2	2,4
13	2	2,4
15	3	3,7

Это позволило диагностировать ранние изменения в организме, установить их связь с воздействием облучения и явилось одной из предпосылок [159] последующих обобщений.

В дальнейшем обследование проводилось в динамике по 395-й день с начала облучения. Вертолетчики поступали на стационарное обследование в целях ВЛК в плановом порядке: 11 человек были госпитализированы один раз, трое — трижды, остальные — два раза (всего 156 госпитализаций). Распределение ЛС, одновременно находившегося на обследовании, по срокам госпитализации представлено на рис. 2.1.

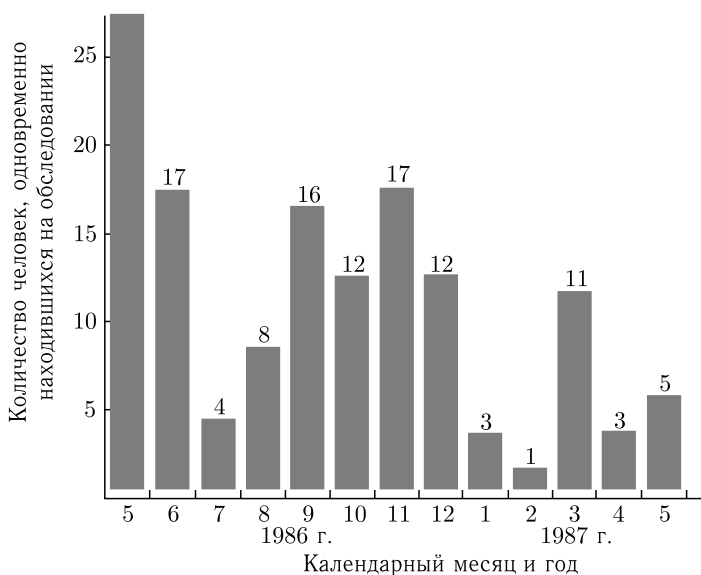


Рис. 2.1. Распределение летного состава по срокам госпитализации

В зависимости от характера и условий профессиональной деятельности обследованные были разделены на 3 группы (табл. 2.6). Часть ЛС с 26 апреля по 10 мая постоянно или периодически работала у открытой двери (люка) при полете над реактором, забрасывая его песком, глиной, соединениями бора, доломита [66], и в большей степени подвергалась воздействию внешнего и внутреннего ингаляционного радиоактивного заражения. Рассмотрены также профессиональные группы летчиков (52,4 %), штурманов (14,6 %) и пр.

Проведена анкетная оценка эмоциональной и физической напряженности профессиональной деятельности по 4-балльной шкале (табл. 2.7), что позволило в дальнейшем учитывать ее при изучении динамики

Таблица 2.6. Место работы обследованных ( $n = 77$ )

Место работы	Количество человек в категории	Процент от общего количества
Только в кабине	57	74,0
У двери (люка) периодически	14	18,2
Только у открытой двери (люка)	6	7,8

Таблица 2.7. Оценка напряженности труда (по сравнению с обычными полетами), данная обследованными ( $n = 77$ )

Напряженность труда	Количество человек в категории	Процент от общего количества
Повышенные психо-эмоциональные и физические нагрузки	11	14,3
Повышенные психо-эмоциональные нагрузки	30	39,0
Повышенные физические нагрузки	19	24,7
Нагрузки, как при обычных полетах	17	22,1

функционального состояния организма после воздействия комплекса радиационных и нерадиационных факторов аварийной ситуации.

В исследовании учитывалось исходное состояние организма человека, являющееся важным модифицирующим фактором в радиобиологии и радиационной медицине [4, 24]. С диагнозом «Практически здоров» на первичное обследование поступили 48 человек. У остальных ранее были диагностированы: нейроциркуляторная дистония (у 8 человек), алиментарное ожирение степени I (у 4 человек), нейроциркуляторная дистония кардиального типа (у 3 человек), миокардиодистрофия инфекционно-токсического или обменного генеза (по два случая), миокардитический или атеросклеротический кардиосклероз, гипертоническая болезнь степени I (по одному обследованному), гастрит, язвенная болезнь желудка или двенадцатиперстной кишки в стадии ремиссии (у 4 человек), хронический тонзиллит, кохлеарный неврит, хронический радикулит, миопия (по 2 случая). Поэтому мы рассматривали две группы: «практически здоровые» и лица с ранее выявленными заболеваниями.

Таким образом, на данной выборке оценивалось влияние на функциональное состояние организма и работоспособность ЛС комплекса радиационных (внешнего относительно равномерного  $\gamma$ - и  $\beta$ -облучений

в диапазоне от 0,1 до 0,5 Гр; внутреннего радиоактивного заражения) и нерадикационных факторов (исходного состояния организма; профессии и условий работы; напряженности летного труда).

## 2.2. Клинико-инструментальные методы исследования

В табл. 2.8 представлены методы исследования, которые использовались для изучения функционального состояния организма и физической работоспособности ЛС.

Таблица 2.8. Методы исследования функционального состояния организма и физической работоспособности летного состава

Методы исследования	Количество показателей
Общеклинические анализы крови; биохимические и иммунологические исследования; калий и натрий сыворотки крови	34
Электрокардиография (ЭКГ)	35
Поликардиография (ПКГ) и кинетокардиография (ККГ)	38
Тетраполярная реография с тахоосциллографией (ТРГ)	50
Велоэргометрия (ВЭМ) или тредмилметрия (ТММ)	92
Спироэргометрия (СЭМ)	37
Исследования функции внешнего дыхания и бронхиальной проходимости методом петля «поток-объем» (ФВД)	50

Анализ крови (биохимические и иммунологические показатели, калий и натрий сыворотки крови) взяты из 156 историй болезни обследованных; межгоспитальный период представлен результатами общеклинических анализов крови, полученных при углубленных медосмотрах в частях (по данным медицинских книжек).

Исследования функционального состояния кардиореспираторной системы организма и физической работоспособности проводились в объеме, определенном приказом МО СССР 1979 г. № 220 на основе «Методик исследования в целях врачебно-летной экспертизы» [122], дополнения к методикам [123] и других пособий и руководств (табл. 2.9).

Электрокардиограмма (ЭКГ) в покое регистрировалась по общепринятой методике на шестиканальном электрокардиографе ЕКС-600 (Hellige, СФРЮ) в 12 отведениях и оценивалась в соответствии с общепринятыми требованиями.

Таблица 2.9. Используемая аппаратура и методическая литература

Методы исследования	Аппаратура	Методическая литература
ЭКГ	Электрокардиографы: EKG-600, EKG-300 и 300Т ( <i>Hellige</i> , СФРЮ); BOS-3202 (ГДР)	123, 183
ПКГ и ККГ	Mingograf 81 или 82 (Siemens, Швеция)	5, 75, 80
ТРГ	Реоплетизмограф РПГ-2-02; ртутный отметчик давления (опытный завод НИИ ГК ВВС); Mingograf 81 или 82	150, 178
ВЭМ или ТММ	Электрокардиографы: EKG-300 и 300Т; BOS-3202. Велоэргометр EM-369 (Siemens, Швеция); бегущая дорожка Laufergotest (Jaeger E., ФРГ).	11, 123
СЭМ	Газоанализатор Ergo-oxyscreen (Jaeger E., ФРГ)	11
ФВД и петля	Pneumoscope (Jaeger E., ФРГ) «поток-объем»	77, 108, 161

Поликардиограммы (ПКГ) и кинетокардиограммы (ККГ) были предназначены для изучения кардиодинамики и оценки длительности фаз систолы левого желудочка или всего сердечного цикла. Применение этих методов базируется на том, что длительность фаз и периодов сердечного сокращения находится в строго определенной зависимости от внутрисердечной гемодинамики и сократительной способности миокарда. Полученные фактические значения сравнивались с индивидуальными должными величинами, а также рассчитывались общеизвестные фазовые и комплексные показатели [5, 75, 80]. Регистрация ПКГ и ККГ проводилась в *покое лежа* на регистраторах *Mingograf* (81 или 82).

С целью изучения показателей центральной гемодинамики использовалась тетраполярная реография (ТРГ). Принцип метода основан на изменении электрического сопротивления тканей организма в зависимости от их кровенаполнения. Для регистрации ТРГ применялись два циркулярных токовых электрода, один из которых располагался вокруг шеи, а второй — на уровне пупка. Два измерительных электрода

размещались между таковыми. Исследования проводились в *покое лежа* реоплетизмографом РПГ-2-02 (СССР) на аппарате *Mingograf* (81 или 82). Одновременно с реограммой с помощью ртутного отсчетчика давления (опытного завода НИИ ГК ВВС) записывалась тахоосциллограмма. Совместное использование ТРГ и тахоосциллографии позволило исследовать показатели центральной гемодинамики, уровень артериального давления, механизмы их изменений и оценивать сократительную функцию левого желудочка [150, 178].

Исследование функции внешнего дыхания (ФВД) и бронхиальной проходимости методом петли «поток–объем» проводилось на аппарате *Pneumoscope* (Jaeger E., ФРГ). Сущность его состоит в том, что наряду с объемными величинами легочной вентиляции исследуются и ее скоростные потоки во время форсированного вдоха и выдоха. Это позволяет выявить не только ранние стадии вентиляционных нарушений и бронхиальной проходимости, но и ориентировочно диагностировать преимущественное поражение проксимальных или дистальных бронхов [77, 108, 161].

Показатели ККГ, ПКГ, ТРГ и ФВД, сравниваясь с соответствующими индивидуальными должными значениями, дублировались в нормативной шкале в целях последующего анализа таблиц сопряженности.

Пробы с дозированной физической нагрузкой проводились либо на велоэргометре (велоэргометр ЕМ-369, *Siemens*), либо на тредмилле (бегущая дорожка *Laufergotest* Jaeger E.), табл. 2.9.

Перед началом исследования, во время его проведения и в восстановительном периоде (в течение 10 мин) регистрировалась ЭКГ в 12 отведениях (сидя — на велоэргометре, стоя — на тредмилле) на трехканальных электрокардиографах: ЕКГ-600 или 300Т (*Hellige*, СФРЮ); ВОС-3202 (ГДР). В исходном состоянии, на 3-й минуте каждой ступени нагрузки, на первой, третьей (при необходимости — до восстановления) минутах отдыха измерялось артериальное давление методом Н.С. Короткова.

При велоэргометрии (ВЭМ) использовались ступенчато возрастающие нагрузки с 3-минутной длительностью каждой ступени. Исследование начиналось с 300 кгм/мин с последующим возрастанием на 300–450 кгм/мин до достижения индивидуального субмаксимального уровня нагрузки или пульса, или появления противопоказаний для продолжения исследования.

При исследовании на тредмилле применялся следующий вариант дозирования нагрузок [198]: постоянная скорость со ступенчатым возрастанием уклона по 2,5 % каждые 3 мин во время ходьбы со скоростью 5 км/ч.

Одновременно с этим у 19 человек изучались показатели газообмена и легочной вентиляции в условиях покоя, дозированных физических нагрузок и в восстановительном периоде — спироэргометрия (СЭМ). К наиболее информативным из них относятся максимально достигнутое потребление кислорода, потребление кислорода на единицу массы тела, кислородный пульс нагрузки, метаболические единицы и вентиляционный резерв.

С этой целью использовалась бегущая дорожка в сочетании с автоматическим газоанализатором *Ergo-oxyscreen* (Jaeger E., ФРГ). Регистрация перечисленных показателей осуществлялась через каждые 30 с. Помимо этого определялись их средние значения за 3 минуты в исходном состоянии, в период работы и последующего отдыха. На основании полученных данных оценивались физическое состояние и функциональные резервы организма, определялись его энергетические возможности применительно к профессиональной деятельности.

Объем и распределение исследований во времени представлены в табл. 2.10.

Наиболее полно описан временной «срез» с трех по 60–120-е сутки с начала работы (облучения).

Таблица 2.10. Объем исследований; в числителе — количество исследований, в знаменателе — процент от общего количества

Вид исследований	Количество анализов (исследований) Срок проведения (с начала облучения), сут					
	в 3–7-е	до 21-х	до 60-х	до 120-х	до 150-х	до 394-х
Лабораторные исследования крови	$\frac{171}{18}$	$\frac{554}{58}$	$\frac{751}{78}$	$\frac{780}{81}$	$\frac{818}{85}$	$\frac{963}{100}$
ЭКГ	$\frac{55}{30}$	$\frac{85}{47}$	$\frac{98}{54}$	$\frac{100}{61}$	$\frac{131}{72}$	$\frac{181}{100}$
ПКГ и ККГ	$\frac{55}{37}$	$\frac{83}{57}$	$\frac{90}{61}$	$\frac{96}{65}$	$\frac{109}{74}$	$\frac{147}{100}$
ТРГ	$\frac{55}{30}$	$\frac{134}{72}$	$\frac{154}{83}$	$\frac{166}{89}$	—	$\frac{186}{100}$
ВЭМ и ТММ	$\frac{53}{23}$	$\frac{129}{56}$	$\frac{159}{69}$	$\frac{171}{74}$	$\frac{180}{78}$	$\frac{231}{100}$
СЭМ	$\frac{21}{75}$	$\frac{28}{100}$	—	—	—	—
ФВД и петля «поток–объем»	$\frac{58}{39}$	$\frac{105}{71}$	$\frac{113}{75}$	$\frac{123}{82}$	—	$\frac{150}{100}$



Первичные расчеты производились на ЭВМ «Электроника ДЗ-28» по специальным программам. Все полученные результаты оформлены в виде массива данных и перенесены на магнитные носители.

### **2.3. Методы математико-статистического анализа материалов исследований**

Обработка материалов исследований проводилась на ЕС ЭВМ 1045 и IBM PC/AT в 18-м отделе главного вычислительного центра ВМедА им. С.М. Кирова с помощью пакета прикладных программ (ППП) VM DP, предназначенного для решения широкого класса задач статистической обработки и анализа данных. При этом пакет позволяет производить повторный анализ одних и тех же данных для выбора эффективного метода решения задачи и получения наиболее достоверных результатов [89, 202, 204, 205]. Применявшаяся методика моделирования воздействия внешних повреждающих факторов (радиационных и нерадиационных) на человека была комплексной, основанной на принципах системного подхода и предусматривала совместное использование одномерных и многомерных статистических методов.

Она может быть подразделена на три этапа. На первом этапе исследовались структура данных, а также парные и многомерные зависимости между показателями. На втором (на основе данных предыдущего этапа и результатов факторного анализа) отбиралось подпространство информативных признаков. По выделенным признакам проводилась процедура автоматической классификации пораженных. На третьем этапе с помощью дискриминантного анализа строилось распознающее правило в виде линейной дискриминантной функции.

Изучение структуры данных и связей на каждом этапе анализа предусматривало решение следующих задач.

На первом проверялось наличие ошибок и пропущенных значений в исходной информации, т. е. полнота описания обследованных, выполнение допущений ряда методов (к примеру — нормальности распределений), при необходимости производились преобразования исходных данных (для получения расчетных показателей, индексов и т.п.), вычислялись различные одномерные статистики ( $\alpha$ ,  $x_\alpha$ ,  $m_\alpha$ ,  $M_e$ ,  $M_o$ ,  $V_\alpha$ ,  $atr1$ ), строились графики и гистограммы для получения нормативно-справочной информации.

Далее проводился «разведочный анализ» структуры данных для выявления основных тенденций и зависимостей и выделения информативных признаков. Исследовались связи между переменными: парные зависимости — методами корреляционного и дисперсионного анализов,

построением таблиц сопряженности и др.; многомерные связи и зависимости — методами кластерного и факторного анализов, позволяющими классифицировать признаки и наблюдения.

Затем проводилась политегическая классификация пораженных и на заключительном этапе осуществлялось статистическое моделирование установленных зависимостей на основе дискриминантного анализа для того, чтобы иметь решающее правило по распознаванию полученных классов пораженных. Линейные дискриминантные модели представляют исследователю и практику хорошую точность распознавания образов, которая обычно составляет 60–70 %.

В соответствии с поставленными задачами нами использовались следующие методы одномерного и многомерного статистического анализов, реализованные в ППП:

- оценка математического ожидания, дисперсии, медианы, моды, асимметрии, эксцесса, графическое представление распределений, проверка гипотез о принадлежности выборок одной генеральной совокупности и об однородности статистик, корреляция для различных видов наборов (программы 2D, 3D, 7D);
- категоризация данных (таблицы сопряженности: программа 4F);
- кластерный анализ (многомерная классификация: программы 1M и 2M);
- описание многомерных данных (программа 3M);
- факторный анализ (программа 4M);
- дискриминантный анализ (программа 7M).

Более подробно методология политегической классификации и методика применения блочного кластерного анализа, переменных и реализаций (программы 3M, 1M и 2M соответственно), факторного (программа 4M) и шагового дискриминантного анализов (программа 7M) будут изложены в Главе 5.

## Глава 3

# МЕДИКО-РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДОВАННЫХ

### 3.1. Медико-радиологическая характеристика аварии на ЧАЭС

Несмотря на большое значение имеющихся данных для понимания характера изменений гематологических показателей при облучении в малых дозах, они не являются полной аналогией изменений у людей, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, так как в данном случае, как правило, имело место общее относительно равномерное  $\gamma$ - и  $\beta$ -облучения, продолжительность облучения была гораздо большей, чем у жителей Маршалловых островов. Кроме того, состав радионуклидов и агрегатное состояние радиоактивной смеси имели выраженную специфику [21, 66, 67, 69, 71, 76, 91, 114, 119].

Масштабы радиационной аварии и ее период определяют соотношение и структуру радиационной и нерадиационной составляющих внешнего поражающего воздействия на человека.

Радиационная обстановка (РО) после аварийного выброса РВ во внешнюю среду зависит от многих факторов: времени работы реактора, его типа и конструктивных особенностей, продолжительности выбросов, времени года, метеорологических условий, расположения строений на местности вокруг АЭС, характера сельскохозяйственных угодий в районе радиоактивного заражения и т. п.

Развитие аварии такого класса во времени с точки зрения РО, развивающихся у людей лучевых поражений и психоневротических расстройств и необходимости проведения тех или иных защитных медико-организационных мероприятий делится на три фазы: раннюю, промежуточную и позднюю (классификация ВОЗ, 1983 г.). Опыт ЛПА на ЧАЭС позволяет рекомендовать для практических целей более точную этапность аварии (аварийной ситуации): первый этап — в пределах

первых суток с момента аварии, второй — 2–7-е сутки, третий — 2–6-я неделя и четвертый — 1,5–2 месяца с момента аварии. Первый и второй этапы охватывают начальный (острый) период аварийной ситуации (раннюю фазу, по терминологии ВОЗ). Третий и четвертый этапы относятся к промежуточной фазе [61, 119].

Указанные фазы (этапы) характеризуются определенной РО, различающейся, прежде всего, по опасности внешнего и внутреннего облучения организма: со временем изменяются их интенсивность и весовой вклад в общую дозу облучения. По мере удаления от аварийной зоны и увеличения сроков с момента аварии мощность доз внешнего излучения уменьшается. Среди продуктов деления со временем постепенно уменьшается вклад изотопов йода в суммарную дозу внутреннего облучения, и возрастает относительный вклад цезия и редкоземельных элементов.

Опасность первого этапа обусловлена тем, что первые аварийные выбросы, как правило, самые мощные, формируют последующую РО и значительную часть прогнозируемой дозы облучения, в том числе ингаляционной дозы радиоактивного йода на щитовидную железу, которая накапливается очень быстро.

Основные радиационные факторы в первый этап аварии: разрушенная активная зона, радиоактивный факел выбросов, осадки на теле. Личный состав, участвующий в ЛПА, подвергнется внешнему (общему) и внутреннему (ингаляционному) облучению.

Длительность второго этапа аварии определяют наибольшая вероятность прекращения аварийных выбросов, стабилизации РО и осуществление первоочередных мер по локализации аварии. Разрушенный реактор и продукты, выброшенные из него, останутся ведущими источниками внешнего облучения. Сохранит свою значимость и радиоактивное облако, формируемое продолжающимися аварийными выбросами. Внесут свой вклад осадки на местности, одежде и теле, вторичное пылеобразование. Появится новый источник — «пищевая цепь»: зараженные продукты питания и водосточники.

Третий этап представляет собой в радиологическом смысле период йодной опасности, что и определяет как характер контрмер, так и медицинских мероприятий. В непосредственной близости от эпицентра аварии сохранятся мощные радиационные поля. Осадки на почве, пищевая цепь и вторичное пылеобразование — основные источники облучения.

Четвертый этап завершает промежуточную фазу аварии и свидетельствует о переходе в последнюю фазу. Целесообразность выделения

данного этапа диктуется необходимостью в эти сроки полностью овладеть РО, прекратить дальнейшее загрязнение окружающей среды.

Основными источниками внешнего и внутреннего облучений (через пищеварительный тракт, ингаляция пыли) будут осадки на почве. К концу этапа радиойод уже практически не представляет опасности.

Последующая периодизация не требуется, так как РО стабилизировалась и контролируется, а на первое место по значимости воздействия на человека выходят нерадиационные факторы.

Радиационная обстановка в районе ЧАЭС формировалась в результате выбросов продуктов наработки ядерного реактора, в том числе в виде газоаэрозольной струи. Выбросы продуктов наработки продолжались до конца мая 1986 г., а газоаэрозольное облако наблюдалось в течение 10 сут.

Состав радионуклидов в аварийных выбросах примерно соответствовал накопленному в активной зоне реактора, но отличался от него повышенным содержанием летучих продуктов деления йода, цезия, инертных газов, рутения. Имела место сепарация осколочной радиоактивности в сторону ее обогащения изотопами цезия [21, 67, 69, 76, 114, 119].

Наружное радиоактивное загрязнение, хотя в ряде случаев и превышало установленные временные допустимые степени (более 1 мР/ч по  $\gamma$ -излучению), не достигало поражающих значений. Кроме того, использование индивидуальных средств защиты кожных покровов и проведение частичной и полной санитарной обработки позволило снизить опасные последствия воздействия этого радиационного фактора. Анализируя опасность поражения щитовидной железы радиоактивными изотопами йода, ряд авторов указывает на устойчивость ее к радиационным факторам и на то обстоятельство, что для стойкого снижения ее функции у взрослых необходимо воздействие, в десятки раз превышающее дозы этого радионуклида, полученные при аварии [12].

В случае значительного воздействия йода-131 на щитовидную железу в первые дни отмечаются симптомы ее гиперфункции, в дальнейшем — угнетения, проявляющегося сонливостью, мышечной слабостью, снижением памяти, потерей интереса к окружающему. Со стороны периферической крови наблюдаются гипохромия, реже гиперхромия, анемия, относительный лимфоцитоз, эозинофилия, иногда моноцитоз, повышение СОЭ [162].

При ингаляционном воздействии радионуклидов их трансформация в организме зависит от ряда условий, в том числе от физико-химических свойств, размеров частиц, растворимости в воде и других. Около 25 % частиц, попавших в организм через органы дыхания, выводятся

с выдыхаемым воздухом, около половины вначале осаждаются в верхних дыхательных путях, а затем проглатывается со слюной. Нерастворимые в воде изотопы перемещаются по желудочно-кишечному тракту, подвергая его местному облучению, и выводятся из организма примерно через 30 ч. Растворимые изотопы всасываются в легких, желудочно-кишечном тракте и усваиваются организмом, избирательно откладываются в критических органах и тканях [68, 140]. В первом периоде вклад ингаляционного поступления РВ и облучения от облака выброса в формировании дозовых нагрузок на организм, системы и органы сравнительно невелик [70].

Учитывая тот факт, что радиоактивные частицы, находящиеся в районе ЧАЭС [189] в воздухе и пыли, были в нерастворимой форме («горячие частицы») и то, что авария сопровождалась пожарами, экзотермическими реакциями в разрушенном реакторе и т. п., в воздухе присутствовали атомарный, газообразный радиоактивный йод и его соединения в газообразной форме, которые не улавливаются табельными средствами защиты органов дыхания фильтрующего типа, необходимо оценить нарушения бронхиальной проходимости и ФВД у ЛС, особенно работавшего у открытой двери (люка).

Одним из важнейших нерадиационных факторов, которым многие исследователи объясняют выявляемые изменения в функциональном состоянии организма, являются напряженность работы в экстремальной ситуации и субъективная оценка опасности облучения (радиофобия).

Большое значение имеет и нервно-психическое состояние людей: нередко бывает трудно отличить истинную ПР на облучение от психогенной [39].

В работах Ю.А. Александровского и соавторов [7, 8] по проблеме психической дезадаптации в экстремальных условиях описаны основные психогенные расстройства и состояния, наблюдавшиеся у ликвидаторов, развитие которых необходимо учитывать при организации и проведении научных исследований.

У части участников ЛПА на ЧАЭС формировались нервно-психические расстройства, носившие преимущественно доклинический характер: астенические реакции и астенические состояния, вегето-сосудистые расстройства [7, 13, 119].

Особенности стрессовых воздействий и своеобразии возникавших под их влиянием психогенных расстройств соответствовали трем условным периодам. В первый, острый период катастрофы, который начинается с момента аварии и продолжается в течение 7–10 дней, основным стрессовым воздействием является угроза жизни и здоровью

в связи с возможностью радиационного поражения. Во второй период — страх ближайших последствий, начинающийся с 7–10-го дня и длящийся около полугода: угрозы для жизни нет, но опасность утраты здоровья вследствие радиационной травмы сохраняется. В третий период продолжает существовать субъективно значимый фактор угрозы здоровью в связи с нахождением на загрязненной местности и опасностью возможности развития отдаленных последствий (опухолы, генетические дефекты у потомства). Таким образом, острая угроза жизни и здоровью в первый период после аварии сменяется длительной ситуацией пребывания на РЗМ, грозящей отдаленными радиационно-индуцированными последствиями. Одновременно на первый план выходят нерадиационные стресс-факторы, определяющие экстремальность ситуации: бытовые трудности, условия проживания, изменение характера питания, режима труда и отдыха, необычные физические и психологические нагрузки, т. е. изменение всего жизненного стереотипа. Они особенно значимы для людей старших возрастов и призванных из запаса.

Для всех периодов характерна первичная адаптация на начало работы в экстремальной ситуации в виде стресс-реакции. В картине последней преобладают эмоциональные нарушения: страх, тревога или депрессия. Наблюдаются психомоторные нарушения в виде возбуждения (речевого, двигательного) или торможения. Отмечалась у вновь прибывших некоторая бесшабашность — неприятие и невыполнение указаний, рекомендаций, правил радиационной безопасности. Проявления, наблюдавшиеся в рамках реакций адаптации, характеризовались возникновением чувства повышенной утомляемости, мышечной слабости, снижением выносливости. При этом в большинстве случаев имели место вегетативные расстройства: головокружение, сердцебиение, потливость; часть людей предъявляли жалобы на головные боли, тяжесть в голове. Вегетативные расстройства (колебания артериального давления, появление тошноты, головокружения) не были связаны с соматической патологией.

Для всех периодов также характерны повышенная утомляемость, апатия и адинамия, снижение настроения, головные боли, нарушение ночного сна, сонливость днем, расстройства памяти (запоминания), вегетативные нарушения, неадекватность аппетита и жажды. Наблюдались явления негативизма, страха, тревоги, навязчивые состояния. Люди склонны к действиям с повышенным риском из-за неадекватной оценки ситуации и поступков.

В первый период, когда сила и темп радиационного воздействия объективно избыточны, индивидуальные формы реагирования играют

меньшую роль и преобладают простые, относительно однотипные реакции в виде страха, тревоги и астении. Позже, когда стресс становится хроническим и рассматривается как жизненная трудность, индивидуальное восприятие его приобретает особую значимость. В этот период на первое место выходят фобии (радиофобия, канцерофобия и т. п.) и невротические состояния (страха, тревоги и т. п.) [6, 7, 8].

Приведенные данные позволяют исходя из целей и задач исследования сформулировать требования к выборке пострадавших, обеспечивающие уменьшение «информационного шума» за счет повышения однородности группы. Это должен быть ЛС, принимавший участие в ЛПА в один период аварии, работавший одинаковое количество дней (соответственно менее 10 суток для острого и более для протрагированного и хронического облучения), выполнявший задание в идентичных условиях.

К тому же, как указывает в своих работах, например Е. Ро-ship [223], сравнения эффектов у облученных и необлученных групп людей менее надежны, чем сравнения частоты интересующих нас эффектов у облученных при тех же условиях, но разными дозами. Такое исследование зависимостей от средней дозы позволяет не только выявить общий вид кривой доза–эффект, но и подтвердить, что превышение обусловлено облучением, а не другими факторами окружающей среды.

Как следует из описания материала исследования, обследованный ЛС в этом отношении уникален, так как почти полностью удовлетворяет вышеуказанным требованиям, а эффекты от имеющихся различий в интенсивности воздействия радиационных и нерадиационных факторов аварийной ситуации могут быть оценены с помощью соответствующих математико-статистических методов.

### **3.2. Клиническая характеристика обследованных**

Ретроспективный анализ результатов первичного обследования ЛС, находившегося в стационаре с трех по 45-е сутки с начала облучения в мае – июне 1986 г. (см. рис. 2.1, табл. 2.5) показал следующее.

Четырнадцать человек (17,1 %) в период работы отмечали расстройство самочувствия и снижение работоспособности. Большинство из них (8 человек, или 10,4 %) предъявляли жалобы астено-вегетативного характера на усталость, общую слабость, вялость, разбитость, снижение аппетита; 4 (5,2 %) — на сильные головные боли, сопровождавшиеся у одного человека головокружением и у второго тошнотой. Еще 4 человека (5,2 %) указывали на тошноту, изжогу, урчание



в животе или жидкий стул. На першение в горле, осиплость голоса, кратковременный кашель обращали внимание 2 человека (2,4 %). Еще у 2,4 % обследованных в период работы проявились симптомы острого респираторного заболевания (насморк, слезотечение, герпетические высыпания на губах).

Указанные расстройства развились к концу пребывания на РЗМ (на 3–4-й день облучения) и прошли самостоятельно после 3–4 дней отдыха.

Частота диагностики клинических синдромов у поступавших составила 41,5 %. Наиболее часто встречался гематологический синдром транзиторной цитопении (у 22 % обследованных) с преходящей лейко-лимфо-тромбоцитопенией в различных сочетаниях. В его картине преобладали изолированная тромбоцитопения (у 7 обследованных, или 8,5 %) и лейко-тромбоцитопения (у 5 человек, или 6,1 %).

Изолированная лейко- или лимфопения отмечалась одинаково часто, в 2,4 % случаев; реже всего регистрировались лейко-лимфопения и лимфо-тромбоцитопения, в 1,2 % случаев (т.е. по одному наблюдению).

Эпидермиты с гиперемией преимущественно открытых кожных покровов, себорейным шелушением кожи лица выявлены у 7 человек (8,5 %). Острый риноларингофарингит с жалобами на першение в горле, осиплость голоса, боли в области околоушных желез (при осмотре у этих облученных находили гиперемию и отечность слизистых ротоглотки, а у одного человека в межлопаточной области выслушивались сухие свистящие хрипы, проходящие после покашливания) и нейроциркуляторная дистония с неустойчивостью артериального давления с тенденцией к повышению (до 160 и 115 мм · рт.ст. систолического и диастолического соответственно) встречались с одинаковой частотой, у 6 человек (7,3 %). Астено-вегетативный-синдром с астенией и жалобами на плохой сон и аппетит диагностировался у 3 человек (3,7 %), гастроинтестинальный синдром с различными диспепсическими проявлениями (тошнотой, изжогой, обложенностью корня языка, урчанием в животе и болью при его пальпации) и острый двусторонний конъюнктивит с гиперемией конъюнктив и инъекцией склер встречались с равной частотой, у 2 человек (2,4 %). Сочетание нескольких синдромов у одного пациента являлось типичным.

Клинические проявления большинства расстройств исчезали через 10 дней с начала облучения (на 3–5-е сутки госпитализации).

Исключением явился гематологический синдром. Тромбоцитопения (до  $137 \times 10^9/\text{л}$ ) наблюдалась у пяти человек на 5–8-е сутки с начала облучения, но наиболее выраженное снижение до  $130 \times 10^9/\text{л}$

(у 7 человек, или 8,5 %) приходилось на 30–50-е сутки с начала облучения. Нормализация содержания тромбоцитов в периферической крови у этих лиц происходит после 180 суток.

Лейкопения (до  $3,1 \times 10^9/\text{л}$ ) регистрируется на 3–8-е сутки у 5 человек (6,1 %). В этот же период у 18 человек наблюдался выраженный лейкоцитоз (до  $12,8 \times 10^9/\text{л}$ ). Лейкопения (до  $3,3 \times 10^9/\text{л}$ ), развившаяся на 38–44-е сутки с начала облучения у четырех человек (4,9 %), не сопровождалась параллельным лейкоцитозом у других обследованных. Далее, до 150 суток у некоторых обследованных количество лейкоцитов находилось в пределах  $4,0\text{--}4,2 \times 10^9/\text{л}$ ; в оставшиеся полгода количество лейкоцитов ниже  $4,6\text{--}4,8 \times 10^9/\text{л}$  не регистрировалось.

Лимфопения (до  $0,35\text{--}0,94 \times 10^9/\text{л}$ ) развивалась в 4–8-е сутки у четырех человек (4,9 %). В эти же дни у 20 облученных наблюдался абсолютный лимфоцитоз (до  $4,7 \times 10^9/\text{л}$ ). В дальнейшем лимфопения (до  $1,0\text{--}1,2 \times 10^9/\text{л}$  у 4 человек) на 40–60-е сутки последним не сопровождалась. У отдельных обследованных на протяжении года регистрировалось содержание лимфоцитов в пределах  $1,6 \times 10^9/\text{л}$ .

Гематологический синдром преимущественно развивался у ЛС с дозой внешнего облучения 0,25–0,3 Гр и более. Выраженность и частота встречаемости других синдромов также имели тенденцию к увеличению с возрастанием дозы облучения.

Все обследованные получали лечение, направленное на ускорение выведения радионуклидов из организма и уменьшение их всасывания: аллохол (по 2 таблетки 3 раза в день в течение 10 дней), бромгексин (по 2 таблетки 3 раза в день в течение 10 дней), лазикс (3 таблетки — утром по одной таблетке через день), сенадэ (по таблетке на ночь, 5–10 дней), раствор йодида калия (3 % по столовой ложке после еды, 3–5 дней), а также в течение всего периода обследования назначался комплекс поливитаминов с микроэлементными добавками (цедевит и амивис).

При орофарингеальном синдроме проводилось симптоматическое лечение: полоскания с фталозолом, таблетки фалиминта (5–6 в день).

Два человека получили курс лечения по поводу остаточных явлений острого респираторного заболевания, и один — по поводу рваной раны IV межпальцевого промежутка, закрытого перелома основания фаланги V пальца правой кисти.

В результате обследования 10 (12 %) облученным, ранее признававшимся здоровыми, были установлены следующие диагнозы: трем лицам — «хронический гастродуоденит»; двум — «миокардиодистрофия» обменного или инфекционно-токсического генеза; по одному человеку — «миокардитический кардиосклероз», «хронический бронхит»,

«алиментарно-конституциональное ожирение» первой степени, «гепатодистрофия», «язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки в стадии ремиссии».

Всего же признаки обострения хронического гастродуоденита и язвенной болезни были выявлены при фиброгастродуоденоскопии у 5 человек (6,1 %), прошедших затем курс противоязвенной терапии.

После первичного обследования 72 человека выписались без изменения диагноза, экспертного заключения и категории годности, 10 человек — с впервые установленным диагнозом, 4 из них был предоставлен отпуск по болезни и назначено переосвидетельствование.

В течение года после работ на РЗМ 3 человека (3,7 %) перенесли острые респираторные заболевания по типу острого ринита или ларингофарингита.

За этот же период у 6 человек (7,3 %) появились различные невротические расстройства (приведшие к дисквалификации), не обусловленные дозой облучения и не подтвержденные гематологическими изменениями (обследованные не отмечали ухудшения самочувствия в период работы на РЗМ, жалоб при поступлении не предъявляли, отклонений в их общем статусе при первичном обследовании не выявлялось).

Таким образом, у 17,5 % обследованного ЛС в период работы на РЗМ в экстремальных условиях отмечались расстройства самочувствия и снижение работоспособности, а после работы у 41,5 % выявлялись клиничко-гематологические реакции, требующие оценки и установления связи с воздействием радиационных и нерадиационных факторов.

## Глава 4

# **СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕТНОГО СОСТАВА В БЛИЖАЙШИЙ ПЕРИОД РАБОТЫ НА РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Одной из главных задач в системе лечебно-профилактической работы является оценка функционального состояния организма ЛС в условиях воздействия ИИ. Основная трудность при разработке конкретных мероприятий — отсутствие количественных характеристик изменений параметров, отражающих деятельность жизненно важных систем организма ЛС.

В доступной литературе недостаточно сведений о влиянии сочетанного воздействия внешнего облучения, внутреннего и наружного заражения в небольших дозах на показатели обмена веществ в организме, функций внутренних органов. Поэтому анализ биохимических и других лабораторных данных, содержащихся в историях болезни обследованных в стационарных условиях после участия в ЛПА на ЧАЭС, представляется важным как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Для характеристики работоспособности и изменений клинических физиологических параметров с использованием методов математической статистики проводился «разведочный анализ» данных. Он позволил: выявить наиболее информативные показатели по каждому методу исследования, характеризующему функциональное состояние организма и работоспособность ЛС; определить основные взаимозависимости и тенденции изменения показателей; временную динамику установленных нарушений.

В настоящей главе описываются изменения количества форменных элементов периферической крови, реакция некоторых биохимических и иммунологических показателей после воздействия факторов радиационной аварийной ситуации; охарактеризованы нарушения функционального состояния КРС и работоспособности ЛС.

## **4.1. Реакция периферической крови и некоторых иммунологических и биохимических показателей**

Основное внимание при обследовании ЛС было обращено на изучение динамики изменения количества форменных элементов крови, биохимических сдвигов, поскольку это один из критериев определения степени тяжести лучевого поражения.

Перед описанием результатов следует заметить, что математико-статистической обработке подвергался годовой массив данных лабораторных анализов крови. Это не только допустимо в содержательном плане (так как из обзора следует, что достоверные колебания целого ряда гематологических параметров у пораженных наблюдаются на протяжении года после радиационного воздействия), но и обеспечивает решение одной из главных задач «разведочного анализа»: позволяет отобрать информативные показатели, связанные с интересующими нас внешними факторами. Сравнение степени влияния факторов возможно на основе процента объясненной дисперсии: если ее величина превышает 5 %, то это говорит о существенности вклада фактора в годовую динамику параметра и допустимы анализ и интерпретация его средних значений. Последние являются среднегодовыми значениями, поэтому должны рассматриваться как основание для определения тенденций изменений параметров, их взаимоотношений друг с другом.

Если же процент объясненной дисперсии менее пяти, то мы можем указать лишь на наличие связи (без интерпретации ее характера!) между внешним фактором и годовой динамикой данного параметра.

Точно так же (на всем контингенте обследованных) выявлялись параметры, претерпевавшие достоверные колебания в определенные временные интервалы на протяжении года с момента облучения (достоверно связанные с фактором времени), и затем описывалась динамика их средних значений в выделенные периоды.

**4.1.1. Связь изменений форменных элементов периферической крови, иммунологических и биохимических сдвигов у летного состава с воздействием радиационных и нерадиационных факторов.** Реакция периферической крови у обследованных, подвергшихся облучению, является полиморфной. Анализ данных показывает, что все рассмотренные нами радиационные и нерадиационные факторы оказывают достоверное влияние на годовую динамику изучавшихся показателей.

При рассмотрении отдельных показателей установлено следующее.

Показатель СОЭ достоверно зависит от возраста облученного человека (процент объясненной дисперсии — 7,1), продолжительности

облучения (1,8 %) и напряженности работы (1,6 %). При уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить и о влиянии места работы обследованного ЛС.

С возрастом средняя годовая величина СОЭ возрастает с 4,3 мм/ч (в группе до 30 лет) до 6,7 мм/ч (в группе старше 40 лет).

Количество гемоглобина связано с продолжительностью облучения (11,3 %) и профессией ЛС (1,0 %). На уровне значимости  $P < 0,1$  количество гемоглобина связано с дозой внешнего облучения.

С увеличением продолжительности облучения средние значения показателя количества гемоглобина снижаются со 156,8 г/л у облучавшихся 2 суток до 145,6 г/л у облучавшихся 6–10 суток.

Количество эритроцитов зависит от продолжительности облучения (8,7 %) и исходного состояния организма (наличием или отсутствием диагноза, 0,7 %), оно также зависит и от особенностей профессиональной деятельности на уровне значимости  $P < 0,1$ .

С увеличением продолжительности облучения средние значения показателя количества эритроцитов снижаются с  $4,73 \times 10^{12}/л$  (у облучавшихся 2 суток) до  $4,47 \times 10^{12}/л$  у облучавшихся 6–10 суток.

Величина цветного показателя не связана ни с одним из рассмотренных факторов.

На количество лейкоцитов и некоторые показатели лейкоцитарной формулы влияют все рассмотренные факторы, однако процент объясняемой дисперсии ни у одного из них не превышает пяти процентов. Наиболее же весом вклад дозы и продолжительности облучения, который достигает 2,2–2,6 %. Эти же результаты относятся и к абсолютным значениям отдельных клеток белой крови.

Показатель количества ретикулоцитов связан с дозой (2,1 %) и продолжительностью облучения (3,2 %), напряженностью работ (1,5 %) и профессией ЛС (1,1 %).

Количество тромбоцитов связано с продолжительностью облучения (3,2 %), возрастом (1,2 %) и исходным состоянием организма ЛС (0,9 %).

На годовую динамику калия сыворотки крови оказывают влияние: доза внешнего облучения (4,3 %), место работы (5,7 %) и возраст ЛС (3,9 %). Значения показателя у работавших только в кабине составили: 4,3 ммоль/л, у двери (люка) периодически — 4,18 ммоль/л, только у открытой двери (люка) — 4,6 ммоль/л.

Натрий сыворотки крови связан с напряженностью работы (3,5 %) и профессией ЛС (2,7 %).

Концентрация общего холестерина в сыворотке крови зависит от возраста (7,8 %), профессии (3,6 %) и места работы ЛС (3,5 %).

Средние значения показателя в группе до 30 лет — 5,98 ммоль/л, от 31 до 40 лет — 6,73 ммоль/л и старше 40 лет — 6,06 ммоль/л. На уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить о влиянии исходного состояния организма на годовую динамику общего холестерина сыворотки крови. Концентрация  $\alpha$ -холестерина сыворотки крови зависит только от дозы внешнего облучения: процент объясненной дисперсии годовой динамики показателя равен 4,4. На концентрацию  $\beta$ -холестерина влияют профессия (5,1 %) и возраст (3,9 %) ЛС. При уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить и о влиянии места работы обследованных. Наиболее высокие значения показателя  $\beta$ -холестерина сыворотки крови были у летчиков (4,65 ммоль/л), а самые низкие — у штурманов (3,77 ммоль/л); у борттехников — 4,31 ммоль/л. Годовая динамика пре- $\beta$ -холестерина сыворотки крови зависит от места работы (4,8 %) и возраста (3,6 %) ЛС.

Рассмотренные внешние факторы при уровне значимости  $P < 0,05$  не оказывают влияния на концентрацию в сыворотке крови иммуноглобулина G; при уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить о влиянии места работы и исходного состояния организма ЛС.

Концентрация IgA связана с напряженностью работ (6,7 %): самые высокие значения показателя были у лиц, испытывавших как повышенные физические, так и психоэмоциональные нагрузки, 163,2 МЕ/мл; самые низкие — у испытывавших только повышенные психоэмоциональные нагрузки, 138,2 МЕ/мл. В группе с повышенными физическими нагрузками среднее значение показателя концентрации IgA равно 147 МЕ/мл, в группе, указавшей на обычность полетов, — 161,2 МЕ/мл. При уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить о влиянии на него дозы внешнего облучения, места работы и исходного состояния организма ЛС.

Концентрация IgA связана только с продолжительностью облучения: процент объясненной годовой дисперсии показателя равен 4,7.

Общий белок сыворотки крови также связан только с продолжительностью облучения (3,6 %).

Показатели билирубинового обмена при уровне связи  $P < 0,05$  не связаны ни с одним из рассмотренных факторов. При  $P < 0,1$  установлена зависимость годовой динамики показателя концентрации общего билирубина сыворотки крови от дозы облучения и места работы ЛС. Концентрация непрямого билирубина зависит от продолжительности облучения.

На основании изложенного можно констатировать следующее.

1. Наиболее значимое влияние на годовую динамику иммунологических, биохимических и гематологических показателей оказывают

величина, продолжительность внешнего облучения и возраст, в меньшей степени — профессия, место работы и напряженность профессиональной деятельности. Наличие или отсутствие у обследованного заболевания, не препятствующего летной деятельности, существенно не влияет на рассмотренные показатели периферической крови.

2. Доза и продолжительность облучения связаны почти со всеми показателями общеклинического анализа крови, тогда как другие внешние факторы практически не оказывают на них влияния.

3. Только от дозы внешнего облучения зависит концентрация  $\alpha$ -холестерина сыворотки крови.

4. Только с продолжительностью облучения связаны концентрация  $IgM$  и общего белка сыворотки крови. Она же оказывает наиболее существенное влияние на содержание гемоглобина, эритроцитов, ретикулоцитов и тромбоцитов в периферической крови.

5. Напряженность труда на высоком уровне не связана ни с одним из показателей, зависящих от дозы и продолжительности облучения. Наиболее существенно ее влияние на концентрацию  $IgA$  и натрия в сыворотке крови.

6. Величина показателей общего,  $\beta$ - и пре- $\beta$ -холестерин сыворотки крови и электролитные нарушения определяются прежде всего, профессией, местом работы и возрастом обследованных. Кроме них наиболее существенное влияние на калий сыворотки оказывает доза облучения.

7. Годовая дисперсия величины СОЭ на 7,1 % объясняется возрастом обследованных.

8. Цветной показатель, процентное и абсолютное содержание юных нейтрофилов, концентрация иммуноглобулинов G в сыворотке крови и показатели билирубинового обмена при уровне значимости  $P < 0,05$  не связаны ни с одним из рассмотренных внешних факторов.

Установленные зависимости позволяют использовать соответствующие верифицированные показатели в исследованиях радиационных и нерадиационных эффектов. Примером такого применения является оценка результатов классификации пораженных в настоящей работе (см. гл. 5).

**4.1.2. Временная динамика изменения лабораторных анализов периферической крови.** Оценка временной динамики изменения рассматривавшихся показателей проводилась на основе анализа их дисперсии. Наиболее полно, как видно из табл. 2.10, представлен «временной срез» до 120–180 суток с начала облучения. Для биохимических, иммунологических показателей он еще короче, так как



после 60–120 суток по большинству из них проведено небольшое число исследований.

Из анализа следует, что часть показателей достоверно изменялась на протяжении года, другая — в первые 60–120 суток. Некоторые, к примеру тромбоциты, изменялись во 2–5-ю недели с начала облучения. Результаты обработки материалов представлены на рис. 4.1–4.11 в виде графиков средних значений достоверно менявшихся параметров, рассчитанных на всей выборке обследованных.

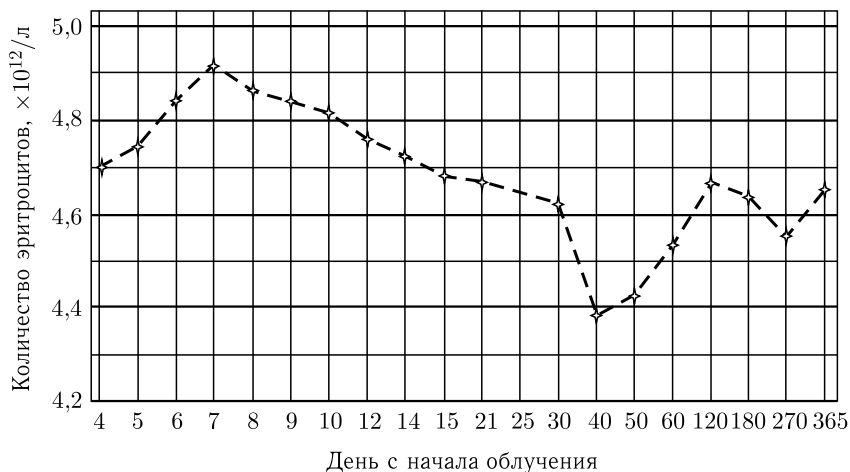


Рис. 4.1. Динамика изменения количества эритроцитов у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

В 4–7-е сутки после начала облучения увеличивалось количество эритроцитов (до  $4,92 \times 10^{12}/л$ ), ретикулоцитов (до 3,46 %) и гемоглобина (до 164 г/л) в периферической крови. Одновременно возрастало и содержание общего билирубина в сыворотке (до 18 мкмоль/л).

Количество лейкоцитов с 4-е по 7-е сутки оставалось около  $6,0 \times 10^9/л$ . Количество лимфоцитов также не менялось, колеблясь около  $2,0 \times 10^9/л$ .

С начала второй недели количество эритроцитов, ретикулоцитов и гемоглобина прогрессирующе снижалось и выходило на «плато» в конце второй–третьей недели ( $4,7 \times 10^{12}/л$ , 2,3 % и 152 г/л соответственно). Содержание же общего билирубина сыворотки снижалось и стабилизировалось в конце первой недели на уровне 8–10 мкмоль/л.

В эти же сроки регистрировалось увеличение количества лейкоцитов (до  $6,65 \times 10^9/л$ ) преимущественно за счет палочкоядерных нейтрофилов и абсолютного содержания лимфоцитов (до  $2,3 \times 10^9/л$ ). В конце

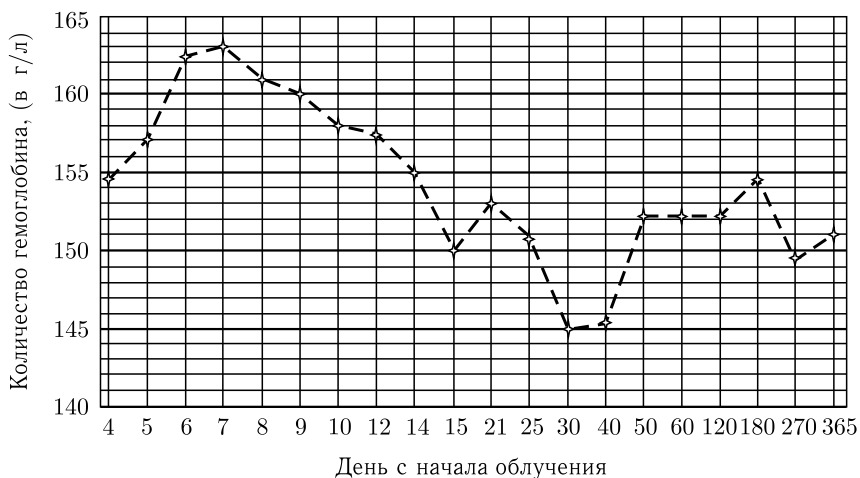


Рис. 4.2. Динамика изменения уровня гемоглобина у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

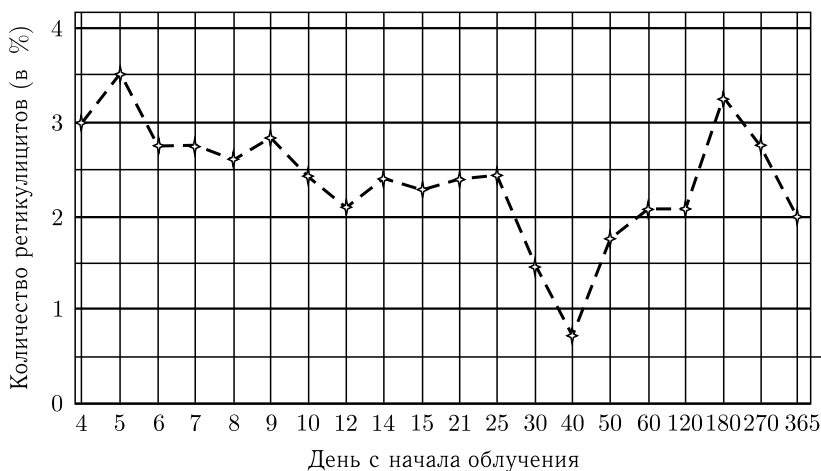


Рис. 4.3. Динамика изменения количества ретикулоцитов у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

второй недели количество лейкоцитов и лимфоцитов снижалось почти до уровня 4–6-х суток с начала облучения. Абсолютное же содержание палочкоядерных нейтрофилов, несколько снизившись, стабилизируется на более высоком, чем в 4–6-е сутки, уровне.

Статистическая обработка показала, что в первые две недели фактор времени объясняет 12 % дисперсии показателя количества эритроцитов, 9 % — ретикулоцитов, 14,5 % — гемоглобина и 38 % общего

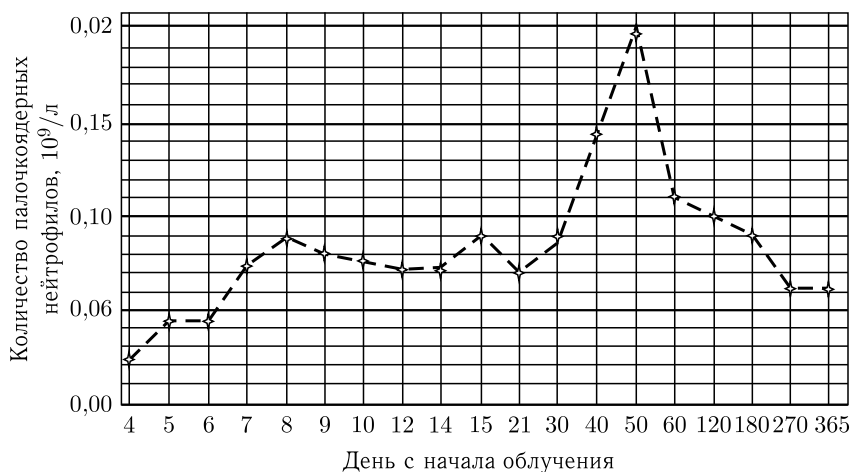


Рис. 4.4. Динамика изменения количества палочкоядерных нейтрофилов у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

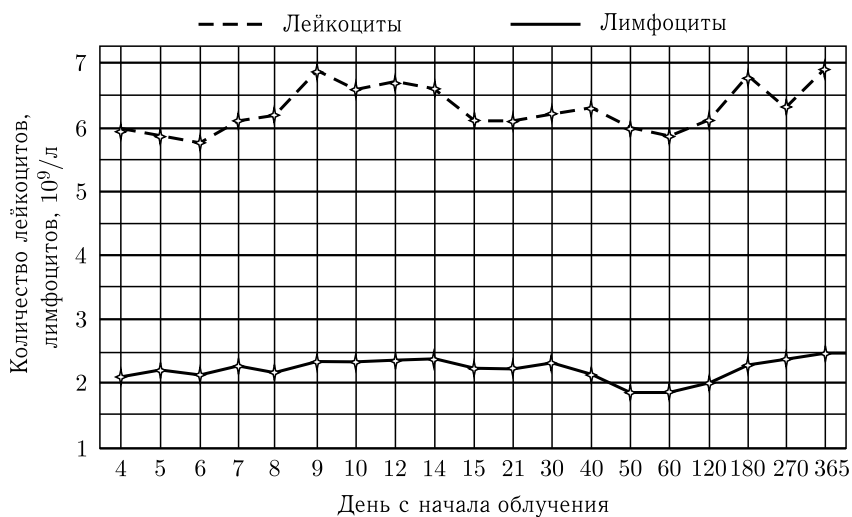


Рис. 4.5. Динамика изменения количества лейкоцитов и лимфоцитов у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

билирубина сыворотки крови. Процент объясненной дисперсии показателей количества лейкоцитов (4,9 %) и лимфоцитов (2,6 %) гораздо ниже. Более весом процент вклада временного фактора в дисперсию показателя абсолютного содержания палочкоядерных нейтрофилов — 8 %. То есть можно с определенной «уверенностью» утверждать наличие

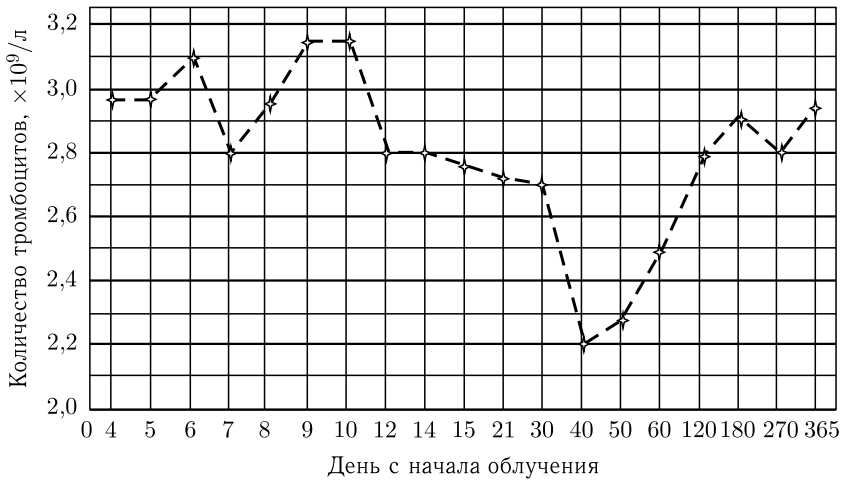


Рис. 4.6. Динамика изменения количества тромбоцитов у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

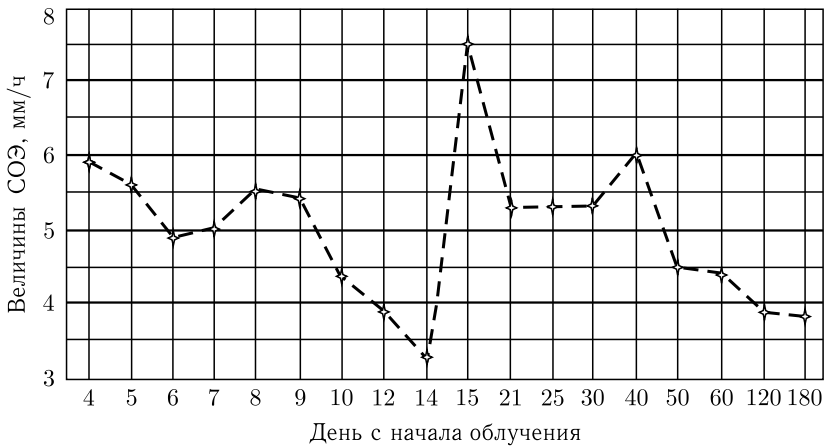


Рис. 4.7. Динамика изменения величины СОЭ у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

временной динамики и достоверно ее интерпретировать в этот период только у лейкоцитов и палочкоядерных нейтрофилов; эритроцитов, ретикулоцитов, гемоглобина и общего билирубина сыворотки.

В этот же период (до конца второй недели с начала облучения) количество тромбоцитов не претерпевает существенной временной динамики, оставаясь на уровне  $280\text{--}310 \times 10^9/\text{л}$ : фактор времени объясняет 4,9 % общей дисперсии количества тромбоцитов.

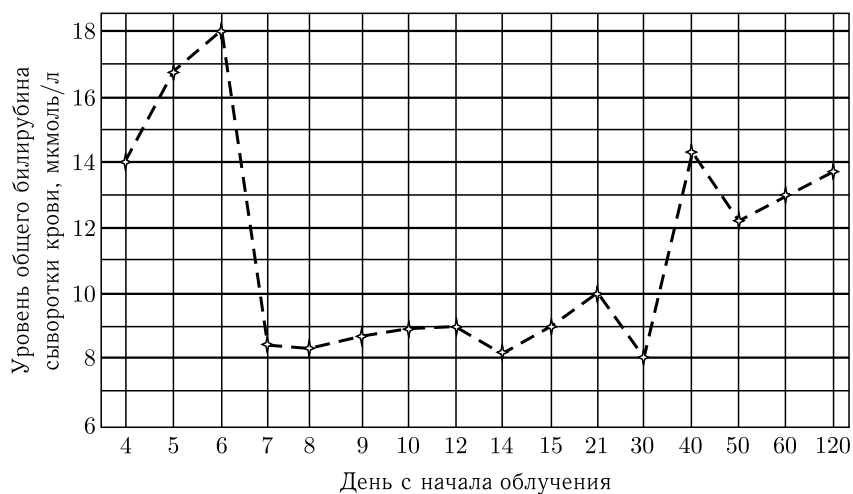


Рис. 4.8. Динамика изменения уровня общего билирубина сыворотки крови у вертолечников после выполнения задания на РЗМ

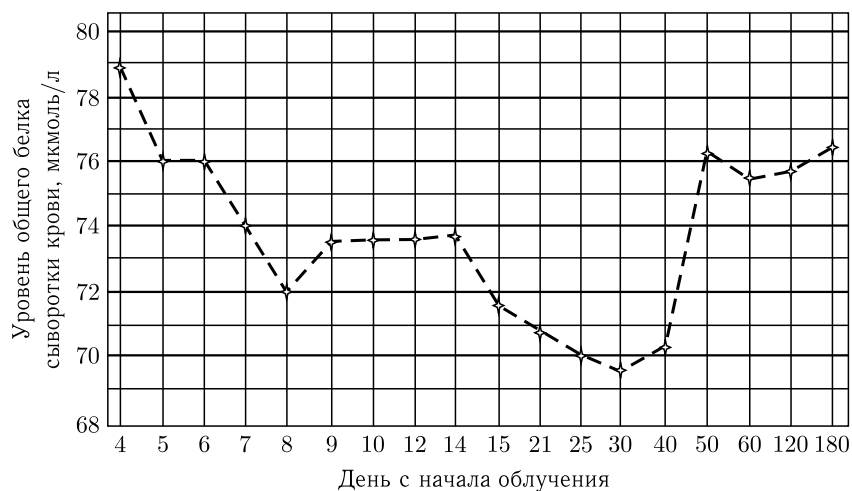


Рис. 4.9. Динамика изменения уровня общего белка сыворотки крови у вертолечников после выполнения задания на РЗМ

В конце 3–4-й недели регистрируется снижение количества эритроцитов и ретикулоцитов, достигающее минимума ( $4,38 \times 10^{12}/л$  и 0,7 % соответственно) к 40-м суткам с начала облучения. Количество гемоглобина достигает минимума (144,9 г/л) несколько раньше, к 30-м суткам, и не меняется до 40-х суток. Затем количество эритроцитов

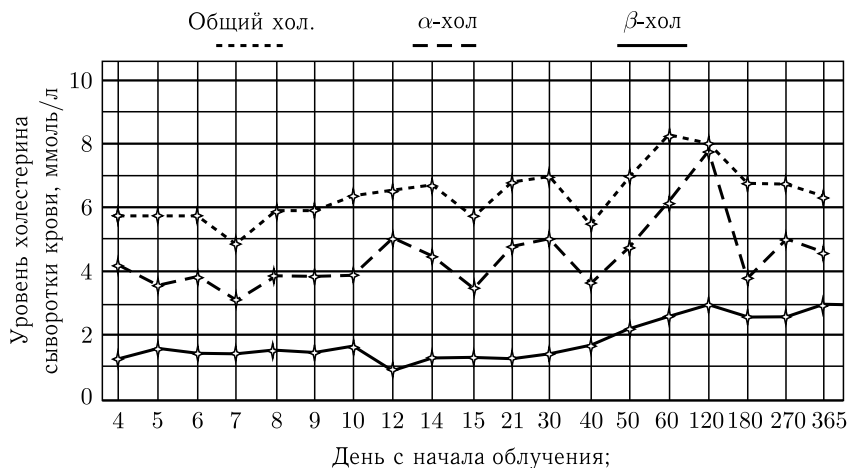


Рис. 4.10. Динамика изменения уровня холестерина сыворотки крови у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

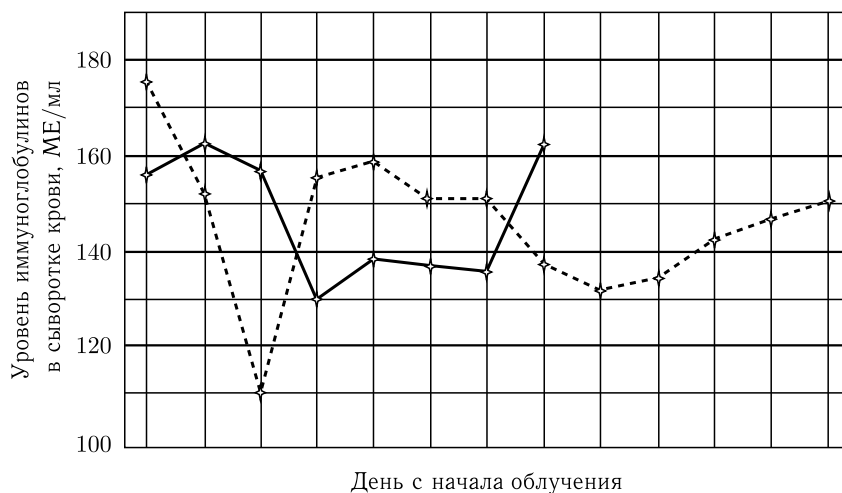


Рис. 4.11. Динамика изменения содержания иммуноглобулинов сыворотки крови у вертолетчиков после выполнения задания на РЗМ

и ретикулоцитов возрастает и достигает уровня 3–4-й недели с начала облучения к 120-м суткам.

Количество гемоглобина достигает этого уровня раньше, к 50-м суткам. Далее (на протяжении полугода) гемоглобин и эритроциты колеблются около 153 г/л и  $4,65 \times 10^{12}/л$  соответственно.

Содержание же ретикулоцитов, практически достигнув к 60–120-м суткам уровня 3–4-й недели, продолжает увеличиваться до 3,3 % к 180-м суткам, а к концу года оно снижается до уровня 3–4-й недели с начала облучения.

Общий билирубин сыворотки с 30–40-х суток возрастает с 8,0 до 14,2 мкмоль/л, затем к 50–60-м суткам снижается до 12–12,5 мкмоль/л. Далее (до 270-х суток с начала облучения) колеблется от 12,5 до 14 мкмоль/л. Увеличение общего билирубина происходит за счет не конъюгированной его фракции.

На 4–5-й неделе с начала облучения регистрировалось увеличение количества лейкоцитов в периферической крови до  $6,3 \times 10^9$ /л. Количество же лимфоцитов увеличилось лишь на 4-й неделе до  $2,3 \times 10^9$ /л. После указанных сроков наступает падение содержания лейкоцитов в периферической крови, достигающее минимальных значений к 60-м суткам: лейкоциты —  $6,9 \times 10^9$ /л и лимфоциты —  $1,8 \times 10^9$ /л. Абсолютное число палочкоядерных нейтрофилов возрастало до 50-х суток с начала облучения, достигая  $1,8 \times 10^9$ /л, и возвращалось к уровню 3-й недели с начала облучения к 180-м суткам.

Количество тромбоцитов, начав снижаться в 14–15-е сутки, достигает минимума ( $220 \times 10^9$ /л) к 40-м суткам. Далее начинается восстановление, завершающееся к 180-му дню.

Сравнивая проценты объясненной дисперсии рассмотренных показателей после 2-й недели с начала облучения, можно констатировать, что для количества эритроцитов, гемоглобина, палочкоядерных нейтрофилов и лейкоцитов он остается практически на том же уровне. Для ретикулоцитов и лимфоцитов происходит некоторое его увеличение, а наиболее выраженное для показателя количества тромбоцитов — с 4–9 % до 20–29 % в последующее время. Таким образом, эритроциты, гемоглобин и лейкоциты «равномерно» изменяются на протяжении всего года с начала облучения; ретикулоциты и лимфоциты — преимущественно после 2-й недели с начала облучения; общий билирубин — первые 2 недели с начала облучения. Основная динамика тромбоцитов приходится на 16–50-е сутки.

Из других показателей достоверны: временная динамика СОЭ, концентрации натрия, общего белка, иммуноглобулинов и холестерина сыворотки крови.

В 4–9-е сутки величина СОЭ колеблется около 5–6 мм/ч; к 12–14-м суткам снижается до 3,3–4 мм/ч. В 15-е сутки возрастает до максимума, 7,5 мм/ч. Далее (до 40-х суток) колеблется около 5,5–6 мм/ч и снижается до 4 мм/ч к 120–180-м суткам с начала облучения. Фактор времени объясняет 8 % годовой дисперсии показателя.

Концентрация натрия в сыворотке крови изменяется на протяжении года с начала облучения. Фактор времени объясняет 35 % его дисперсии. С 4-х к 6-м суткам происходит падение концентрации со 138 ммоль/л до 134,7 ммоль/л, что выходит за нижнюю границу нормы. Затем, с конца первой недели, его концентрация нарастает и стабилизируется около 142 ммоль/л до конца третьей недели. Далее регистрируется снижение концентрации, выходящее за нижнюю границу нормы, к 40-м суткам. Минимальное значение зарегистрировано в 51–60-е сутки — 134 ммоль/л. Нормализация содержания натрия в сыворотке крови происходит после 120-х суток с начала облучения, устанавливаясь около 138 ммоль/л.

Содержание общего белка в сыворотке крови в 3–4-е сутки с начала облучения составляет 79 г/л; в 5–6-е сутки — 76 г/л; к 8-м суткам снижается до 72 г/л. На протяжении 9–14-х суток оно поддерживается на уровне 73–73,5 г/л, затем снижается, достигая минимума (69 г/л) к 30-м суткам. Начинает возрастать после 40-х суток и к 50-м суткам достигает 76 г/л, стабилизируясь в дальнейшем. Фактор времени объясняет от 27 до 42 % дисперсии показателя.

Достоверна динамика содержания иммуноглобулинов G и A в сыворотке крови; зависимости изменения *IgM* во времени не установлено.

Содержание *IgA* снижается к 7-м суткам со 160 МЕ/мл до 128 МЕ/мл. Далее возрастает до 138 МЕ/мл и стабилизируется на этом уровне до 14-го дня, а затем восстанавливается на уровне 160 МЕ/мл.

Содержание *IgG* снижается с 172 МЕ/мл до 110 МЕ/мл с третьих к 6-м суткам, затем возрастает до 155–160 МЕ/мл к 7–8-м суткам и, стабилизировавшись, до 14-х суток остается на уровне 150 МЕ/мл. С 15-х по 21-е сутки держится около 135 МЕ/мл.

В первые две недели наиболее вариабельна концентрация *IgG* (33 % объясненной дисперсии), а объясненная дисперсия *IgA* составляет 19 %. С 16-х по 50-е сутки достоверно меняется концентрация лишь одного *IgG* (9,7 %). Статистически достоверные данные за дальнейший период отсутствуют.

Достоверно меняются во времени показатели холестерина обмена. С первых суток изменяется концентрация пре- $\beta$ -холестерина, которая несколько снижается в 5–7-е сутки от 0,41 ммоль/л до 0,34–0,29 ммоль/л, а затем возрастает до 0,47–0,48 ммоль/л в 9–10-е сутки. В 12–14-е сутки с начала облучения концентрация пре- $\beta$ -холестерина стабилизируется на уровне 0,4–0,45 ммоль/л до 50-х суток. Далее, до конца года с начала облучения, она держится на нижней границе нормы (0,26 ммоль/л).



Общий холестерин и  $\beta$ -холестерин в первые две недели с начала облучения достоверно не меняются, оставаясь в пределах нормы. В течение третьей недели нарастает концентрация общего и  $\beta$ -холестерина в сыворотке крови до 6,8 ммоль/л и 5,1 ммоль/л соответственно, превосходя верхнюю границу нормы. К 40-м суткам происходит снижение до минимальных зарегистрированных уровней (5,4 ммоль/л и 3,45 ммоль/л соответственно). Далее концентрация нарастает до максимальных регистрировавшихся значений. Общий холестерин достигает его к 60-м суткам (8,24 ммоль/л), а  $\beta$ -холестерин — к 120-м (1,96 ммоль/л). Возврат к норме происходит к 180-м суткам. В дальнейшем их концентрация колеблется у верхней границы нормы.

Концентрация  $\alpha$ -холестерина возрастает в первые пять суток, затем, стабилизировавшись на уровне 1,6–1,7 ммоль/л, в конце второй недели снижается до минимальных значений (0,8 ммоль/л). С третьей недели прогрессирующе возрастает до 120-го дня, достигая максимума (1,96 ммоль/л), превышающего верхнюю границу нормы, а затем в оставшиеся полгода колеблется у верхней границы нормы (1,82 ммоль/л).

**4.1.3. Заключение.** Из приведенных данных видно, что наибольшее влияние на показатели общеклинического анализа крови оказывают доза и продолжительность облучения; в меньшей степени — напряженность работ, профессия, место работы и возраст ЛС. Последние наиболее существенный вклад вносят в годовую динамику биохимических показателей. Таким образом, подтверждается приоритетное воздействие (по отношению к нерадиационным факторам) ИИ на систему кроветворения в экстремальных условиях радиационной аварии.

Исходное состояние организма (наличие заболевания, не препятствующего летной работе) обследованного контингента практически не имеет значения в изменении рассмотренных показателей, хотя достоверные связи с рядом из них установлены.

Только доза внешнего облучения оказывает влияние на годовую динамику  $\alpha$ -холестерина (4,4 %) и вносит существенный вклад в дисперсию концентрации калия (4,3 %) сыворотки крови; продолжительность облучения (работы) — на показатели количества эритроцитов (8,7 %) и гемоглобина (11,3 %). По сравнению с другими факторами она вносит

наиболее существенный вклад в годовую дисперсию величины ретикулоцитов (3,2 %) и тромбоцитов (3,2 %).

Напряженность работы в наибольшей степени определяет концентрацию  $IgA$  в сыворотке крови (6,7 %), натрия сыворотки крови (3,5 %), а также величину СОЭ (1,6 %) и количество ретикулоцитов (1,5 %).

Профессия и место работы влияют практически лишь на холестериновый обмен: показатели общего и  $\beta$ -холестерина (3,5–5,1 %) и концентрацию электролитов (калия и натрия) в сыворотке.

Возраст обследованных определяет в 7,1 % дисперсию годовой динамики и величины СОЭ, а также вносит существенный вклад в показатели холестеринового обмена (3,6–7,8 %) и калия сыворотки крови (3,9 %).

Анализ временной динамики показал, что биохимические и иммунологические показатели подвержены бóльшим изменениям, чем показатели общеклинического анализа крови.

Установлены характерные особенности временной динамики рассмотренных показателей. Часть из них равномерно изменяется на протяжении всего года с начала облучения (количество гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов); другие — в первые недели с начала облучения ( $IgA$ ,  $IgG$ ); количество тромбоцитов — во 2–5-ю недели; концентрация общего и  $\beta$ -холестерина, количество лимфоцитов — лишь спустя несколько недель с начала облучения; концентрация  $\alpha$ -холестерина — в первые пять дней и с конца второй недели на протяжении первого полугодия. Соответственно различно время развития максимальных отклонений того или иного показателя.

Таким образом, у ЛС выявлены достоверные иммуно-гематологические проявления воздействия экстремальных факторов радиационной аварийной ситуации, заключающиеся в том, что наиболее существенные колебания показателей наблюдаются в первые полгода с начала облучения. Большинство из них укладывается в пределы общепринятой физиологической нормы [17, 196, 197]. Восстановление (прекращение колебаний) рассмотренных показателей наступает лишь к концу первого года после работы и облучения.

Полученные результаты должны быть использованы при организации лечебно-диагностических и диспансерных мероприятий, а также при разработке классификации радиационных поражений в диапазоне доз до 1 Гр.

## 4.2. Функциональное состояние кардио-респираторной системы и физическая работоспособность летного состава

Как уже было сказано в разделе 2.2, нами применялся целый ряд методов исследования состояния ССС и респираторной системы. Полученные результаты были сформированы в массив данных и перенесены на магнитные носители для проведения анализа.

В литературе, посвященной описанию клинических проявлений лучевых воздействий, большое внимание уделяется состоянию ССС [34]. Ряд авторов указывает, что при облучении организма в дозах, не превышающих 0,5 Гр, изменения носят преходящий характер и могут трактоваться как доклинические формы отклонения в деятельности ССС, обусловленные начальной недостаточностью аппарата регуляции кровообращения. У лиц, облученных в дозах 0,2–0,5 Гр, в 33–40 % случаев отмечались проявления астено-невротического характера, у них была увеличена амплитуда колебаний артериального давления с тенденцией к гипотонии, но в 3 раза чаще — к гипертензии [34].

Тонус кровеносных сосудов при этом характеризовался неустойчивостью, что связывают с повышенной возбудимостью высших вегетативных отделов нервной системы, в большинстве случаев — с преобладающим влиянием симпатического отдела, что может привести к гипертензии. Предполагается, что в основе механизма снижения артериального давления лежит ослабление тонуса сосудов вследствие прямого влияния радиации на гладкую мускулатуру, а также действие гистаминоподобных веществ, образующихся в организме.

Подчеркивается, что под влиянием малых доз радиации возникают не только местные реакции особо радиочувствительных систем организма, но и так называемые *отраженные* реакции, осуществляемые при участии нервной и тесно связанной с ней эндокринной систем [40].

В многочисленных исследованиях установлена высокая чувствительность коры головного мозга к действию радиации. Первоначальные изменения в функциональном состоянии ЦНС наблюдались при облучении в дозе 0,05–5,0 Гр. Отмечается фазность в изменении ее функционального состояния под влиянием радиации: вначале имеет место повышение возбудимости, затем преобладание тормозных процессов в коре головного мозга [7].

Существенные изменения при лучевой болезни обнаруживаются со стороны ЭКГ: замедление внутрисердечной проводимости, сглаживание зубцов Р и Т, снижение вольтажа.

Представляет интерес выяснить, происходят ли аналогичные изменения при сочетанном действии нерадиационных факторов и ИИ в малых дозах.

В настоящем разделе изложены результаты «разведочного анализа», позволившего отобрать наиболее информативные показатели, связанные с внешними факторами (величиной и продолжительностью внешнего облучения; напряженностью и профессиональными особенностями работы; исходным состоянием организма), определить основные временные тенденции их изменений и взаимозависимости друг с другом.

**4.2.1. Изменения в функциональном состоянии кардио-респираторной системы организма и физической работоспособности, связанные с дозой внешнего облучения.** С возрастанием дозы внешнего облучения достоверно снижается частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое, о чем свидетельствует увеличение длины интервалов R-R на стандартной ЭКГ и ЧСС на ЭКГ перед велоэргометрией. Средняя ЧСС находится в пределах «нормокардии», но изучение взаимосвязей фактора дозы и изменений ЧСС, выраженной в нормативной шкале, позволяет установить, что с увеличением дозы возрастает частота встречаемости брадикардии (коэффициент контингентности —  $C = 0,34$ ).

Одновременно на ККГ регистрируется удлинение систолы предсердий ( $C = 0,3$ ), общей систолы (5,1 % объясненной дисперсии) за счет механической систолы (5,9 %), диастолы (9,3 %) за счет фазы медленного наполнения (10,9 %). При исследовании гемодинамики выявляется тенденция диастолического (ДАД, 6 %) и бокового артериального давления к повышению ( $C = 0,26$ ). Реакция же систолического артериального давления (САД, 3,6 %), величина гемодинамического удара (ГУ/0,  $C = 0,28$ ) и пульсового давления (ПД/0: Хи-квадрат = 17,1;  $DF = 8$ ;  $P = 0,03$ ;  $C = 0,3$ ) характеризуются тенденцией к снижению с возрастанием дозы внешнего облучения.

Снижаются значения вегетативного индекса Кердо (фактор дозы объясняет 9,6 % общей дисперсии показателя), что указывает на повышение тонуса парасимпатической нервной системы (ПНС) с увеличением дозы внешнего облучения и индекса Рида (4,4 % дисперсии), характеризующего уровень обменно-энергетических процессов в организме.

Показатели функции внешнего дыхания (ФВД) и бронхиальной проходимости также достоверно ухудшаются с увеличением дозы внешнего облучения. Достоверно ниже (с увеличением дозы облучения) фактические значения скоростных показателей и их отношения

к индивидуальным должным величинам. Чем выше доза, тем чаще регистрировался обструктивный тип вентиляционных нарушений ФВД ( $C = 0,21$ ) за счет обструкции крупных ( $C = 0,40$ ) и мелких ( $C = 0,46$ ) бронхов.

Регистрируются и достоверные изменения физической работоспособности и реакции ССС на физическую нагрузку в зависимости от дозы внешнего облучения.

С увеличением дозы достоверно снижается мощность выполненной максимальной ступени нагрузки (5,9%), тогда как должные ее значения в группах не различаются; возрастает величина прироста ЧСС. В результате проба чаще прекращается из-за достижения субмаксимальной ЧСС, а не должного субмаксимального уровня нагрузки, т. е. регистрируется снижение физической работоспособности или, если в меньшей степени, — хронотропного резерва сердца (ИХР). Поэтому вполне объяснимо, что с дозой внешнего облучения достоверно связано время восстановления исходной ЧСС.

Одновременно снижаются инотропный резерв сердца (САД во время максимальной ступени нагрузки достоверно ниже при большей дозе внешнего облучения) и производительность механической работы сердца (ПМРС) во время нагрузки. На этом фоне во время нагрузки с увеличением дозы облучения выше значение шокового индекса Альговера–Грубера. С увеличением дозы облучения реже встречаются изменения сегмента ST при нагрузке и нарушения проводимости.

Достоверно снижаются максимальное потребление кислорода, полученное косвенным способом (МПКК), кислородный пульс и потребление кислорода на килограмм массы тела.

Таким образом, установлена связь изменений в организме человека со стороны ССС и дыхательной системы с дозой внешнего облучения, состоящая в усилении тонуса ПНС, гемодинамических расстройств, замедлении процессов деполяризации и реполяризации в миокарде и нарушениях его сократимости, учащении встречаемости обструктивных типов вентиляционных нарушений ФВД, проявляющиеся в конечном счете в снижении резервных возможностей названных систем организма и ухудшении физической работоспособности человека.

**4.2.2. Связь изменений функционального состояния кардиореспираторной системы и физической работоспособности с продолжительностью облучения.** Достоверных связей ( $P < 0,05$ ) между электрокардиографическими изменениями и продолжительностью облучения не выявлено. Однако на уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить об улучшении состояния сердечной мышцы при увеличении

продолжительности работы с первых–вторых до 10-х суток, так как при этом снижается частота встречаемости врачебных заключений «изменения миокарда».

При анализе влияния фактора времени облучения на изменения показателей ТРГ установлено следующее.

У тех, кто работал 2 и 5 суток, чаще регистрировалась брадикардия — в 51 и 43 % соответственно, (Хи-квадрат = 16,8; DF = 8; P = 0,03; C = 0,3), что согласуется с достоверно большим снижением у них значений вегетативного индекса Кердо (соответственно для работавших 2; 3; 4; 5 и 6–10 суток:  $-14 \pm 2,1$ ;  $7 \pm 3,9$ ;  $-8,5 \pm 3,4$ ;  $-9,1 \pm 4,6$  и  $3,0 \pm 3,95$ , — при F = 3,18, степени свободы общей 185, межгрупповой 4, P = 0,015, проценте объясненной дисперсии 6,6), указывающего на преобладание тонуса ПНС над симпатической нервной системой.

Гипертензивный уровень ДАД в покое регистрировался только у облучавшихся 4 суток и менее. У тех, кто работал 5 суток, были только нормальные значения, а у работавших 6–10 суток — нормальные и гипотензивные уровни (Хи-квадрат = 26,7; DF = 8; P = 0,0008; C = 0,35).

Функция внешнего дыхания также страдает в зависимости от продолжительности облучения: фактические и относительные (выраженные в процентах к должным значениям) величины объема форсированного выдоха за одну секунду (ОФВ1), форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) и жизненной емкости легких (ЖЕЛ) были наихудшими у работавших 4 и 6–10 суток.

Показатели физической работоспособности также связаны с продолжительностью облучения: наихудшие значения фактически выполненной нагрузки (мощности последней ступени), МПКК, кислородного пульса, производительности механической работы сердца (ПМРС) регистрируются у работавших 1–2 и 6–10 суток.

Величина индекса инотропного резерва миокарда (ИИР) ниже всего у работавших 3 суток, несколько выше у тех, кто работал 2 или 6–10 суток. Соответственной была и реакция САД на нагрузку: у работавших 3 суток достоверно чаще регистрировалось ее отставание от уровня нагрузки.

Суправентрикулярная экстрасистолия во время ВЭМ (ТММ) наблюдалась в одном исследовании у работавшего 6–10 суток (Хи-квадрат = 14,9; DF = 4; P = 0,005; C = 0,25).

Таким образом, из приведенных результатов можно сделать вывод о наличии зависимости изменений функционального состояния ССС и дыхательной системы и, как результат, работоспособности ЛС

от продолжительности облучения, состоящее в том, что ухудшение достояния КРС и работоспособности выраженнее у работавших 2–3 и 6–10 суток.

**4.2.3. Значение напряженности летной деятельности для функционального состояния кардио-респираторной системы организма и физической работоспособности вертолетчиков.** Как уже было сказано, ЛС дал оценку напряженности своей работы в зоне аварии по сравнению с обычными полетами, что позволило рассмотреть вклад данного фактора в дифференциацию функционального состояния изучавшихся систем.

По данным ЭКГ в покое, можно констатировать наличие достоверной связи между уровнем напряженности труда и нарушениями синусового ритма ( $C = 0,25$ ). Максимальная частота встречаемости нарушений наблюдалась в первой и второй группах, т. е. с усилением психо-эмоциональной напряженности работ, возрастает частота отсутствия синусового ритма, который замещается предсердным ( $C = 0,25$ ).

Пробы с атропином, назначавшиеся обследованным с установленным предсердным ритмом, у лиц первой группы либо не проводились из-за самовосстановления нормального синусового ритма, либо были отрицательными. У лиц же четвертой группы, указавших на обычность нагрузок, все пробы были положительными и самовосстановления нормального синусового ритма не наблюдалось.

Существует достоверная связь напряженности труда с частотой регистрации синдрома ранней реполяризации желудочков (СРРЖ). Последний определяется как на рутинной ЭКГ, так и на исходной перед проведением пробы с дозированной физической нагрузкой, только во второй и третьей группах ( $C = 0,28$ ).

Состояние гемодинамики также достоверно связано с уровнем напряженности работы. Ударный индекс (УИ), минутный объем сердца (МО), сердечный индекс (СИ), объемная скорость выброса крови (ОСВ), мощность сокращения левого желудочка (МСЛЖ) и индекс эффективности работы сердца (ИЭРС) — самые высокие в первой группе и самые низкие, как правило, в четвертой, указывавшей на обычность нагрузок (6,7–8,7 %). Это подтверждают и оценки СИ, ОСВ и МСЛЖ в нормативной шкале.

Соответственно у представителей первой группы регистрировались только нормо- и гиперкинетические типы гемодинамики, а у представителей четвертой и второй групп встречался и гипокинетический тип ( $C = 0,27$ ).

Удельное периферическое сопротивление рабочее (УПСР, 6,4 %) и фактическое (УПСФ, 5,2 %) — наоборот, самые низкие в первой

группе и наиболее высокие у лиц, испытывавших преимущественно физические нагрузки. В результате самый высокий уровень САД при ВЭМ (ТММ) наблюдался в четвертой группе (3,7 %). Несколько меньше уровень последнего в группе с преобладанием физических нагрузок (третьей).

Из параметров ФВД достоверная связь ( $P < 0,05$ ) установлена лишь с величиной минутного объема дыхания (МОД): некоторая гипervентиляция покоя в первой группе работавших.

Состояние физической работоспособности и реакция ССС на физическую нагрузку от напряженности полетов находится предположительно в слабой и даже обратной зависимости, так как из всех показателей достоверно различие в группах только по МПКК на 1 кг массы тела: имеет тенденцию к снижению с уменьшением напряженности работ, что требует дальнейших исследований полученного феномена.

Таким образом, напряженность профессиональной деятельности внесла свой вклад в дифференциацию состояния КРС, характеризующегося нарушениями процессов автоматизма и возбудимости в сердечной мышце.

Гемодинамические сдвиги, укладывающиеся в картину гиперкинетического типа гемодинамики, тенденция к гипervентиляции покоя и к улучшению работоспособности (по всей видимости, на фоне повышения тонуса СНС) носят, скорее всего, адаптационный характер.

**4.2.4. Профессиональные факторы и изменения в состоянии кардио-респираторной системы организма и работоспособности летного состава.** Профессия и место работы обследованных достоверно связаны друг с другом. Летчики и штурманы чаще работали только в кабине, а борттехники или бортрадисты — у двери (люка) постоянно или периодически.

Достоверной связи между дозой внешнего облучения (в градации 0,1-0,2-0,3-0,4-0,5 Гр) и местом работы или профессией не выявлено.

Нет зависимости между оценкой напряженности труда и местом работы.

Нет разницы в распределении «практически здоровых и лиц с ранее установленными диагнозами» в профессиональных группах и работавших в разных местах.

Профессиональные различия электрокардиограммы касаются лишь ширины зубца Р и длины интервала QT, укладывающихся в общепринятые нормы: ширина зубца Р достоверно больше у борттехников, чем у летчиков, и не отличается от таковой у штурманов (5,2 %); длина



интервала QT — самая короткая у штурманов и достоверно различается с ее средними значениями у летчиков и борттехников (4,5 %).

Только у лиц, работавших постоянно у открытой двери (люка), в 8,3 % исследований наблюдалось укорочение времени атриовентрикулярной проводимости (укорочение интервала PQ); удлинение регистрировалось только у работавших в кабине постоянно в 1,6 % исследований, что не выходит за пределы естественных фоновых значений ( $C = 0,28$ ). «Изменения миокарда» у них не регистрировались, а отмечались у работавших у двери (люка) периодически — в 41 % исследований и только в кабине — в 31 % ( $C = 0,25$ ), что наблюдалось и на исходных ЭКГ перед ВЭМ (ТММ).

Гемодинамические сдвиги, характерные для трех профессиональных групп, заключаются в том, что артериальное давление (диастолическое, среднее — (СрАД), боковое) и значения индексов среднего динамического давления (ИСДД) и Аулика были самые высокие среди летчиков и самые низкие у штурманов. У летчиков же были самые низкие значения индексов Кердо и Старра, которые у штурманов самые высокие ( $P < 0,01$ ; процент объясненной дисперсии от 4 до 8).

При рассмотрении величины ДАД, БАД и СрАД, выраженных в нормативной шкале, видно, что частота встречаемости их гипотензивных значений выше всех у штурманов (в 29 %, 33 % и 1 % исследований соответственно), а гипертензивных — у летчиков: в 8 %, 21 % и 6 % соответственно ( $P < 0,05$ ;  $C = 0,2-0,34$ ).

Систолическое артериальное давление, расход энергии на перемещение 1 л крови самые высокие у борттехников, а самые низкие — также у штурманов.

Обструктивный тип вентиляционных нарушений ФВД достоверно связан с профессией и чаще наблюдался у борттехников (Хи-квадрат = 6,3;  $DF = 2$ ;  $P = 0,04$ ;  $C = 0,22$ ) в основном за счет нарушений на уровне крупных бронхов (Хи-квадрат = 0,6;  $DF = 2$ ;  $P = 0,049$ ;  $CO = 0,21$ ).

Место работы внесло наиболее существенный вклад в нарушения бронхиальной проходимости, которые чаще наблюдались у работавших у открытой двери (Хи-квадрат = 11,7;  $DF = 2$ ;  $P = 0,01$ ;  $C = 0,31$ ). Достоверны нарушения проходимости на уровне крупных и средних бронхов (Хи-квадрат = 12,2;  $DF = 2$ ;  $P = 0,0002$ ;  $C = 0,32$  и Хи-квадрат = 7,6;  $DF = 2$ ;  $P = 0,02$ ;  $C = 0,25$  соответственно). Для мелких бронхов зависимость сохраняется, но уровень значимости  $P < 0,1$ .

Реакция ССС на физическую нагрузку отличалась у лиц различных профессий и работавших в разных местах, однако последний фактор более существенно влиял на рассмотренные показатели.

С профессиональной принадлежностью связаны величины индекса инотропного резерва (5 % объясненной годовой дисперсии показателя), индекса Робинсона (двойного произведения, 5,8 %) и его прироста (4,9 %) при ВЭМ (ТММ): самый высокий у штурманов и самый низкий у борттехников.

Самые высокие значения САД наблюдались у работавших только в кабине. В 8,9 % случаев из них регистрировались гипертензивные реакции, у работавших же у двери (люка) периодически (в 11 % случаев) САД отставало от уровня нагрузки, а у работавших только у двери (люка) все реакции укладывались в норму, поэтому пробы прекращались из-за опережающего роста САД в 11 % у летчиков, в 4 % исследований (Хи-квадрат = 6,8; DF = 2; P = 0,036; C = 0,21) у штурманов, не достигнув должного субмаксимального уровня нагрузки. Всего же 24 % проб с дозированной физической нагрузкой у летчиков и 17 % у штурманов прекращались, не достигнув субмаксимального уровня (Хи-квадрат = 7,03; DF = 2; P = 0,029; C = 0,22). Поэтому время восстановления САД после нагрузки в этих группах достоверно различалось (процент объясненной дисперсии — 6).

В группах различались ЧСС исходное (3,4–6,1 %), индексы Кердо и Рида исходные, а также реакция ССС на нагрузку: ИХР, НИР, Робинсона, сердечный нагрузочный индекс (СНИ), прирост ЧСС, индекс среднего динамического давления (ИСДД). Самые высокие значения индекса Кердо наблюдались у работавших только у двери; у тех, кто работал только в кабине, — реакция ССС на нагрузку Робинсона, СНИ, ИСДД; у работавших у двери периодически — прирост ЧСС (ПЧСС), индекс Альговера–Грубера. Соответственно различалась и реакция ЧСС на нагрузку.

Нарушения ритма во время нагрузки чаще всего отмечались у штурманов (в 33 % исследований), у борттехников (в 17 % исследований) и реже у летчиков (в 4 % исследований; не выходят за пределы физиологического фонового уровня): Хи-квадрат = 19,7; DF = 2; P = 0,0001; C = 0,29. У тех, кто работал у двери постоянно, в 33 % исследований регистрировались нарушения ритма; у работавших периодически — в 15 %; у работавших только в кабине — в 5 %, что также не выходит за пределы физиологического фона (Хи-квадрат = 11,4; DF = 2; P = 0,003; C = 0,26).

Желудочковая экстрасистолия во время нагрузки чаще регистрировалась у работавших у двери постоянно (в 25 %), только в кабине (в 3,5 % исследований; Хи-квадрат = 12,96; DF = 2; P = 0,002; C = 0,28). У них же в 16,7 % установлено укорочение атриовентрикулярной проводимости во время нагрузки (C = 0,32). Нарушения

проводимости во время нагрузки чаще всего регистрировались у штурманов (в 36 % исследований) и борттехников (в 21 %); Хи-квадрат = 18,3; DF = 2; P = 0,001; C = 0,32. В основном нарушения представлены блокадой правой ветви пучка Гиса (ПВПГ) разной степени выраженности: у штурманов (в 36 %) и у борттехников (в 17 % исследований); Хи-квадрат = 34,8; DF = 4; P = 0,0000; C = 0,42.

У штурманов в 52 % пробы сопровождались изменениями сегмента ST, не превышающими допустимых отклонений, тогда как у летчиков и борттехников приблизительно в равной степени, т. е. около 30 % (Хи-квадрат = 10,3; DF = 4; P = 0,035; C = 0,26).

Итак, можно отметить, что профессиональный аспект исследования наиболее трудный, а полученные результаты далеко не однозначны и не окончательны. Это связано, как нам представляется, с практически идентичными условиями работы ЛС в пределах одного экипажа и малой численностью обследованных в подвыборках.

В целом, анализ показал, что выявленные нарушения, такие как «изменения миокарда» на стандартной ЭКГ и сегмента ST во время физической нагрузки, обструкция бронхов, экстрасистолия и расстройства проводимости (атриовентрикулярной и внутрижелудочковой) при физической нагрузке, в большей степени обусловлены местом работы (только у открытой двери), чем профессией ЛС. Причем профессиональная зависимость также соответствует более частому месту работы обследованного. Поэтому можно предположить связь данных нарушений с фактором внутреннего (ингаляционного) радиоактивного заражения организма.

Уширение же зубца Р на ЭКГ, гемодинамические сдвиги в покое и гипертензивная реакция САД на нагрузку, выявлявшиеся чаще у работавших только в кабине (у летчиков и в некоторых случаях у штурманов), связаны, по всей видимости, именно с профессиональными особенностями летного труда.

Различий в уровне физической работоспособности у представителей изученных профессиональных групп и у работавших в разных местах не выявлено.

**4.2.5. Влияние исходного состояния организма на выявляемые изменения в функционировании кардио-респираторной системы и работоспособности летного состава после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности.** Как уже описано в разд. 2.1, обследованы мужчины молодого и среднего возраста от 21 до 50 лет, разделенные нами на две группы «практически здоровых» и «лиц с ранее установленным диагнозом».

Изменения миокарда ( $P = 0,035$ ;  $C = 0,26$ ) регистрировались в возрасте 21–39 лет, это подтверждается и исходной ЭКГ перед нагрузочными пробами. В этой же группе наблюдались все случаи СРРЖ ( $P = 0,006$ ,  $C = 0,3$ ), причем чаще у лиц, имеющих заболевания:  $P = 0,055$ ,  $C = 0,14$  (по данным ЭКГ покоя) и  $P = 0,047$ ,  $C = 0,15$  (исходная ЭКГ перед ВЭМ (ТММ)).

Гемодинамические показатели, рассмотренные в настоящем исследовании, практически все зависят от возраста и диагноза обследованных. Однако сравнение объясненной дисперсии позволяет утверждать, что более существенно влияние возрастного фактора (ориентировочно в 2–2,5 раза), чем факта признания вертолетчика практически здоровым или установление какого-либо заболевания, не препятствующего летной деятельности.

С возрастом увеличивается значение средней ЧСС, уровней ДАД, СрАД, БАД и САД. Величины же ГУ, УИ, МО, СИ, ОСВ, ИЭРС, наоборот, снижаются. Все это происходит на фоне возрастания удельного периферического сопротивления (рабочего и фактического), расхода энергии на перемещение 1 л крови (РЭ), индекса Робинсона (годовая дисперсия СрАД, ИСДД и РЭ на 14 % объясняется возрастом обследованных; у лиц «с ранее установленными диагнозами» зависимости те же, но процент объясненной дисперсии не превышает 5).

Рассматривая показатели ФВД и бронхиальной проводимости, можно констатировать следующее. Фактические значения показателей ОФВ 1, ФЖЕЛ у молодых выше, но их средние величины, выраженные в процентах к должным значениям, не различаются и укладываются в общепринятые нормы. Возрастной фактор «объясняет» 7–8 % общей годовой дисперсии данных показателей.

В наибольшей зависимости от возраста находится показатель резервного объема выдоха (РО выд.), отражающий склеротические процессы в легких и уровень их эмфизематозности: у молодых выше и фактические, и относительные его значения (в процентах от должного).

С возрастом ухудшается и бронхиальная проходимость. «Реагирует» показатель ОФВ 1/ФЖЕЛ ( $P = 0,019$ , вклад в общую дисперсию 7,8 %), оставаясь в пределах общепринятой нормы.

На уровне значимости  $P < 0,1$  можно говорить о возрастании минутного объема дыхания (МОД) покоя с увеличением возраста.

Наличие или отсутствие заболевания объясняет 1–2 % общей дисперсии ряда достоверно различающихся показателей ФВД, что говорит о несущественности влияния рассмотренного фактора и/или невозможности адекватного анализа и заключения на данной выборке

лиц, не имеющих серьезной патологии со стороны респираторной системы.

Имеются достоверные связи между возрастом и причиной прекращения нагрузочных проб. Так, в группе 20–29 лет 47 % исследований прекращались не по достижении субмаксимального пульса при субмаксимальной нагрузке; в возрасте 30–39 лет таких только 14,6 %, а в старшей возрастной категории до 50 лет уже 83 % нагрузочных проб заканчивались, не достигнув субмаксимального пульса. Всего же 33 % исследований прекращались, не достигнув субмаксимального пульса у обследованных (Хи-квадрат = 17,9; DF = 2; P = 0,0001; C = 0,4). У «практически здоровых» ЧСС чаще отставала от уровня нагрузки, а у лиц «с диагнозами» опережала (Хи-квадрат = 14,6; DF = 4; P = 0,006; C = 0,29). Соответственно и пробы у последних достоверно чаще прекращались не по достижении субмаксимального уровня нагрузки (Хи-квадрат = 13,5; DF = 1; P = 0,0002; C = 0,29), что свидетельствует о более выраженном снижении у них функционального состояния КРС и работоспособности.

Все изменения сегмента ST регистрировались в возрасте 20–39 лет. В возрасте 20–29 лет 50 % исследований сопровождались изменениями сегмента ST, а в 30–39 лет — в 88,9 % (Хи-Квадрат = 6,17; DF = 1; P = 0,013; C = 0,22).

У лиц с «диагнозами» чаще регистрировалась желудочковая экстрасистолия во время нагрузки (Хи-квадрат = 8,52; DF = 1; P = 0,0035; C = 0,22). Это было в 11 % проб, тогда как у практически здоровых — в 1 % исследований.

Блокада ПВПГ разной степени выраженности встречалась в 12,7 % случаев с почти равной частотой в обеих группах (13,5 % и 11,4 % соответственно: Хи-квадрат = 7,4; DF = 1; P = 0,025; C = 0,21).

Таким образом, из полученных результатов можно сделать заключение: с увеличением возраста у ЛС, имеющего заболевания, регистрируются чаще и более выраженные нарушения в функциональном состоянии КРС организма и работоспособности после выполнения задания на РЗМ, заключающиеся в учащении регистрации на ЭКГ признаков изменения сердечной мышцы, нарастании гипертензии, повышении удельного периферического сопротивления, снижении фактических объемных и скоростных показателей функции внешнего дыхания. У «лиц с диагнозами» достоверно чаще во время нагрузки регистрировались желудочковая экстрасистолия, снижение хронотропного резерва сердца, и пробы прекращались не по достижении субмаксимального уровня нагрузки, а из-за опережающего прироста ЧСС.

В сравнительном отношении от возраста более существенно, чем от наличия заболевания (не препятствующего летной деятельности), зависит ответная реакция организма вертолетчика.

**4.2.6. Временная динамика выявленных расстройств.** Изучение влияния временного фактора проводилось на основе оценки его вклада в общую дисперсию рассматриваемого показателя и частотным таблицам встречаемости признака, значений категоризированного показателя (или выраженного в нормативной шкале) в определенный период после облучения.

При рассмотрении электрокардиографических данных во времени установлена достоверная динамика следующих показателей: ширины комплекса QRS (фактор времени объясняет 9,8 % годовой дисперсии показателя); длительности интервала (QT (10,7 %)); длительности интервалов R-R (9,4–11,4 %) и, как следствие, ЧСС покоя (9,3 %); частоты встречаемости нарушений регулярного синусового ритма.

Ширина комплекса QRS и длина интервала QT, характеризующих процессы деполяризации и реполяризации в миокарде, достоверно больше в первые 3 недели и 5 месяцев с начала работы и облучения на РЗМ соответственно. Значимы различия и в фазовой структуре сердечного цикла в указанный период.

Максимальное уширение комплекса QRS (в пределах нормы) наблюдалось в первые 5 суток и происходило за счет удлинения фазы быстрого изгнания (ФБИ), которая претерпевала в течение года наибольшие колебания (фактор времени объясняет 22,6 % годовой дисперсии показателя), и фазы изометрического сокращения (ИС), имеющей тенденцию к укорочению в течение года (максимальная длительность регистрируется на протяжении 4 месяцев с начала облучения, что указывает на снижение сократительной способности миокарда).

Индекс напряжения миокарда (ИНМ), показывающий, какая часть времени (в %) напряжения мышечных волокон затрачивается на подготовительную работу перед изгнанием, имеет тенденцию к снижению на протяжении года (8,7 %), что также указывает на улучшение состояния миокарда (его сократительной способности). Во вторую–третью недели после облучения его средние значения превышают верхнюю границу нормы (28 %), на протяжении последующих 3 месяцев близки к ней (27,4 %) и лишь спустя 5 месяцев находятся на нижней границе нормы.

Длина интервала QT имеет тенденцию к укорочению в течение года: с 0,365–0,367 с в 3–10-е сутки до 0,354 с к 20-м суткам; до 30-х суток среднее значение равно 0,37 с, затем укорачивается до 0,36 с на протяжении 2–5-го месяца с начала облучения. В конце

года длительность QT стабилизируется на уровне 0,348–0,349 с, что также укладывается в картину улучшения состояния миокарда.

Продолжительность диастолы (13,9 %), в основном за счет фазы медленного наполнения (ФМН, 18,9 %), имеет явную тенденцию к удлинению к концу года: с 0,48–0,54 с до 0,58–0,66 с и с 19 с до 0,27–0,33 с соответственно.

В годовой динамике R-R и ЧСС по данным ЭКГ покоя в первые десять дней с начала облучения нормокардия регистрируется в 66,7–70 % исследований, в 24–26,7 % исследований отмечалась брадикардия или брадиаритмия (нормобрадикардия) и в 6–6,7 % — тахикардия. Далее, до конца первого месяца, ЧСС характеризуется неустойчивостью: возрастанием встречаемости тахикардий в 11–20-е сутки или их отсутствием в последнюю декаду. В дальнейшем тенденция к брадикардии сохраняется (встречается в 8–16 % исследований) на протяжении всего года с начала работы и облучения на РЗМ, но особенно выражена в первые 5 месяцев (фактор времени объясняет 9,3–11,4 % годовой дисперсии показателей;  $C = 0,42–0,44$ ).

Нарушения нормального синусового ритма на ЭКГ в течение года регистрировались в 1,2 % исследований, что соответствует фоновому уровню. Однако в 11–20-е сутки в 10,5 % исследований наблюдалась миграция водителя ритма по предсердиям на вдохе, что является достоверным увеличением процентных соотношений встречаемости нарушений ( $C = 0,29$ ).

Из рассмотренных гемодинамических показателей наиболее вариабельны во времени уровень систолического и пульсового артериального давления и величина ГУ.

Систолическое артериальное давление на протяжении 65 суток с начала облучения в 26–50 % исследований было повышенным (по отношению к индивидуальным должным значениям); далее, до конца года, в 82,4–100 % исследований его величина находилась в пределах должных значений (фактор времени объясняет 7,2 % годовой дисперсии показателя;  $C = 0,26$ ).

Величина ГУ максимальна в первые 5 дней с начала облучения (26,7 мм · рт. ст.), а затем колеблется на протяжении года в пределах 20,6–24,5 мм · рт. ст. Таким образом, у ЛС, подвергнувшегося воздействию факторов радиационной аварии, в первые 3–4 недели с начала облучения наблюдается лабильность гемодинамических показателей в виде колебаний уровня ПД; на протяжении первых 2 месяцев гипертензивные уровни САД могут регистрироваться у 26–50 % обследованных, что требует соответствующих лечебно-профилактических мероприятий.

Установлена достоверная годовая динамика следующих показателей ФВД и бронхиальной проходимости: форсированной и жизненной емкости легких (фактических значений и отнесенных к индивидуальным должным в процентах); относительных величин объема форсированного выдоха за 1 с (ОФВ1), мгновенной скорости выдоха на уровне крупных бронхов (V75), пневмотахометрии выдоха (ПТМвыд.), емкости вдоха (Евд.) и значения отношения ОФВ1 к ФЖЕЛ.

Хотя все средние значения указанных легочных объемов и скоростных параметров в выделенные временные периоды находятся в пределах индивидуальных должных значений (за исключением ЖЕЛ, находящейся на нижней границе нормы), но спустя 3 недели с начала облучения регистрируется достоверное увеличение их средних значений, остающихся на этом уровне и в дальнейшем.

Реакция ССС на физическую нагрузку в динамике следующая.

Все гипертензивные реакции ДАД во время нагрузки зарегистрированы в первые 3-7 суток с начала облучения (Хи-квадрат = 33,5;  $P = 0,006$ ;  $DF = 16$ ;  $C = 0,44$ ).

Блокады ПВПГ регистрировались в 13–27 % исследований до 90-го дня с начала облучения. В первые 7 суток она наблюдалась в 27 % исследований, что является достоверным значением процентных соотношений (Хи-квадрат = 42,2;  $P = 0,0004$ ;  $DF = 14$ ;  $C = 0,48$ ).

Изменения зубца Т на ЭКГ при ВЭМ (ТММ) регистрировались в первые 3 недели (в первые 5 дней в 12,5 % исследований, на протяжении 6–14-х суток — в 10,5 %, на 3-й неделе — в 4,8 %), затем через 2 месяца (у повторно госпитализированных после отпуска по болезни) наблюдались в 44,4 % исследований и далее не отмечались.

Худшее значение фактически выполненной максимальной ступени нагрузки (тогда как должные значения не различались на протяжении года) наблюдались в первые 5 дней с начала облучения. В первые 2 недели низки показатели аэробной способности (АСП) и достигнутой ЧСС (в процентах от должного максимального значения: 220 минус возраст в годах). В целом же, средние величины фактически выполненной максимальной ступени нагрузки, МПКК и кислородного пульса говорят о том, что выраженного снижения работоспособности в какой-либо период не зарегистрировано.

Можно утверждать, что спустя 3–4 недели с начала облучения наступает восстановление физической работоспособности, т.к. показатели стабилизируются. Из представленных данных также следует, что у некоторых лиц ЛС данные изменения регистрируются и спустя 2–5 месяца (в этот период находились на повторном обследовании вертолетчиков после отпуска по болезни).



Вышеописанное позволяет сделать следующее заключение.

1. Наиболее существенные сдвиги в функциональном состоянии КРС вертолетчиков — участников ЛПА на ЧАЭС — отмечались в первые 5–7 дней с начала облучения. В этот период у них регистрировались брадикардия, некоторое замедление внутрижелудочковой проводимости и удлинение интервала QT на ЭКГ, т. е. нарушения процессов деполяризации и реполяризации в миокарде. Ухудшение сократительной способности сердечной мышцы проявлялось на ККГ удлинением фазы быстрого изгнания и изометрического сокращения, увеличением индекса напряжения миокарда и укорочением продолжительности диастолы за счет фазы медленного наполнения. Гемодинамические сдвиги заключались в повышении уровня САД и ПД, величины ГУ. Ухудшались показатели ФВД и бронхиальной проходимости, оставаясь в пределах нормы. В результате несколько снижалась работоспособность ЛС. Во время ВЭМ (ТММ) регистрировались: гипертензивные уровни ДАД, неполные блокады ПВПГ, изменения зубца Т на ЭКГ, снижение показателя аэробной способности и мощности выполненной максимальной ступени нагрузки.

2. Спустя 3 недели с начала облучения у большинства обследованных улучшается физическая работоспособность, восстанавливаются (стабилизируются): ширина комплекса QRS на ЭКГ, уровень ПД и величина ГУ, показатели ФВД и бронхиальной проходимости.

3. У некоторых вертолетчиков на протяжении 2–5 месяца после облучения сохраняются: тенденция ЧСС к брадикардии и гипертензивные уровни САД, некоторые нарушения сократительной способности миокарда, нарушения проводимости и изменения зубца Т во время ВЭМ (ТММ), некоторое снижение показателей физической работоспособности (АСП, МПКК и кислородного пульса).

4. Снижение физической работоспособности у ЛС в любой период после работы и облучения на РЗМ носило невыраженный характер.

**4.2.7. Заключение.** Как следует из изложенного, все рассмотренные радиационные и нерадиационные факторы вносят достоверный вклад в дифференциацию функционального состояния КРС и нарушения физической работоспособности вертолетчиков, выполнявших задание на РЗМ.

В наибольшей степени однонаправлены воздействия (вклады) дозы и продолжительности внешнего облучения (разд. 4.2.1 и 4.2.2); профессии и места работы (разд. 4.2.4); возраста и исходного состояния организма (разд. 4.2.5).

Клиническая картина кардио-респираторных расстройств была следующей.

У обследованных в течение года (особенно в первые 5 месяцев с начала облучения) отмечалась тенденция к брадикардии. В первый месяц ЧСС была нестабильной: в первую декаду регистрировалась выраженная брадикардия, во вторую — склонность к тахикардии, затем ЧСС вновь урежалась.

Степень выраженности и частота встречаемости брадикардии связаны с величиной и продолжительностью внешнего облучения. Доза облучения объясняет 4,6–6,7 % общей годовой дисперсии величины ЧСС (коэффициент контингентности  $C = 0,34$ ). Максимальные изменения регистрируются в группе работавших 2 и 5 суток ( $C = 0,30$ ). Сравнив величины коэффициентов контингентности, можно утверждать, что большее влияние оказывает величина внешнего облучения.

Согласуются с этими наблюдениями также величины вегетативного индекса Кердо, указывающего на усиление преобладания ПНС над СНС с возрастанием дозы (9,6 % объясненной дисперсии) и уменьшением продолжительности облучения (6,6 %). Профессиональные различия следующие: у летчиков были самые низкие значения индексов Кердо и Старра, тогда как самые высокие — у штурманов (процент объясненной дисперсии от 4 до 8).

Гемодинамические расстройства в значительной степени зависят от всех рассмотренных радиационных и нерадиационных факторов.

Сравнение воздействия факторов дозы облучения и напряженности профессиональной деятельности на показатели гемодинамики позволяет констатировать разнонаправленность реакций ССС с увеличением их интенсивности. Это является еще одним подтверждением зависимости проявления радиационного поражения от дозы облучения, приводящего к нарушению сократимости миокарда и снижению САД (3,6 %), ПД ( $C = 0,30$ ) и величины ГУ ( $C = 0,28$ ) на фоне повышения тонуса ПНС, наиболее выраженное у облучавшихся 2 и 5 суток (6,6 %). Наиболее низкие уровни САД регистрировались у штурманов, а высокие — у борттехников (4,5 %).

Ударный индекс (УИ), минутный объем сердца (МО), сердечный индекс (СИ), объемная скорость выброса крови (ОСВ), мощность сокращения левого желудочка (МСЛЖ) и индекс эффективности работы сердца (ИЭРС) — самые высокие в группе, указывавшей на повышенные психоэмоциональные и физические нагрузки (первой), и самые низкие, как правило, в четвертой, указывавшей на обычность нагрузок (6,7–8,7 %). Уровни ДАД, СрАД, БАД и САД выше у лиц старших

возрастов (вклад данного фактора в их годовую дисперсию около 14 %) и «имеющих диагнозы» (около 5 %).

Удельное периферическое сопротивление рабочее и фактическое (5,2 %) — наоборот, самые низкие в первой группе и наиболее высокие у лиц, испытывавших преимущественно физические нагрузки. В результате самый высокий уровень САД при ВЭМ (ТММ) наблюдался в четвертой группе (3,7 %). Несколько меньше уровень последнего в группе с преобладанием физических нагрузок (третьей).

Соответственно у представителей первой группы регистрировались только нормо- и гиперкинетические типы гемодинамики, а у представителей четвертой и второй групп встречался и гипокинетический тип ( $C = 0,27$ ).

Гипертензивные уровни САД, ПД и ГУ в покое наблюдались на протяжении 5 месяцев, а особенно первого, с начала облучения.

Гипертензивные уровни ДАД в покое наблюдались у летчиков ( $C = 0,22$ ; 7,5 % объясненной дисперсии) старших возрастов (15,6 %), имеющих диагнозы (5,2 %) и облучившихся в большей дозе (6 %) в течение 4 суток и менее ( $C = 0,35$ ). Сравнивая проценты объясняемой дисперсии и величины коэффициентов контингентности, можно утверждать, что наиболее существенное влияние на величину ДАД оказывают продолжительность облучения и возраст обследованных.

Гипертензивная реакция ДАД во время нагрузки наблюдается только в первые 7 суток с начала облучения в 6 % исследований.

Таким образом, радиационный фактор (доза и продолжительность облучения) и напряженность летной деятельности вызывают разнонаправленные гемодинамические сдвиги: облучение приводит к снижению САД, ПД и ГУ на фоне повышения тонуса ПНС, а стресс и профессиональные факторы — к повышению минутного объема кровотока и снижению тонуса прекапилляров. Гиперкинетический тип гемодинамики и повышенные уровни диастолического, среднего, бокового и систолического артериального давления наблюдались чаще в старшей возрастной группе и «имеющих диагнозы».

Установлена связь нарушений регулярного синусового ритма, который замещается предсердным с усилением психоэмоциональной напряженности работ ( $C = 0,25$ ). Наиболее часто миграция водителя ритма по предсердиям на вдохе наблюдалась на 11–20-е сутки с начала облучения.

Следует также отметить, что ширина зубца Р на ЭКГ достоверно больше у борттехников, чем у летчиков; она не отличается от таковой у штурманов (5,2 %); укорочение времени атриовентрикулярной прово-

димости (укорочение интервала PQ) наблюдалось только у работавших у открытой двери (люка) постоянно ( $C = 0,28$ ).

Нарушения процессов реполяризации и депполяризации в миокарде, ухудшение сократительной способности сердечной мышцы проявлялись в течение 2–5 месяцев. Данные нарушения зависят, прежде всего, от дозы внешнего облучения (5,1–10,9 %), хотя есть и некоторые профессиональные различия: длина интервала QT самая короткая у штурманов и достоверно различается с ее средними значениями у летчиков и борттехников (4,5 %).

Как уже отмечалось, с увеличением продолжительности облучения (с 1–2-х до 10-х суток) можно говорить, при уровне достоверности  $P < 0,1$ , об улучшении состояния сердечной мышцы, так как снижается частота встречаемости заключений «изменения миокарда». Данные изменения не встречались у работавших только у открытой двери (люка), а чаще отмечались у работавших у двери (люка) периодически и только в кабине ( $C = 0,25$ ). Связано данное заключение и с возрастом обследованных — все они относятся к группе 21–39 лет ( $C = 0,26$ ). В этом же возрасте зарегистрированы все изменения сегмента ST во время нагрузки ( $C = 0,39$ ). У штурманов изменения ST во время нагрузки, не превышающие пределы допустимых отклонений, встречались чаще всего (в 51 % проб), тогда как у летчиков и борттехников с приблизительно равной частотой около 30 % ( $C = 0,26$ ).

Из полученных результатов видно, что с увеличением дозы облучения реже встречаются изменения сегмента ST во время ВЭМ (ТММ). Место работы и профессия тоже оказывают достоверное влияние на изменения ST во время нагрузки. Причем наибольшая частота его изменений — у штурманов (при меньшей и равной между собой у летчиков и борттехников,  $C = 0,26$ ), имеющих наименьшую длительность сегмента QT на исходной ЭКГ (при большей и равной между собой у летчиков и борттехников), что при сравнении с результатом воздействия внешнего облучения (удлинение процессов реполяризации) подтверждает незначительность его вклада в изменения ST во время нагрузки.

Почти такое же влияние, как и профессия и место работы, вносит возраст облученных ( $C = 0,22$ ). Поэтому вышесказанное позволяет предположить, что нарушения процесса реполяризации в миокарде вызваны специфичностью профессиональной летной деятельности, возрастными особенностями и исходным состоянием организма.

Подтверждением этого предположения могут служить и следующие данные. Усиление психоэмоциональной напряженности профессиональной деятельности приводит к учащению нарушений автоматизма

и возбудимости миокарда: предсердный ритм замещает нормальный синусовый ( $C = 0,25$ ). В группах ЛС с преобладанием нервно-психических или физических нагрузок (второй и третьей) регистрировались все случаи СРРЖ ( $C = 0,28$ ). Летный состав с СРРЖ относится к категории 21–39 лет ( $C = 0,30$ ), причем чаще «диагнозы» ( $C = 0,14$ ). Укорочение времени атриовентрикулярной проводимости наблюдалось только у работавших постоянно у открытой двери ( $C = 0,28$ ). Связей с дозой и продолжительностью облучения не выявлено. Следовательно, нарушения процессов возбудимости (деполяризации) в миокарде обусловлены нервно-психической напряженностью работ и исходным состоянием сердечной мышцы.

Нарушения ритма во время нагрузки достоверно чаще отмечались у штурманов ( $C = 0,29$ ) и у работавших у двери периодически или постоянно ( $C = 0,26$ ). У лиц «с диагнозами» ( $C = 0,22$ ), работавших у открытой двери (люка) постоянно ( $C = 0,28$ ), чаще регистрировалась желудочковая экстрасистолия во время физической нагрузки. Суправентрикулярная экстрасистолия во время ВЭМ (ТММ) наблюдалась в одном исследовании у работавшего 6–10 суток.

Нарушения проводимости достоверно выше у борттехников и штурманов ( $C = 0,32$ ), также представленные в основном блокадами ПВПГ разной степени выраженности ( $C = 0,42$ ), встречающихся с равной частотой в группах здоровых и «с диагнозами» ( $C = 0,21$ ). С увеличением дозы облучения снижается частота нарушений проводимости, т. е. можно предположить обусловленность нарушений ритма и проводимости особенностями профессиональной деятельности, внутренним радиоактивным заражением организма, тем более, что связей с внешним облучением не установлено.

Сравнительный анализ вкладов радиационных и не радиационных факторов в изменения функционального состояния респираторной системы показал следующее. Нарушения ФВД и бронхиальной проходимости максимальны у лиц, облучившихся в большей дозе за 4 суток, и у облучавшихся 6–10 суток. Чем выше доза внешнего облучения, тем чаще регистрировались обструктивный тип нарушений ФВД; обструкция крупных и мелких бронхов. Однако бронхообструктивный синдром зависит и от других факторов — профессии и места работы.

Вклады перечисленных факторов в формирование обструктивного типа нарушений ФВД можно оценить по величине коэффициентов контингентности.

Обструктивный тип вентиляционных нарушений ФВД достоверно связан с местом работы ( $C = 0,31$ ) и профессией ( $C = 0,22$ ), чаще у борттехников и работавших только у открытой двери, причем место

работы как фактор опасности внутреннего заражения РВ вносит более существенный вклад.

Обструкция крупных бронхов меньше всего связана с профессией ( $C = 0,21$ ; чаще встречалась у борттехников), затем с местом работы ( $C = 0,32$ ; чаще у тех, кто работал у открытой двери) и в наибольшей степени определяется дозой внешнего облучения ( $C = 0,40$ ).

Обструкция средних бронхов определяется местом работы ( $C = 0,25$ ). Чаще наблюдалась опять же у работавших у открытой двери.

Обструкция мелких бронхов на достоверном уровне связана только с дозой внешнего облучения ( $C = 0,46$ ). О вкладе места работы в развитие бронхообструктивного синдрома можно говорить лишь на уровне значимости  $P < 0,1$ , но зависимость та же — максимальное ухудшение у работавших только у открытой двери (люка).

Если связи изменений на уровне крупных и средних бронхов представляются достаточно логичными, то определяющая роль фактора дозы внешнего облучения (в изучавшемся диапазоне) на развитие бронхообструкции мелких бронхов нами в литературе не встречалась и требует дальнейших исследований.

Нарушения физической работоспособности наиболее выражены в первую неделю с начала облучения у ЛС старших возрастов и «имеющих диагнозы». У большинства обследованных восстановление функционального состояния КРС и физической работоспособности наступало через 3 недели. У некоторых пострадавших компенсация нарушений происходила лишь через 2–5 месяца.

**Таким образом, можно сформулировать следующие выводы.**

1. Доказана зависимость изменений в организме человека со стороны ССС и дыхательной системы от продолжительности и дозы внешнего облучения, развивающихся на фоне повышения тонуса ПНС.

2. Установлено снижение физической работоспособности человека, связанное преимущественно с дозой и продолжительностью (у работавших 2–3 и 6–10 суток) внешнего облучения.

3. Усиление психоэмоциональной напряженности профессиональной деятельности приводит к повышению тонуса СНС и развитию достоверных изменений в функциональном состоянии ССС, носящих, по всей видимости, компенсаторный характер и направленных на поддержание работоспособности ЛС.

4. Внутреннее радиоактивное заражение организма (оцененное по месту работы) приводит к нарушениям ритма и проводимости, процессов реполяризации в миокарде во время физической нагрузки, обструктивному типу вентиляционных нарушений ФВД.

5. Установлены некоторые изменения в функциональном состоянии ССС, связанные с профессиональными особенностями деятельности ЛС при работах на РЗМ. Место работы оказывает более существенное влияние, чем профессия вертолетчика.

6. С увеличением возраста и ухудшением исходного состояния организма чаще регистрируются и более выраженные нарушения в функциональном состоянии КРС и работоспособности ЛС после полетов и облучения на РЗМ. Возраст в 2–2,5 раза оказывает более существенное влияние, чем наличие заболевания, не препятствующего летной деятельности.

Восстановление функционального состояния КРС организма и физической работоспособности у большинства вертолетчиков наступает спустя 3–4 недели с начала работы и облучения на РЗМ. У некоторых компенсация нарушений происходит лишь через 2–5 месяца.

### 4.3. Резюме

Ретроспективный анализ результатов клинического обследования 82 вертолетчиков, выполнявших задания на РЗМ на протяжении 2–10 суток в острый период аварии на ЧАЭС, показал, что 17,1 % из них в период работы отмечали расстройства самочувствия и снижение работоспособности. Большинство (10,4 %) предъявляли жалобы астено-вегетативного характера на усталость, общую слабость, вялость, разбитость, снижение аппетита; 4 (5,2 %) — на сильные головные боли, сопровождавшиеся у половины головокружением или тошнотой; еще 5,2 % указывали на тошноту, изжогу, урчание в животе или жидкий стул; на першение в горле, осиплость голоса, кратковременный кашель обращали внимание двое (2,4%); у 2,4 % обследованных в период работы проявились симптомы острого респираторного заболевания.

Указанные расстройства развились к концу пребывания на РЗМ (на 3–4-й день облучения) и прошли самостоятельно после 3–4 дней отдыха.

Различные клинические синдромы диагностировались у 41,5 % поступавших на первичное обследование. Наиболее часто встречался гематологический синдром транзиторной цитопении (у 22 % обследованных) с преходящей лейко-лимфо-тромбоцитопенией в различных сочетаниях. В его картине преобладала изолированная тромбоцитопения (у 7 обследованных, или 8,5 %) и лейко-тромбоцитопения (у 5 человек, или 6,1 %). Изолированная лейко- или лимфопения отмечались одинаково часто (в 2,4 % случаев), реже всего регистрировались

лейко-лимфопения и лимфо-тромбоцитопения (в 1,2 % случаев, т. е. по одному наблюдению).

Эпидермиты выявлены у 7 человек (8,5 %); острый риноларингофарингит и нейроциркуляторная дистония с неустойчивостью артериального давления с тенденцией к повышению встречались с одинаковой частотой — у 6 человек (7,3 %). Астено-вегетативный синдром диагностировался у 3 человек (3,7 %), гастроинтестинальный синдром с различными диспепсическими проявлениями и острый двусторонний конъюнктивит встречались с равной частотой у 2 человек (2,4 %). Сочетание нескольких синдромов у одного пациента являлось типичным.

Клинические проявления большинства расстройств исчезали через 7–10 дней с начала облучения (на 3–5-е сутки госпитализации).

Выявленные клинико-гематологические реакции потребовали оценки и установления связи с воздействием радиационных и нерадиационных факторов.

В результате математико-статистической обработки результатов обследования установлено, что все рассмотренные факторы — продолжительность и доза облучения, особенности профессиональной деятельности, такие как напряженность труда, профессия и место работы, исходное состояние организма (возраст и наличие какого-либо заболевания) — вносят достоверный вклад в описанную клинику поражений. Получен список верифицированных показателей лабораторных и инструментальных методов диагностики, применявшихся в настоящем исследовании, достоверно связанных с определенным фактором.

Установлено, что наиболее согласованы (однонаправлены) воздействия продолжительности и дозы облучения, профессии и места работы, возраста и исходного состояния организма. Также определено, что более существенно воздействие дозы, чем продолжительности облучения; места работы, чем профессии вертолетчика; возраста, чем отсутствие или наличие заболевания, не препятствующего летной деятельности.

Наиболее значимое влияние на годовую динамику иммунологических, биохимических, электролитных и гематологических показателей оказывают величина и продолжительность внешнего облучения, возраст ЛС; в меньшей степени — профессия, место работы и напряженность профессиональной деятельности. Наличие у обследованного заболевания, не препятствующего летной деятельности, существенно не влияет на рассмотренные показатели периферической крови.

Нерадиационные факторы наиболее существенный вклад вносят в годовую динамику биохимических и электролитных показателей,



т. е. подтвердилось приоритетное воздействие (по отношению к нерадиационным факторам) ИИ на систему кроветворения в экстремальных условиях радиационной аварии.

Анализ временной динамики показал, что биохимические, иммунологические и электролитные показатели подвержены большим изменениям, чем показатели общеклинического анализа крови; наиболее существенные колебания показателей наблюдаются в первые полгода с начала облучения. Большинство из них укладывается в пределы общепринятой физиологической нормы. Восстановление (прекращение колебаний) рассмотренных показателей наступает лишь к концу первого года после работы и облучения.

Реакция КРС на облучение в условиях экстремальной ситуации также зависит от всех рассмотренных факторов.

Снижение физической работоспособности человека связано преимущественно с дозой и продолжительностью (у работавших 2–3 и 6–10 суток) внешнего облучения, развивающееся на фоне повышения тонуса ПНС.

Усиление психоэмоциональной напряженности профессиональной деятельности приводит к повышению тонуса СНС и развитию достоверных изменений в функциональном состоянии ССС, носящих, по всей видимости, компенсаторный характер и направленных на поддержание работоспособности ЛС.

Установлены некоторые изменения в функциональном состоянии ССС, связанные с профессиональными особенностями деятельности ЛС при работах на РЗМ. Место работы (как косвенный показатель внутреннего радиоактивного заражения организма) оказывает более существенное влияние, чем профессия вертолетчика, приводя к нарушениям ритма и проводимости, процессов реполяризации в миокарде во время физической нагрузки, обструктивному типу вентиляционных нарушений ФВД.

С увеличением возраста и ухудшением исходного состояния организма регистрируются чаще и более выражено нарушения в функциональном состоянии КРС и работоспособности ЛС после полетов и облучения на РЗМ.

Максимальные расстройства со стороны КРС и физической работоспособности у ЛС наблюдаются в первую неделю с начала облучения. У большинства обследованных восстановление функционального состояния КРС и физической работоспособности наступает через 3 недели. У некоторых пострадавших компенсация нарушений происходила лишь через 2–5 месяца.

Таким образом, работа и облучение в дозе от 0,1 до 0,5 Гр на протяжении 2–10 суток на РЗМ в экстремальных условиях радиационной аварии приводят к достоверным изменениям количества форменных элементов периферической крови, иммунологическим и биохимическим сдвигам, электролитным нарушениям, ухудшению функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма и, как результат, снижению физической работоспособности человека. Максимальные расстройства наблюдаются в течение первой недели с момента облучения. Восстановление функционального состояния организма наступает у большинства облученных через 3 недели. У некоторых на протяжении 2–5 месяцев могут регистрироваться достоверные гемодинамические расстройства, нарушения сократительной способности миокарда, ритма и проводимости, некоторое снижение физической работоспособности. В этот же период происходят достоверные изменения содержания форменных элементов периферической крови, биохимических и электролитных показателей, требующие пристального медицинского наблюдения, так как многие из них укладываются в общепринятые физиологические нормы. Восстановление (стабилизация) большинства из них наступает лишь к концу первого года с начала облучения.

Материалы настоящей главы открывают возможность для построения классификации и многомерных моделей, позволяющих глубоко и научно обоснованно прогнозировать состояние организма человека после облучения в условиях экстремальной ситуации.

## Глава 5

# КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРАЖЕННЫХ ПРИ ВНЕШНЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

### 5.1. Методология политетической классификации

Многочисленные авторы делали попытки дать общеприемлемое, методологически обоснованное определение классификации. Как можно убедиться на примере различных определений [78, 90, 152], классификации рассматриваются и как процесс соподчинения понятий (объектов), и как система соподчиненных понятий (объектов), причем не дается обобщенного методологического правила, отражающего сущность этих понятий. Учитывая гносеологический аспект, заметим, что классификация не может быть ничем иным, как определенным образом организованным процессом познания объектов окружающего мира; отметим также, что у термина «классификация» есть множество синонимов: систематика, группировка, таксономия, типология и др. В дальнейшем изложении будет употребляться только один термин — «классификация».

Классификация — это процесс упорядочения объектов или понятий по их схожести и различию в какой-либо количественной мере и в пределах единого качества, результаты которого определяются в виде дендрограмм, таблиц, схем и др. Количественная мера может быть выражена в любых шкалах измерения, т. е. и номинальной. Например, 1 или 0 — присутствие или отсутствие какого-то признака.

Целью классификации можно считать выявление закономерностей отношений между классами объектов и связей между объектами внутри классов. Задачи классификации могут быть самыми различными, и их постановка зависит от конкретных практических потребностей.

Из всего множества вопросов классификации остановимся подробнее на двух типах классификационных процедур — монотетической и политетической.

Такое деление классификации на одномерную (еще ее называют монотетической) и многомерную (политетическую) оправдано не только количеством рассматриваемых признаков, но и различиями в принципах соотнесения формальных сторон алгоритмов классификации с содержательным пониманием типов объектов.

Под монотетической классификацией понимается процесс упорядочения объектов на классы, согласно заранее задаваемому из практических соображений правилу, на основе одного либо множества последовательно вводимых в рассмотрение признаков.

Политетическая классификация предполагает определение принадлежности к классам «статистически» «большинством голосов», и ни один из признаков однозначно не определяет принадлежности к определенному классу. При этом рассматривается не бесконечное, а определенное множество признаков, возможные сочетания их значений и градаций и выделяются группы объектов (классы), наиболее близкие между собой внутри класса и наименее близкие к объектам других классов.

Естественно, что при одномерной классификации определенные представления о типах объектов должны быть оформлены заранее. Это приводит к тому, что результаты проводимых классификационных процедур в большинстве своем представляют стихийно сложившуюся совокупность частных номенклатур и классификаторов [82]. Только отдельные классификационные построения, базирующиеся на таланте и большом опыте исполнителей, в достаточной мере удовлетворяют требованиям практики и обеспечивают последующую диагностику с высокой степенью точности. Причина тому — принципиально ограниченные возможности одномерных классификаций в точности описания реально существующих, особенно сложных объектов, встречающихся в медицине. Именно поэтому в медицинских и радиологических исследованиях актуален вопрос об эффективном применении процедур политетической классификации, что встречает достаточные трудности в связи с необходимостью использования методов многомерного статистического анализа [222].

Математические методы, используемые для процедур политетической классификации, весьма разнообразны [3, 56, 124]. Наиболее же употребительны различные кластеризации и группировки, задача которых состоит в разделении множества точек (объектов) на кластеры так, чтобы каждая точка принадлежала одному и только одному подмножеству. Методы кластер-анализа в свою очередь также насчитывают сотни алгоритмов группирования.

Несмотря на большое разнообразие математических алгоритмов кластерного анализа и уже достаточный срок со времени формирования его идеи в современном виде Р. Трионом в 1939 г. (хотя аналогичное понятие числовой таксономии появилось еще раньше, в начале столетия), до начала 1970-х гг. они мало использовались в различных областях знания, а в медицинских исследованиях отмечались лишь единичные примеры таких работ. При реализации внешне простой и красивой идеи политетической классификации разнообразными математическими методами научные и практические результаты проводимых исследований оставляли желать лучшего. Чаще всего это объясняют тем, что практическое применение данных процедур стало возможным с развитием ЭВМ и специального программного обеспечения. Однако думается, что ограничиться только этим было бы неверным. Основными трудностями можно считать следующие: получение компактных, хорошо отделяющихся друг от друга кластеров; психологическую неготовность пользователей к восприятию результатов кластер-анализа в ее специфической форме; как следствие — во многих случаях содержательная неопределенность при интерпретации и оценке полученных классов.

Разрешение этих трудностей происходило двумя основными путями: во-первых, созданием новых методов «поиска кластеров», приведшее в конечном счете к тому, что для их обозрения исследователи были вынуждены их классифицировать; во-вторых, начали разрабатываться и применяться самые разнообразные меры расстояния.

Введение такого большого количества методов и мер не повлекло за собой существенного повышения эффективности применения кластерного анализа. Отдельные авторы пытались разработать теоретические оценки применения тех или иных мер расстояния для разных видов данных и типов шкал измерения, но существенных успехов при этом достигнуто не было. В отношении методов кластеризации, с точки зрения пользователя, не сделано даже этого. Следует отметить, что при применении различных алгоритмов и мер расстояния во многих случаях исследователи получали практически идентичные результаты [208].

Рассмотрение конкретных примеров решения исследовательских задач методами автоматической классификации показывает, что наиболее часто до сих пор используются евклидова метрика и метод групповых средних (медианный). Бывает и так, что просто используют методы и алгоритмы, которые имеются в руках авторов. При интерпретации рекомендуют выделять такую кластер-структуру, которая устраивает пользователя, что является прагматизмом в чистом виде. Если результат получается нежелательный, то советуют повторять процедуру

классификации многими алгоритмами и выбрать тот, который удовлетворяет заказчика. Не указывают, правда, только количество процедур и мер расстояния, которые следует выбрать и использовать из многих сотен. И в то же время в отдельных случаях исследователям удается получить вполне удовлетворительные и даже хорошие результаты.

Безусловно, на практике оказывается значимой и выходит на первый план и другая проблема, связанная с принятием допущения о том, что выбор характеристик позволяет получить желательное разбиение на кластеры и единицы измерения (масштаб) сделан правильно.

Неверный выбор признаков или их шкал измерения может привести к содержательно ошибочной (хотя и формально обоснованной) классификации. Характерно, что если по способам выбора при небольшом числе признаков для распознавания образов с обучением имеется обширная литература, то по проблеме отбора признаков для кластерного анализа этого сказать нельзя [215].

Исходя из вышеприведенного определения алгоритм применения процедур автоматической классификации смешанной совокупности объектов можно предполагать следующим:

1) выбор интересующего нас качества, т.е. основания классификации (как известно, это кардинальный вопрос построения классификации);

2) выбор объективного или субъективного количественного критерия для последующей оценки классов;

3) исследование структуры данных и связей между показателями, их количественная оценка и отбор информативных признаков для процедуры автоматической классификации.

Примером интересующего нас качества в клинической радиологии могут служить отношения «доза–эффект», «доза–время–эффект». Критерием «внешней», т.е. независимой оценки классов, могут быть: доза ионизирующего излучения, уровень заражения радионуклидами, временные, пространственные условия облучения и др.

Таким образом, еще до применения тех или иных процедур кластер-анализа должны решаться многоплановые задачи исследования данных. Это относится, прежде всего, к выбору характеристик, описывающих объекты в интересующем нас отношении, т.е. к созданию исходных пространств признаков и массивов данных. Такую задачу должен, естественно, решать врач-специалист в конкретной области исследования. Здесь формальные методы часто бывают неприменимы и не нужны. Правда, исследователь, как правило, в состоянии отобрать признаки не столь информативные для классификации, сколько «подозрительные на информативность» или имеющие, по его мнению,

некоторую связь с основанием для классификации. Это происходит вследствие недостаточной содержательной и статистической изученности медицинских явлений, что особенно свойственно задачам, возникающим при обработке материалов радиационной патологии.

Это же относится и к количественному исследованию структуры данных, в первую очередь методами многомерного статистического анализа, и их содержательной интерпретации. Такую задачу может решать специалист в области анализа медицинских данных.

После количественного исследования структуры данных исходное пространство признаков по согласованию специалистов может изменяться как путем расширения, так и путем его редукции. Такой подход к моделированию наиболее эффективен, если основывается на банке (базе) данных. Поэтому материал настоящего исследования был подготовлен необходимым образом и перенесен на магнитные носители.

Вопрос о том, каким должен быть исходный набор (пространство) признаков, является принципиальным. Вопрос о должном количестве признаков, привлекаемых в исследование и используемых для моделирования, остается открытым. К сожалению, наш опыт показывает, что чаще всего исследователи избирают прямой путь набора максимального количества признаков, иногда исчисляющихся несколькими сотнями, и в остальном полагаются на то, что применение того или иного метода многомерной статистики позволит произвести эффективную свертку информации и получить желаемый результат. Единственное ограничение, по их мнению, — технические возможности ЭВМ и трудозатраты. Кроме того, часто к использованию предлагают сложные математические модели, что, естественно, приводит к отказу от их применения на практике [209].

Таким образом, можно говорить о том, что успешное решение задач политетической классификации зависит от того, насколько глубоко мы исследуем имеющиеся в нашем распоряжении исходные данные и на этой основе сможем выделить подпространство признаков, отражающих объект исследования в нужном качестве.

## **5.2. Методика классификации**

Признаки (показатели), отобранные в информативное подпространство, в задачах политетической классификации должны обладать определенными свойствами по отношению к исследуемым данным, по отношению друг к другу и по отношению к критерию классификации.

В первую очередь массивы данных должны быть проверены на полноту описания, выявлены ошибки и пропуски в исходных данных.

Далее необходимы вычисление характеристик распределения, построение одномерных графиков и гистограмм для выявления выбросов и эксцессов.

Следующий шаг — исследование связей между переменными методами корреляционного и кластерного анализов. Наличие матрицы корреляций между всеми показателями позволяет иметь привычную для интерпретации количественную оценку связи между каждой парой переменных, в том числе и с критерием классификации. Эта информация необходима для формирования информативного подпространства признаков.

Изучение результатов кластерного анализа переменных по дендрограммам и уровней объединения в кластеры, отражаемых в единой мере (коэффициент корреляции), позволяет выявить группы показателей, тесно связанных между собой внутри кластеров и слабо связанных или независимых от показателей, входящих в другие кластеры, и дать количественную оценку уровню этой связи. Заметим, что разные методы кластеризации переменных предлагают различную информацию о связях изучаемого пространства признаков. Так, например, «метод минимального локального расстояния» в силу своих особенностей позволяет установить связи на низком уровне объединения (при высоких значениях метрики); приводит к крупным, «цепным» кластерам, позволяющим строить причинные цепочки вхождения в таксоны. Он хорош при первичном исследовании структуры данных. «Медианный метод» позволяет исследовать структуру связей на средних уровнях объединения (отношение к дендрограмме); обсудить «ядра» кластеризации. Рассмотрение конечного уровня объединения проводится при помощи метода «максимального локального расстояния». Он создает компактные кластеры в виде гиперсфер, которые с трудом объединяются с другими кластерами [56, 204, 205].

Следующий шаг — исследование методами факторного анализа с целью свертки информации, выявления и исследования статистической связи признаков с факторами, которые представляют собой гипотетические переменные, сложные по своей структуре. В настоящее время пакеты прикладных программ содержат достаточно многочисленный набор методов анализа (главных компонент, максимума правдоподобия, метода Кайзера, итерационный метод главных факторов и др.) и различных вращений факторной структуры (варимакс, прямой квартиминный, квартимаксный, эквимаксный, квартимин, биквартимин, прямой косоугольный с углом гамма и др.); при этом исследователем могут задаваться произвольные углы вращения.



Используя комплексно вышеперечисленные методы факторного анализа, можно достаточно эффективно находить пространства факторов, удовлетворяющие принципам «простой структуры». Наиболее популярны методы главных компонент и максимума правдоподобия. Метод главных компонент хорош для предварительной оценки структуры. Метод максимума правдоподобия, по нашему опыту, дает устойчивые решения, и ориентироваться в первую очередь необходимо на него.

Следует отметить, что всех требований, предъявляемых к «простой структуре», без изменения исходного пространства признаков удовлетворить удастся не всегда (в таком случае следует ориентироваться на результаты кластерного анализа переменных). Получение же такого решения означает нахождение минимального количества гипотетических комплексных переменных, необходимых для описания массива. В то же время полученные гипотетические переменные (факторы), ортогональные или слабо коррелированные между собой, в разной степени связаны с внешним критерием. Для количественной характеристики уровня этой связи необходимо в полученную структуру «включать» внешний критерий, т.е. повторить исследование тем же методом факторного анализа, что и при получении «простой структуры», только с добавлением в списке показателей параметра, отражающего исследуемое отношение. Отбор факторов желательно проводить по критерию Баргмана применительно к внешнему критерию. После этого выделяется подпространство информативных показателей для процедуры автоматической классификации. В принципе таких оптимальных подпространств может быть несколько. Известно также, что внешний критерий сам может стать факторообразующим признаком и не рассеется по структуре. В этом случае нужно в первую очередь рассматривать переменные, вошедшие в фактор совместно с внешним критерием. Отсутствие положительного результата требует повторения процедур факторизации или изменения пространства признаков. При этом основное внимание следует уделять тому, чтобы отбираемые признаки удовлетворяли следующим условиям: хорошо дискриминировали массив данных; были слабо коррелированы между собой; имели высокие нагрузки в факторах, связанных с внешним критерием.

Этим обеспечивается комплексность (информативность) показателей, и в то же время классификация проводится не по факторам, гипотетическим переменным, а по легко регистрируемым на практике конкретным признакам.

Для решения задачи автоматической классификации наиболее перспективно использование иерархических процедур кластерного анализа наблюдений [206, 210]. Рекомендуются оценивать крупные, статисти-

чески представительные кластеры. Различия между полученными кластерами проверяются по всему множеству признаков, участвовавших в процедуре классификации, и по внешнему критерию классификации или внешним признакам, могущим служить критериями классификации, с помощью многомерной метрики Т-квадрат Хотеллинга, по критерию Стьюдента или по схеме однофакторного дисперсионного анализа. Верификация классификации должна осуществляться после ее получения и с помощью других критериев.

На заключительном этапе строятся математические модели распознавания полученных классов.

### 5.3. Классификация пораженных и ее результаты

С опорой на общепринятую концепцию приоритетного воздействия ионизирующего излучения на систему костномозгового кроветворения как на критический орган в исследовавшемся диапазоне доз использовалось следующее описание массива, представленное в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Описание признаков исследуемого массива

№ п/п	Параметр		№ п/п	Параметр	
1	Доза облучения	(Гр)	15	Тромбоциты	( $\times 10^9$ /л)
2	СОЭ	(мм/ч)	16	Калий	(ммоль/л)
3	Гемоглобин	(г/л)	17	Натрий	(ммоль/л)
4	Эритроциты	( $\times 10^{12}$ /л)	18	Холестерин	(ммоль/л)
5	Цветной показатель	(ед.)	19	$\alpha$ -хол.	(ммоль/л)
6	Лейкоциты	( $\times 10^9$ /л)	20	$\beta$ -хол.	(ммоль/л)
7	Нейтрофилы юные	(%)	21	Пре- $\beta$ -хол.	(ммоль/л)
8	Нейтрофилы п/я	(%)	22	IgG	(МЕ/мл)
9	Нейтрофилы с/я	(%)	23	IgA	(МЕ/мл)
10	Эозинофилы	(%)	24	IgM	(МЕ/мл)
11	Базофилы	(%)	25	Общий белок	(г/л)
12	Лимфоциты	(%)	26	Общ. билируб.	(мкмоль/л)
13	Моноциты	(%)	27	Прямой бил.	(мкмоль/л)
14	Ретикулоциты	(%)	28	Непрямой бил.	(мкмоль/л)

В соответствии с вышеизложенной методикой использования методов многомерной статистики для классификации наблюдений с помощью специальной программы был выделен подмассив данных первичных наблюдений (до 7-х суток от начала работы включительно) лиц, работавших в зоне аварии в течение 2–3 суток.

Данный выбор основывался, во-первых, на уже имеющихся данных о том, что изменения в содержании форменных элементов периферической крови в течение пяти–семи дней после облучения носят специфический характер [32]. И, во-вторых, базировался на результатах разведочного анализа, а именно на том, что максимальные нарушения в функциональном состоянии основных физиологических систем организма наблюдаются в этот же период у работавших двое-трое суток.

С помощью метода минимального локального расстояния, как было выше описано, изучалась структура связей между показателями общеклинического анализа крови, биохимическими и иммунологическими показателями для выявления крупных объединений кластеров, цепочно связанных между собой.

Изучение иерархической дендрограммы показывает, что ряд параметров, таких как палочкоядерные нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, ретикулоциты и тромбоциты, в указанный период независимы в своем поведении, т. е. не связаны с остальными переменными.

Оставшиеся на достоверном уровне связи ( $\gamma > 0,23$ ;  $p < 0,05$ ) образуют четыре кластера, представляющие собой группы следующих показателей:

1-я группа: X(4), X(26), X(28), X(27), X(13);

2-я группа: X(22), X(24);

3-я группа: X(18), X(20), X(19), X(21), X(23);

4-я группа: X(6), X(9), X(12).

В первую группу объединились показатели обмена билирубина (общий, прямой и непрямой), количества эритроцитов и моноцитов.

Вторая группа представляет собой объединение показателей *Ig G* и *Ig M*.

В третью группу вошли показатели холестерина обмена (общий,  $\alpha$ -липопротеидный,  $\beta$ -липопротеидный и пре- $\beta$ -липопротеидный холестерин) и *Ig A*.

Четвертая группа состоит из следующих показателей: количество лейкоцитов, процентное содержание сегментоядерных лейкоцитов и лимфоцитов.

Изучение дендрограммы, образованной с помощью медианного метода, показало, что достоверного изменения структуры связей не произошло.

Метод максимального локального расстояния позволил выделить более мелкие структурные образования, относительно независимые между собой. Сюда входят:

- 1) X(4), X(8);
- 2) X(6), X(23), X(13);
- 3) X(9), X(12);
- 4) X(22), X(24);
- 5) X(18), X(20);
- 6) X(19), X(21);
- 7) X(26), X(28), X(27).

Данная структура позволила нам в дальнейшем использовать полученные группы кластеров для выбора переменных в базовое подпространство, использовавшееся в многомерной классификации наблюдений.

Следующим этапом на основе той же корреляционной матрицы было проведение факторного анализа. В результате факторного анализа нами получена следующая достаточно оптимизированная факторная структура (табл. 5.2).

Важно отметить непротиворечивость факторной структуры характеру связей между показателями, выявленных при кластерном анализе переменных.

Для выявления связи внешнего критерия (показателя дозы внешнего облучения) и полученных факторов анализ был повторен с принудительным включением параметра, отражающего полученную дозу; факторное решение представлено в табл. 5.3.

Сопоставление данных факторных структур показывает: принципиального изменения содержания факторов не произошло, что указывает на целевое и избирательное воздействие дозы облучения. Так, например, сохранилась структура 1-го главного фактора с примерно тем же весовым вкладом и факторными нагрузками.

Кроме этого, второй фактор (в исходной структуре) перешел на третье место с практически тем же весовым вкладом. Четвертый и седьмой факторы остались на своих местах, а пятый и шестой факторы поменялись местами. Полностью изменилась одна только структура второго фактора, которая в новой структуре представлена фактором дозы внешнего облучения. В него вошли с достоверными факторными нагрузками следующие переменные: X(19) —  $\alpha$ -холестерин, X(1) — доза внешнего облучения, X(21) — пре- $\beta$ -холестерин, X(4) — количество эритроцитов, — что согласуется с данными разведочного анализа о связях между факторами и параметрами лабораторных анализов крови и их временной динамикой.

Таблица 5.2. Факторная структура без включения «внешнего критерия»

Показатели	Факторы						
	1	2	3	4	5	6	7
Лимфоциты	0,940	—	—	—	—	—	—
Нейтр. с/я	0,911	—	—	0,274	—	—	—
Лимфоциты аб.	0,834	—	—	0,427	—	—	—
Билируб. об.	—	0,871	—	—	—	—	—
Билируб. пр.	—	0,793	—	—	0,286	-0,286	—
Моноциты	—	0,645	—	-0,414	—	0,244	—
$\alpha$ -хол.	—	—	0,884	—	—	—	—
$\beta$ -хол.	—	—	-0,707	—	0,340	—	—
Лейкоциты	—	—	—	0,841	—	—	—
IgA	—	—	-0,391	-0,680	—	—	-0,297
IgG	0,377	—	—	—	0,766	—	—
Эритроциты	—	-0,315	—	0,287	-0,733	—	—
Эозинофилы	—	—	—	—	—	0,737	—
Нейтр. п/я	—	—	—	-0,290	0,394	0,604	—
Тромбоциты	—	—	0,537	—	-0,301	0,549	—
Ретикулоциты	—	—	—	—	—	—	0,831
Пре- $\beta$ -хол.	—	-0,277	-0,421	—	—	—	0,744
IgM	—	—	-0,313	0,306	0,436	0,488	-0,265
Весовой вклад	2,714	2,170	2,089	1,957	1,941	1,887	1,523

Из этих переменных, вошедших в фактор дозы, имеющих высокие весовые вклады в главные факторы, коррелирующих с дозой внешнего облучения и с учетом результатов кластерного анализа, по вышеприведенной методике подбирались варианты базисного пространства признаков для проведения кластерного анализа реализаций.

В результате экспериментальной проверки с помощью кластерного анализа реализаций (метод объединения — групповые средние, мера связи — Хи-квадрат) нами были получены кластеры, различающиеся между собой по критерию Т-квадрат Хотеллинга и удовлетворяющие условию различения по внешнему критерию — дозе облучения. При этом показатель дозы в процедуре кластерообразования не участвовал, т. е. решение от него было независимо.

Результаты классификации представлены в табл. 5.4. Анализ таблицы показывает, что получены два различающихся по своей внутренней

Таблица 5.3. Факторная структура с включением «внешнего критерия»

Показатели	Факторы						
	1	2	3	4	5	6	7
Лимфоциты	0,941	—	—	—	—	—	—
Нейтр. с/я	0,916	—	—	0,294	—	—	—
Лимфоциты аб.	0,856	—	—	0,424	—	—	—
$\alpha$ -хол.	—	0,863	—	—	—	0,333	—
В.К.	—	0,823	—	—	—	—	—
Билируб. об.	—	—	0,878	—	—	—	—
Билируб. пр.	—	—	0,825	—	—	-0,347	—
Моноциты	—	—	0,523	-0,486	0,307	0,340	—
Лейкоциты	—	—	—	0,828	—	—	—
IgA	—	—	—	-0,743	—	—	-0,258
Нейтр. п/я	—	—	—	—	0,807	—	—
Эозинофилы	—	—	—	—	0,643	0,297	—
IgM	—	-0,317	—	—	0,591	—	-0,357
Тромбоциты	—	—	—	—	—	0,829	—
$\beta$ -хол.	—	—	—	-0,254	0,457	-0,604	—
Ретикулоциты	—	—	—	—	—	—	0,852
Пре- $\beta$ -хол.	—	-0,537	—	—	—	—	0,686
Эритроциты	—	-0,452	-0,380	—	-0,288	0,446	—
Весовой вклад	2,578	2,201	2,163	2,058	2,003	1,816	1,507

Таблица 5.4. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 3–7-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
В.К.	25,6 $\pm$ 0,43	37,2 $\pm$ 0,83	0,020	—
Нейт. с/я (%)	55,9 $\pm$ 1,0	52,5 $\pm$ 1,0	0,033	2,7
Лимф. (%)	35,0 $\pm$ 0,98	38,0 $\pm$ 1,0	0,050	2,3
$\alpha$ -холестер.	1,33 $\pm$ 0,06	1,53 $\pm$ 0,07	0,032	9,8
Ig G	143,2 $\pm$ 5,0	160,2 $\pm$ 5,1	0,030	7,4
Вилруб. прямой.	1,1 $\pm$ 0,10	1,7 $\pm$ 0,30	0,081	5,9

структуре класса пораженных ионизирующим излучением в изучавшемся диапазоне доз. В первый класс входят облученные в дозе до 0,3 Гр, во второй — свыше 0,3 Гр (с учетом среднеквадратического отклонения).

#### 5.4. Обсуждение результатов классификации

Как мы уже видели, для данных на 3–7-е сутки имеются разделяющиеся кластеры с верификацией внешнего критерия. Однако для верификации полученной классификации этого, по нашему мнению, недостаточно. Необходимо подтвердить различия выделенных классов пораженных (с учетом развития патологического процесса) в последующие временные интервалы. Результаты сравнения классов в динамике до 60 суток представлены в табл. 5.5–5.9.

Таблица 5.5. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 8–12-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
Гемоглобин	157,0 ± 0,6	161,0 ± 0,8	0,009	7,2
Эритроциты	4,7 ± 0,02	4,9 ± 0,02	0,001	9,3
Лейкоциты ( $\times 10^9$ /л)	6,9 ± 0,20	6,0 ± 0,20	0,001	7,4
Эозинофилы (%)	2,8 ± 0,20	2,3 ± 0,30	0,074	2,0
Лимфоциты абс.	2385 ± 64	2172 ± 96	0,058	2,4

Таблица 5.6. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 13–19-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
Гемоглобин	154,3 ± 0,99	149,5 ± 2,5	0,035	6,5
Эритроциты	4,7 ± 0,03	4,6 ± 0,05	0,012	6,4
Тромбоциты ( $\times 10^8$ /л)	2814 ± 34	2691 ± 35	0,045	3,4
Калий	4,1 ± 0,059	4,4 ± 0,064	0,041	11,3
$\alpha$ -хол.	1,19 ± 0,06	1,49 ± 0,08	0,003	12,1

Таблица 5.7. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 20–30-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
Нейтр. с/я (%)	54,0 ± 1,0	51,0 ± 0,5	0,043	4,1
Лимф. абс.	2193 ± 60	2443 ± 121	0,049	3,8
Ретикул. (%)	2,2 ± 0,13	3,0 ± 0,1	0,008	6,6
Калий	4,2 ± 0,06	4,5 ± 0,10	0,009	11,3
$\beta$ -хол.	4,8 ± 0,2	5,6 ± 0,2	0,023	8,1

Таблица 5.8. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 31–45-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
Эритроциты	4,4 ± 0,05	4,1 ± 0,11	0,032	9,6
Эозинофилы (%)	2,4 ± 0,23	1,5 ± 0,19	0,099	5,4
Тромбоциты ( $\times 10^8$ /л)	2196 ± 77	1903 ± 82	0,090	6,7

Таблица 5.9. Подпространство лабораторных показателей крови, достоверно различающихся между классами пораженных на 46–60-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
Гемоглобин	154,1 ± 2,3	144,8 ± 6,1	0,094	12,8
Цв. показ.	0,97 ± 0,01	0,90 ± 0,04	0,027	25,6
Лейкоц. ( $\times 10^9$ /л)	6,4 ± 0,02	5,4 ± 0,23	0,013	25,1
Лимф. абс.	2176 ± 113	1569 ± 132	0,009	27,1

Кроме того, верификация должна опираться на информативное подпространство признаков, обеспечивающих подтверждение различий между классами пораженных для других подсистем организма. Примером такого подпространства служат данные, приведенные в табл. 5.10–5.27, отражающие состояние КРС.



Таблица 5.10. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров ЭКГ на 3–49-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
R–R min*	0,83 ± 0,02	0,90 ± 0,03	0,061	6,4
R–R min	0,83 ± 0,03	0,95 ± 0,05	0,028	13,1
R–R max	0,85 ± 0,03	0,95 ± 0,05	0,066	9,3
ЧСС min	72,2 ± 2,1	63,9 ± 3,2	0,044	10,3
ЧСС шах	73,5 ± 2,1	63,9 ± 3,2	0,022	13,5

\* На 3–7-е сутки, остальные — на 8–49-е.

Таблица 5.11. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров ККГ на 3–18-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
ФБИ*	0,10 ± 0,006	0,12 ± 0,006	0,011	11,2
ФМН*	0,16 ± 0,015	0,23 ± 0,024	0,024	9,4
Диастола	0,51 ± 0,020	0,57 ± 0,028	0,074	6,1
SO*	0,36 ± 0,005	0,37 ± 0,006	0,109	4,7
ФИР	0,09 ± 0,003	0,08 ± 0,003	0,057	14,8
ДНЛЖ	13,38 ± 0,63	16,2 ± 1,61	0,061	13,5
КДДЛЖ	11,83 ± 0,58	14,7 ± 1,45	0,036	16,0

\* На 3–7-е сутки, остальные — на 8–18-е.

Таблица 5.12. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров ТРГ на 8–19-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
ГУ	23,2 ± 1,1	18,7 ± 1,5	0,014	8,1
Инд. Кердо	-6,3 ± 3,1	-15,7 ± 3,9	0,066	4,6
Инд. Рида	9,3 ± 1,69	3,67 ± 2,15	0,046	5,4
Инд. Вейна	1,02 ± 0,03	0,92 ± 0,04	0,051	5,1

Таблица 5.13. Частота встречаемости значений длительности общей систолы (SO), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ККГ или ПКГ на 3–7-е сутки с начала облучения\*

а)

Группа облученных	Длительность SO			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	17	0,0	13	30
Более 0,3 Гр	5	1	19	25
Итого	22	1	32	55

Хи-квадрат = 8,28; DF = 2; P = 0,016; C = 0,36.

б)

Группа облученных	Длительность SO			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	30,91	0,0	23,64	54,55
Более 0,3 Гр	9,09	1,82	34,55	45,45
Итого	40,0	1,82	58,19	100

в)

Группа облученных	Длительность SO			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	56,67	0,0	43,33	100
Более 0,3 Гр	20,0	4,0	76,0	100
Итого	40,0	1,82	58,18	100

г)

Группа облученных	Длительность SO			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	77,27	0,0	40,63	54,55
Более 0,3 Гр	22,73	100	59,38	45,45
Итого.	100	100	100	100

\*Здесь и далее в таблицах 5.14, 5.15, 5.17–5.22 и 5.24, 5.25: а — фактические частоты; б — процентное отношение от общей частоты; в — процентное отношение относительно суммарных частот строк; г — процентное отношение относительно суммарных частот столбцов.

Из представленных данных следует, что полученные классы пораженных различаются на протяжении двух месяцев по результатам лабораторных анализов крови и на протяжении трех недель с начала

Таблица 5.14. Частота встречаемости значений длительности фазы изометрического расслабления (ФИР), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ККГ или ПКГ на 8–18-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Длительность ФИР			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	12	5	3	20
Более 0,3 Гр	1	5	0	6
Итого	13	10	3	26

Хи-квадрат = 6,7; DF = 2; P = 0,035; C = 0,45.

б)

Группа облученных	Длительность ФИР			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	46,15	19,23	11,54	76,92
Более 0,3 Гр	3,85	19,23	0,0	23,1
Итого	50,0	38,46	11,54	100

в)

Группа облученных	Длительность ФИР			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	60,0	25,0	15,0	100
Более 0,3 Гр	16,67	83,33	0,0	100
Итого	50,0	38,46	11,54	100

г)

Группа облученных	Длительность ФИР			Всего
	в норме	укорочена	удлинена	
До 0,3 Гр	92,31	50,0	100	76,92
Более 0,3 Гр	7,69	50,0	0,0	23,1
Итого	100	100	100	100

облучения по состоянию КРС. Этот факт является еще одним подтверждением полученных временных зависимостей выявления тех или иных расстройств: восстановления функционального состояния КРС у большинства обследованных через три недели с начала облучения. Выявить всю полугодовую динамику различий в показателях крови

Таблица 5.15. Частота встречаемости значений величины давления наполнения левого желудочка (ДНЛЖ), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ККГ на 8–18-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Длительность ДНЛЖ			Всего (иссл.)
	в норме	снижено	повышено	
До 0,3 Гр	5	14	1	20
Более 0,3 Гр	0	3	3	6
Итого	5	17	4	26

Хи-квадрат = 7,86; DF = 2; P = 0,020; C = 0,48.

б)

Группа облученных	Длительность ДНЛЖ			Всего (в %)
	в норме	снижено	повышено	
До 0,3 Гр	19,23	53,85	3,85	76,92
Более 0,3 Гр	0,0	11,54	11,54	23,08
Итого	19,23	65,38	15,38	100

в)

Группа облученных	Длительность ДНЛЖ			Всего (в %)
	в норме	снижено	повышено	
До 0,3 Гр	25,0	70,0	5,0	100
Более 0,3 Гр	0,0	50,0	50,0	100
Итого	19,23	65,38	15,38	100

г)

Группа облученных	Длительность ДНЛЖ			Всего (в %)
	в норме	снижено	повышено	
До 0,3 Гр	100	82,33	25,0	76,92
Более 0,3 Гр	0,0	17,65	75,0	23,08
Итого	100	100	100	100

не удалось, так как, во-первых, наиболее существенные сдвиги наблюдались именно в первые два месяца, во-вторых, из-за недостаточного количества анализов в последующий период.

Классы пораженных в первую неделю различаются по уровню  $\alpha$ -холестерина (9,8 % объясненной дисперсии), Ig G (7,4 %) и прямого

Таблица 5.16. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров ТРГ на 3–7-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
ЧСС	65,7 ± 1,7	60,4 ± 2,5	0,083	5,5
ДАД	65,7 ± 1,4	69,7 ± 1,8	0,079	5,7
САД	133,2 ± 1,8	126,8 ± 2,4	0,034	8,2
ПД	38,7 ± 1,8	32,8 ± 2,4	0,017	10,3
Инд. Кердо	-1,99 ± 3,25	-19,0 ± 4,7	0,003	15,1
Инд. Старра	112,5 ± 1,7	106,2 ± 1,9	0,018	10,1
Инд. Рида	14,7 ± 1,9	4,9 ± 2,7	0,002	14,7
Инд. Вейна	1,1 ± 0,03	0,9 ± 0,05	0,011	11,5
И. Робинсона	87,6 ± 2,7	77,2 ± 4,2	0,036	8,0
И- Цандера	25,5 ± 1,32	19,9 ± 1,0	0,002	16,4

Таблица 5.17. Частота встречаемости значений ЧСС, в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 3–7-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Длительность ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	21	9	0	30
Более 0,3 Гр	9	15	1	25
Итого	30	24	1	55

Хи-квадрат = 6,9; БГ = 2; P = 0,032; C = 0,33.

б)

Группа облученных	Длительность ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	38,18	16,36	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	16,36	27,27	1,82	45,45
Итого	54,55	43,64	1,82	100

Окончание табл. 5.17

в)

Группа облученных	Длительность ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	70,0	30,0	0,0	100
Более 0,3 Гр	36,0	60,0	4,0	100
Итого	54,55	43,64	1,82	100

г)

Группа облученных	Длительность ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	70,0	37,5	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	30,0	62,5	100	45,45
Итого	100	100	100	100

билирубина ( $P < 0,1$ , 5,9 %) сыворотки крови, а также по относительному количеству сегментоядерных нейтрофилов (2,7 %) или моноцитов (2,3 %). У облученных в большей дозе все значения показателей выше. Относительный лимфоцитоз, повышенная концентрация иммуноглобулинов, по-видимому, являются отражением выхода в кровяное русло продуктов клеточного распада; увеличение концентрации  $\alpha$ -холестерина и прямого билирубина свидетельствуют о нарушении функций печеночной паренхимы из-за возможной легкой радиационной гепатопатии. На 8–18-е сутки реагируют показатели форменных элементов периферической крови, что соответствует общебиологической закономерности (более ранней реакции биохимических показателей). Наиболее существенны различия в количестве эритроцитов (9,3 %), лейкоцитов (7,4 %) и уровне гемоглобина. Менее весомо они проявляются в содержании эозинофилов (2 %) и абсолютном количестве лимфоцитов (2,4 %).

Увеличение количества эритроцитов и гемоглобина, возможно, указывает на «скрытую гипоксию» [81], связанную с активацией анаболических восстановительных процессов. Более низкое содержание клеток белой крови указывает на угнетение клеточного иммунитета. На лучшее функциональное состояние облученных в меньшей дозе указывает большее содержание у них эозинофилов (в %).

С 13-х по 19-е сутки различаются: концентрация  $\alpha$ -холестерина (12,1 %) и калия (11,3 %) в сыворотке крови: сохраняются нарушения холестеринового обмена и электролитные сдвиги. Во второй группе

Таблица 5.18. Частота встречаемости значений величины диастолического артериального давления (ДАД), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 3–7-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Длительность ДАД			Всего (иссл.)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	24	6	0	30
Более 0,3 Гр	17	4	4	25
Итого	41	10	4	55

Хи-квадрат = 5,19; DF = 2; P = 0,075; C = 0,29.

б)

Группа облученных	Длительность ДАД			Всего (в %)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	43,64	10,91	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	30,91	7,27	7,27	45,45
Итого	74,55	18,18	7,27	100

в)

Группа облученных	Длительность ДАД			Всего (в %)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	80,0	20,0	0,0	100
Более 0,3 Гр.	68	16	16	100
Итого	74,55	18,18	7,27	100

г)

Группа облученных	Длительность ДАД			Всего (в %)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	58,54	60,0	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	41,46	40,0	100	45,45
Итого	100	100	100	100

отмечаются более низкие значения количества эритроцитов и гемоглобина, снизились их процентные значения объясненной дисперсии, т. е. нивелируется скрытая гипоксия. Появились различия в количестве тромбоцитов (3,4 %) — та же зависимость.

На протяжении 20–30-х суток во второй группе наблюдаются более высокие концентрации калия (11,3 %) и  $\beta$ -холестерина (8,1 %) сыво-

Таблица 5.19. Частота встречаемости значений величины расхода энергии сердцем (РЭ) на перемещение 1 л крови, в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 3–7-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Величина РЭ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	30	—	0	30
Более 0,3 Гр	22	—	3	25
Итого	52	—	3	55

Хи-квадрат = 3,8;  $OG = 1$ ;  $P = 0,051$ ;  $C = 0,25$ .

б)

Группа облученных	Величина РЭ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	54,55	—	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	40,0	—	5,45	45,45
Итого	94,55	—	5,45	100

в)

Группа облученных	Величина РЭ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	100	—	0,0	100
Более 0,3 Гр	88	—	12	100
Итого	94,55	—	5,45	100

г)

Группа облученных	Величина РЭ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	57,69	—	0,0	54,55
Более 0,3 Гр	42,31	—	100	45,45
Итого.	100	—	100	100

ротки крови, содержания ретикулоцитов (6,6 %) и лимфоцитов (3,8 %), а также снижение относительного числа сегментоядерных нейтрофилов (4,1 %). То есть начинается восстановление клеточного иммунитета, нарастает ретикулоцитоз; сохраняются электролитные сдвиги и нарушения холестеринового обмена.



Таблица 5.20. Частота встречаемости значений ЧСС, в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 8–18-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Значение ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	31	16	—	47
Более 0,3 Гр	10	17	—	27
Итого	41	33	—	74

Хи-квадрат = 5,81; DF = 1; P = 0,016; C = 0,27.

б)

Группа облученных	Значение ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	41,89	21,62	—	63,51
Более 0,3 Гр	13,51	22,97	—	36,49
Итого.	55,40	44,59	—	100

в)

Группа облученных	Значение ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	65,96	34,04	—	100
Более 0,3 Гр	37,04	62,96	—	100
Итого	55,41	44,59	—	100

г)

Группа облученных	Значение ЧСС			Всего (иссл.)
	Нормокардия	Брадикардия	Тахикардия	
До 0,3 Гр	75,61	48,48	—	63,51
Более 0,3 Гр	24,39	51,52	—	36,49
Итого.	100	100	—	100

На 31–45-й день различия касаются лишь количества эритроцитов (9,6 %), тромбоцитов ( $P < 0,1$ , процент объясненной дисперсии возрос до 6,7 %) и эозинофилов ( $P < 0,1$ ; 5,4 %).

Количество эритроцитов снижается в обеих группах, но во второй, облучившихся в дозе свыше 0,3 Гр, более выражено, что подтверждает компенсаторный характер их первоначального увеличения. Содер-

Таблица 5.21. Частота встречаемости значений величины бокового артериального давления (БАД), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 8–19-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Значение БАД			Всего (иссл.)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	41	6	0	47
Более 0,3 Гр	24	1	2	27
Итого	65	7	2	74

Хи-квадрат = 4,98; DF = 2; P = 0,083; C = 0,25.

б)

Группа облученных	Значение БАД			Всего (иссл.)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	55,41	8,11	0,0	63,51
Более 0,3 Гр	32,43	1,35	2,7	36,49
Итого	87,84	9,46	2,7	100

в)

Группа облученных	Значение БАД			Всего (иссл.)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	87,23	12,77	0,0	100
Более 0,3 Гр	88,89	3,7	7,41	100
Итого	87,84	9,46	2,7	100

г)

Группа облученных	Значение БАД			Всего (иссл.)
	В норме	Снижено	Повышено	
До 0,3 Гр	63,08	85,71	0,0	63,51
Более 0,3 Гр	36,92	14,29	100	36,49
Итого	100	100	100	100

жание эозинофилов свидетельствует о более благоприятном прогнозе для облученных до 0,3 Гр. В этот период тромбоциты достигают минимального зарегистрированного уровня.

В последний рассмотренный период (46–60-е сутки) различия определяются в количестве лимфоцитов (27,1 %) и лейкоцитов (25,1%),

Т а б л и ц а 5.22. Частота встречаемости значений величины гемодинамического удара (ГУ), в нормативной шкале, в классах пораженных по данным ТРГ на 8–19-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Значение ГУ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	21	0	26	47
Более 0,3 Гр	20	1	6	27
Итого	41	1	32	74

Хи-квадрат = 8,8; DF = 2; P = 0,013; C = 0,33.

б)

Группа облученных	Значение ГУ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	28,38	0,0	35,14	63,51
Более 0,3 Гр	27,03	1,35	8,11	36,49
Итого	55,41	1,35	43,24	100

в)

Группа облученных	Значение ГУ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	44,68	0,0	55,32	100
Более 0,3 Гр	74,07	3,7	22,22	100
Итого	55,41	1,35	43,24	100

г)

Группа облученных	Значение ГУ			Всего (иссл.)
	В норме	Снижена	Повышена	
До 0,3 Гр	51,22	0,0	81,25	63,51
Более 0,3 Гр	48,78	100	18,75	36,49
Итого	100	100	100	100

а также в величине цветного показателя (25,6 %) и концентрации гемоглобина (12,8 %) — все они находятся во второй группе ниже. Возрастание объясненной дисперсии связано, по всей видимости, и с малой численностью выборок. В этот период сохраняются дефицит гемоглобина и недостаточность клеточного иммунитета.

Таблица 5.23. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров пробы с дозированной физической нагрузкой на 3–13-е сутки с начала облучения

Показатели	Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
	до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
	$X_i \pm m_x$			
ЧСС исх.	82,5 ± 1,7	76,1 ± 2,5	0,039	8,1
ЧСС шах	150,1 ± 1,7	144,0 ± 3,3	0,091	5,5
Время восстановления				
– ЧСС.	9,07 ± 0,53	7,38 ± 0,85	0,086	5,6
– САД.	4,14 ± 0,41	3,17 ± 0,12	0,039	7,8
ЧСС исх.	82,5 ± 1,6	77,0 ± 2,4	0,049	6,0
ЧСС шах	149,6 ± 1,4 5	144,4 ± 2,9	0,098	4,3
Время восстановления				
– ЧСС	9,19 ± 0,45	7,63 ± 0,78	0,070	5,2
– САД	4,0 ± 0,33	3,15 ± 0,10	0,034	7,1

Таблица 5.24. Частота прекращения проб с дозированной физической нагрузкой в классах пораженных из-за гипертензивной реакции диастолического артериального давления (ДАД) в 3–13-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Гипертензивная реакция ДАД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	37	0	37
Более 0,3 Гр	25	2	27
Итого	62	2	64

Chi-квadrat = 2,83; DF = 1; P = 0,093; C = 0,21.

б)

Группа облученных	Гипертензивная реакция ДАД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	57,81	0,0	57,81
Более 0,3 Гр	39,06	3,13	42,19
Итого	96,88	3,13	100

Окончание табл. 5.24

в)

Группа облученных	Гипертензивная реакция ДАД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	100	0,0	100
Более 0,3 Гр	92,59	7,41	100
Итого	96,88	3,13	100

г)

Группа облученных	Гипертензивная реакция ДАД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	59,68	0,0	57,81
Более 0,3 Гр	40,32	100	42,19
Итого	100	100	100

Таблица 5.25. Частота прекращения проб с дозированной физической нагрузкой в классах пораженных из-за падения (прекращения роста) систолического артериального давления (САД) в 3–13-е сутки с начала облучения

а)

Группа облученных	Падение САД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	37	0	37
Более 0,3 Гр	25	2	27
Итого	62	2	64

Хи-квадрат = 2,83;  $0\Gamma = 1$ ;  $P = 0,093$ ;  $C = 0,21$ .

б)

Группа облученных	Падение САД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	57,81	0,0	57,81
Более 0,3 Гр	39,06	3,13	42,19
Итого	96,88	3,13	100

Клиника нарушений функционального состояния КРС в 3-и сутки в группе облученных в дозе свыше 0,3 Гр характеризуется повышением тонуса ПНС, склонностью к брадикардии, увеличении уровня ДАД, снижении САД и ПД на фоне нарушения сократительной способности миокарда.

Окончание табл. 5.25

в)

Группа облученных	Падение САД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	100	0,0	100
Более 0,3 Гр	92,59	7,41	100
Итого	96,88	3,13	100

г)

Группа облученных	Падение САД		Всего (иссл.)
	Зарегистрирована	Не отмечалась	
До 0,3 Гр	59,68	0,0	57,81
Более 0,3 Гр	40,32	100	42,19
Итого	100	100	100

Таблица 5.26. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров спиреоэрометрии на 3–7-е сутки с начала облучения

Показатели		Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
		$X_i \pm m_x$			
МПК <sub>max</sub>	(л /мин)	2,33 ± 0,09	2,03 ± 0,13	0,065	18,6
МПК/кг <sub>max</sub>	(мл/кг/мин)	31,6 ± 0,63	27,5 ± 1,32	0,006	36,8
МЕТ <sub>max</sub>		9,15 ± 0,24	7,84 ± 0,38	0,008	35,2
ПСР		399 ± 33,2	295 ± 45,1	0,077	17,3
ОО <sub>max</sub>		16162 ± 641	14051 ± 871	0,065	18,6
МОД <sub>max</sub>	(л /мин)	46,9 ± 1,9	40,9 ± 3,5	0,116	—

В этот период у облученных в большей дозе достоверно чаще ВЭМ (ТММ) заканчивалась из-за гипертензивной реакции ДАД и из-за прекращения прироста или падения САД. У них, по данным СЭМ, оказалась ниже величина МПК, МПК на килограмм массы тела, величина метаболических единиц труда (МЕТ), пульсовая стоимость работы, максимальная вентиляция легких (МВЛ) во время физической нагрузки.

До 21-х суток сохраняются различия между классами пораженных в выраженности брадикардии, величине индекса Кердо (преобладает

Т а б л и ц а 5.27. Подпространство достоверно различающихся между классами пораженных параметров спироэргометрии на 3–21-е сутки с начала облучения

Показатели		Средние значения в классах		Достоверн. различий (P)	Процент объясн. дисперсии
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр		
		$X_i \pm m_x$			
МПК <sub>max</sub>	(л /мин)	2,32 ± 0,08	2,08 ± 0,1	0,072	11,9
МПК/кг <sub>max</sub>	(мл/кг/мин)	31,5 ± 0,73	28,0 ± 1,3	0,017	20,0
МЕТ <sub>max</sub>		8,91 ± 0,27	7,98 ± 0,38	0,051	13,9
ОО <sub>max</sub>		16037 ± 526	14407 ± 711	0,072	11,9
МОД <sub>max</sub>	(л /мин)	46,7 ± 1,5	41,0 ± 2,5	0,043	14,8

тонус ПНС). Наблюдаются повышенные уровни БАД; снижение ГУ, МПК, МПК/кг массы тела, МЕТ, МВЛ.

**Таким образом**, можно считать вышеприведенные данные вполне убедительными для вывода о правомерности разработанной политетической классификации.

Результаты математико-статистической обработки материалов исследования свидетельствуют о наличии проявлений воздействия радиации в диапазоне доз внешнего облучения от 0,1 до 0,5 Гр на отдельные функциональные системы организма человека и имеют научно-практическое значение для дальнейшей разработки политетической классификации последствий облучения от 0 до 1 Гр с учетом временных интервалов от момента воздействия ионизирующих излучений, многофакторности условий аварийных ситуаций на объектах ядерной энергетики и объема проведенного обследования. Выявленные диагностические критерии воздействия радиации в указанном диапазоне доз в доступной нам литературе не встречались (по их валидности являются новыми) и могут служить той значимой базой, на основе которой возможна более полная и детальная разработка критериев воздействия «малых доз» ионизирующих излучений и прогноза клинических последствий радиационных аварий.

Одно из возможных направлений — моделирование уровня воздействия внешнего облучения на функциональное состояние организма — представлено в следующей главе.

## Глава 6

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА ЛЕТНОГО СОСТАВА ВЕРТОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА**

Для прогнозирования отнесения пораженных к тому или иному классу была построена простая линейная модель на основе шагового дискриминантного анализа. Выбор данного метода моделирования объясняется эффективностью алгоритма распознавания с обучением, а также тем, что, по оценке многих авторов [97], нелинейные процедуры в малой степени увеличивают точность модели, затрудняя при этом ее практическое использование.

При отборе показателей для моделирования учитывался целый ряд критериев [106, 112]:

- ранняя и относительно длительная реакция показателя на облучение;
- наличие количественной зависимости от дозы облучения в возможно более широком диапазоне;
- высокая чувствительность в единицах реакции на 1 сГр дозы;
- связь показателей с изменениями, отражающими клиническую судьбу организма;
- специфичность, т. е. способность реагировать на радиационное воздействие существенно сильнее, чем на другое (нерадиационное) экстремальное воздействие;
- способность реагировать изменением не только при остром общем, но и при пролонгированном и местном облучении эквивалентно среднетканевой поглощенной дозе;
- принципиальная однотипность реакции у разных видов животных;
- техническая применимость метода для исследования материала от человека;



- возможность получения материала без вреда для организма (в том числе неоднократно);
- простота исполнения.

Использующиеся показатели удовлетворяют большинству вышеназванных требований.

Получаемая линейная дискриминантная модель может быть представлена в весьма простой форме,

$$Y = \sum_{i=0}^n b_i X(i) + M,$$

где  $b_i$  — коэффициент информативности  $i$ -го признака;  $X(i)$  — значение  $i$ -го признака у исследуемого объекта;  $M$  — свободный коэффициент.

Процедура отнесения обследуемого лица к тому или иному классу (облученных до или свыше 0,3 Гр) заключается в подстановке значений показателей лабораторных и инструментальных методик в линейное уравнение, в умножении на соответствующий коэффициент информативности и суммировании произведений (с учетом знака) со свободным членом  $M$ .

Если значение  $Y > 0$ , то пораженный получил дозу внешнего облучения свыше 0,3 Гр. Если же  $Y \leq 0$ , то обследованный относится к группе облученных до 0,3 Гр.

Для оценки эффективности решающего правила использовалась смещенная оценка точности распознавания методом «*Jackknife*» («складного ножа»), который формирует искусственные контрольные группы и является весьма эффективным [97].

### **6.1. Комплекс диагностических моделей на основе показателей лабораторных исследований крови**

1) Анализы периферической крови в 3–7-е сутки с начала облучения:

$$Y = 0,03 \times X(1) + 3,64 \times X(2) + 0,04 \times X(3) + 0,79 \times X(4) - 13,59, \quad (6.1)$$

где  $X(1)$  — содержание лимфоцитов (в %);  $X(2)$  —  $\alpha$ -холестерин (ммоль/л);  $X(3)$  —  $IgG$  (МЕ/мл);  $X(4)$  — прямой билирубин (мкмоль/л).

Как уже упоминалось, эффективность модели проверялась с помощью метода «*Jackknife*», результаты представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Точность распознавания классов пораженных на основе первой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	78,9	15	4
Более 0,3 Гр	75,0	5	15
Всего	76,9	20	19

2) Анализы периферической крови в 8–12-е сутки с начала облучения:

$$Y = 0,05 \times X(1) + 3,1 \times X(2) - 0,44 \times X(3) - 13,59, \quad (6.2)$$

где  $X(1)$  — количество гемоглобина (г/л);  $X(2)$  — количество эритроцитов ( $\times 10^{12}/л$ );  $X(3)$  — количество лейкоцитов ( $\times 10^9/л$ ).

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Точность распознавания классов пораженных на основе второй линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	58,5	48	34
Более 0,3 Гр	68,8	20	44
Всего	63,0	68	78

3) Решающее правило, построенное на основе показателей общеклинического анализа крови в 13–19-е сутки с начала облучения:

$$Y = -2,33 \times X(1) - 0,001 \times X(2) + 13,64, \quad (6.3)$$

где  $X(1)$  — количество эритроцитов ( $\times 10^{12}/л$ );  $X(2)$  — количество тромбоцитов ( $\times 10^9/л$ ).

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.3.

4) Решающее правило, построенное на основе иммунологических и биохимических показателей в 13–19-е сутки с начала облучения:

$$Y = 1,62 \times X(1) - 0,01 \times X(2) - 5,12, \quad (6.4)$$

где  $X(1)$  — содержание калия (ммоль/л);  $X(2)$  — Ig A (МЕ/мл).

Таблица 6.3. Точность распознавания классов пораженных на основе третьей линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	72,3	34	13
Более 0,3 Гр	45,3	11	9
Всего	64,2	45	22

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Точность распознавания классов пораженных на основе четвертой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	59,4	19	13
Более 0,3 Гр	66,7	5	10
Всего	61,7	24	23

5) Анализы периферической крови в 20–30-е сутки с начала облучения:

$$Y = -0,05 \times X(1) - 0,001 \times X(2) + 0,46 \times X(3) + 0,78, \quad (6.5)$$

где  $X(1)$  — содержание сегментоядерных нейтрофилов (в %);  $X(2)$  — количество лимфоцитов ( $\times 10^9/\text{л}$ );  $X(3)$  — количество ретикулоцитов (в %).

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Точность распознавания классов пораженных на основе пятой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	67,1	51	25
Более 0,3 Гр	61,5	10	16
Всего	65,7	61	41

## 6.2. Комплекс диагностических моделей на основе показателей состояния сердечно-сосудистой системы

В настоящем разделе предложено несколько математических моделей биологической дозиметрии, построенных на основе показателей состояния ССС. Эти модели являются подтверждающими и должны использоваться только совместно с алгоритмами распознавания на основе показателей периферической крови.

6) Показатели тетраполярной реографии с тахоосциллограммой в 3–7-е сутки с начала облучения:

$$Y = -0,17 \times X(1) - 0,07 \times X(2) + 0,18 \times X(3) + 1,36, \quad (6.6)$$

где  $X(1)$  — величина пульсового давления (мм · рт. ст.);  $X(2)$  — значение индекса Кердо;  $X(3)$  — значение индекса Цандера.

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.6.

Таблица 6.6. Точность распознавания классов пораженных на основе шестой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	73,3	22	8
Более 0,3 Гр	76,0	6	19
Всего	74,5	28	27

7) Показатели кинетокардиограммы в 3–7-е сутки с начала облучения:

$$Y = 26,6 \times X(1) + 7,21 \times X(2) - 4,41, \quad (6.7)$$

где  $X(1)$  — длительность фазы быстрого изгнания (с);  $X(2)$  — длительность фазы медленного наполнения (с).

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.7.

Если прогноз оправдывается на 70–90 процентов, то решающее правило считается весьма эффективным. Однако существует математико-статистический аппарат, позволяющий получить более прогностичную дискриминантную функцию. Для решения этой задачи мы использовали перевод показателей в нормированные шкалы (стэны), а затем снова проводили дискриминантный анализ информативного подпространства признаков.

Таблица 6.7. Точность распознавания классов пораженных на основе седьмой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	72,4	21	8
Более 0,3 Гр	62,5	9	15
Всего	67,9	30	23

Ниже приводим одно из более эффективных диагностических правил.

8) Анализы периферической крови в 3–7-е сутки с начала облучения:

$$Y = 0,13 \times X(1) + 0,48 \times X(2) + 0,044 \times X(3) + 0,8 \times X(4) - 7,13, \quad (6.8)$$

где  $X(1)$  — содержание лимфоцитов (в %);  $X(2)$  —  $\alpha$ -холестерин (ммоль/л);  $X(3)$  — IgG (МЕ/мл);  $X(4)$  — непрямой билирубин (мкмоль/л).

Процент правильной классификации представлен в табл. 6.8 — сравни с эффективностью формулы (6.1).

Таблица 6.8. Точность распознавания классов пораженных на основе восьмой линейной дискриминантной модели

Группы	Процент правильных классификаций	Количество выборок, классифицированных по группам	
		до 0,3 Гр	более 0,3 Гр
До 0,3 Гр	84,0	21	4
Более 0,3 Гр	84,6	4	22
Всего	84,3	25	26

Следует отметить тот факт, что точность моделей биологической дозиметрии, построенных на показателях ССС, в первые три недели с начала облучения не отличается от таковой у уравнений, основанных на данных лабораторных анализов крови.

## Заключение

Подводя итог исследования состояния некоторых физиологических систем организма и физической работоспособности ЛС после выполнения задания на РЗМ, необходимо расставить некоторые акценты.

**Первое.** Клинические наблюдения касаются последствий воздействия комплекса нерадиационных факторов острого периода аварии на АЭС и сочетанного внешнего  $\beta$ - и  $\gamma$ -облучений в пределах 0,1–0,5 Гр и внутреннего радиоактивного заражения.

**Второе.** Определяющий вклад в поглощенную дозу у ЛС внесло внешнее  $\gamma$ -излучение, что согласуется с данными о поражениях у обслуживающего персонала АЭС и пожарных [45, 48].

Можно также утверждать, сравнив условия работы ЛС с признаками равномерности облучения, изложенными, например Е.К. Пяткиным и А.Е. Барановым [151], что оно носило достаточно равномерный характер.

**Третье.** Новизна результатов обусловлена:

а) уникальностью материалов клинических наблюдений за ближайшими последствиями воздействия комплекса нерадиационных факторов и сочетанного радиационного облучения в малых дозах, которые невозможно полностью смоделировать в эксперименте на животных [24, 172];

б) использованием функциональных методов исследования;

в) идентичностью условий работы ЛС (в экипаже, в один и тот же период аварии и пр.), т. е. однородностью обследованной группы по нерадиационным факторам, обеспечивающей наиболее адекватное рассмотрение зависимости «доза–эффект» [223];

г) применением многомерного математико-статистического подхода, позволившего без использования исходных (фоновых) значений показателей состояния соответствующих физиологических систем организма обследованных, а также контрольной группы, которую очень сложно подобрать в клинических и эпидемиологических исследованиях в радиационной медицине, установить связи с внешними факторами и основные тенденции в реакциях изучавшихся физиологических систем организма, не выходящих, как правило, за пределы видовой нормы. На основе этого стало возможным осуществить многомерную клиническую классификацию пораженных и предложить комплекс дискриминантных моделей для диагностики полученных классов.

В результате появилась возможность синтезировать уже имеющиеся научные данные, решить ряд узловых вопросов диагностики функциональных расстройств у пораженных, их реабилитации и регламентации летного труда на РЗМ.

Итак, ретроспективный анализ оказания медицинской помощи при ЛПА на ЧАЭС свидетельствует, что при крупных катастрофах с разрушением активной зоны реактора и радиоактивным заражением атмосферы и местности следует ожидать массовых радиационных поражений сочетанного характера от внешнего  $\gamma$ - и  $\beta$ -облучений и внутреннего радиоактивного заражения обслуживающего персонала, населения и привлеченных к ликвидационным работам людей. В этих условиях вполне вероятно, что структура поражений у ЛС будет близка к полученной на обследованной выборке.

У 17,1 % вертолетчиков в период выполнения задания при продолжительности работы в острый период аварии от двух до десяти суток и при дозе облучения от 0,1 до 0,5 Гр отмечались расстройства самочувствия и снижение работоспособности.

Большинство (10,4 %) жаловались на усталость, общую слабость, вялость, разбитость, снижение аппетита; 5,2 % — на сильные головные боли, сопровождавшиеся у половины головокружением или тошнотой. Еще 5,2 % указывали на тошноту, изжогу, урчание в животе, жидкий стул. На першение в горле, осиплость голоса, кратковременный кашель обращали внимание 2,4 %. У такого же процента обследованных в период работы проявлялись симптомы острого респираторного заболевания.

Указанные расстройства чаще развивались на 3–4-й день облучения и проходили самостоятельно после 3–4-х дней отдыха.

Различные клинические синдромы диагностировались у 41,5 % поступавших на первичное обследование в первую неделю с начала облучения. Наиболее часто встречались гематологический синдром транзиторной цитопении (у 22 % обследованных) с преходящей лейко-лимфотромбоцитопенией в различных сочетаниях. В его картине преобладали изолированная тромбоцитопения (у 8,5 %) и лейко-тромбоцитопения (у 6,1 %). Изолированная лейко- или лимфопения отмечались одинаково часто — в 2,4 %; реже всего регистрировались лейко-лимфопения и лимфо-тромбоцитопения — в 1,2 % случаев.

Эпидермиты выявлялись у 8,5 %; острый риноларингофарингит и нейроциркуляторная дистония с неустойчивостью артериального давления с тенденцией к повышению встречались с одинаковой частотой у 7,3 %. Астено-вегетативный синдром диагностировался у 3,7 %, гастроинтестинальный синдром с различными диспепсическими про-

явлениями и острый двусторонний конъюнктивит встречался с равной частотой — у 2,4 %. Сочетание нескольких синдромов у одного пациента было типичным.

Клинические проявления большинства расстройств исчезали через 7–19 дней с начала облучения (на 3–5-е сутки госпитализации).

Гематологический синдром преимущественно развивался у ЛС с дозой облучения 0,25–0,3 Гр и более. Выраженность и частота встречаемости других синдромов также имела тенденцию к увеличению с возрастанием дозы облучения. Связей вегетативных расстройств (колебаний артериального давления, появления тошноты, головокружения и пр.) с имеющейся соматической патологией, как и в исследованиях Ю.А. Александровского и соавторов [7, 8], не наблюдалось.

В результате математико-статистической обработки результатов обследования установлено, что все рассмотренные факторы — продолжительность и доза облучения, особенности профессиональной деятельности, такие как напряженность труда, профессия и место работы, исходное состояние организма (возраст и наличие какого-либо заболевания), — вносят достоверный вклад в клиническую картину поражений.

Получен список верифицированных показателей лабораторных и инструментальных методов диагностики, применявшихся в настоящем исследовании, достоверно связанных с определенным фактором, что создает необходимый базис для последующих прицельных клинических разработок.

Установлено, что наиболее согласованы (однаправленны) воздействия продолжительности и дозы облучения, профессии и места работы, возраста и исходного состояния организма. Определено, что более существенно: воздействие (влияние) дозы, чем продолжительности облучения; места работы, чем профессии вертолетчика; возраста, чем отсутствие или наличие «диагноза», не препятствующего летной деятельности.

Наиболее значимое влияние на годовую динамику иммунологических, биохимических и гематологических показателей оказывают величина и продолжительность внешнего облучения и возраст ЛС. В меньшей степени влияют профессия, место работы и напряженность профессиональной деятельности.

Содержание форменных элементов периферической крови в большей степени зависит от продолжительности и дозы облучения в экстремальных условиях радиационной аварии, что подтверждает приоритетное воздействие ИИ на систему кроветворения.



Наличие у обследованного заболевания, не препятствующего легкой деятельности (что, наверное, и объясняет данный факт), практически не влияет на эти показатели, а от возраста достоверно зависит лишь величина СОЭ. Последнее представляется достаточно логичным, т.к. возрастных различий в нормальных величинах показателей общеклинического анализа крови у людей молодого и среднего возраста нет [25, 79].

Результаты годовой динамики гематологических показателей согласуются с данными обследования жителей Маршалловых островов, подвергшихся воздействию радиоактивных осадков в течение двух дней при небольшой мощности дозы. Общее количество лейкоцитов и число нейтрофилов у них варьировало в течение первых недель, достигая минимума на шестой неделе или несколько позже. Количество нейтрофилов было неустойчивым в течение первых пяти недель, а восстановление до контрольного уровня было неполным даже через полгода. Количество лимфоцитов осталось пониженным на всем протяжении наблюдения. Оценивая показатели периферической крови как критерий тяжести лучевого поражения в диапазоне сублетальных доз, авторы указали на то, что наиболее закономерно изменялось у обследованного ЛС максимальное снижение содержания тромбоцитов (до  $130 \times 10^9/\text{л}$ ) приходилось на 30–50-е сутки, лейкоцитов (до  $3,3 \times 10^9/\text{л}$ ) — на 38–44-е сутки и лимфоцитов (до  $1,0 - 1,2 \times 10^9/\text{л}$ ) — на 40–60-е сутки. Сниженные значения этих показателей сохраняются на протяжении 5–6-и месяцев.

Анализ временной динамики показал, что биохимические и иммунологические показатели подвержены большим изменениям, чем показатели общеклинического анализа крови; наиболее существенная их динамика наблюдалась в первые шесть месяцев с начала облучения на РЗМ, а восстановление (прекращение колебаний) наступает лишь к концу года.

Колебания большинства гематологических и биохимических показателей укладывались в пределы общепринятой физиологической нормы, что является не случайным, а отражает процессы адаптации организма и репарации повреждений [81, 88].

Учитывая то, что современные представления о биохимических изменениях при воздействии ИИ на здоровый организм получены главным образом в результате экспериментальных исследований, а клинических данных несравненно меньше [159], представляется важным установление влияния нерадиационных факторов на годовую динамику биохимических показателей. Это еще раз подтверждает слабую детерминированность большинства биохимических сдвигов в организме

вообще и далеко не строгую их специфичность для действия излучения [19].

В то же время оказалось, что концентрация  $\alpha$ -холестерина в сыворотке крови у ЛС после выполнения задания на РЗМ достоверно связана лишь с дозой внешнего облучения и «участвует» в классификации их функционального состояния

Предполагаемый механизм нарушений холестерина обмена у обследованных далеко не ясен. С одной стороны, как известно, внешнее облучение ведет к расстройствам липидного (холестеринового) обмена и развитию раннего атеросклероза [105, 112]. Усугубляет положение и возможная легкая радиационная гепатопатия, вызванная поступившими внутрь организма гепатотропными радионуклидами [26, 128].

С другой стороны, стресс способствует возникновению и быстрому прогрессированию атеросклероза, что связано с нарушениями микроциркуляции в стенках сосудов, снижением активности антиоксидантных ферментов, возникновением диспротеинемии и нарушением процессов гидроксирования холестерина [120, 180]. Тем не менее факт представляется интересным, но требует дальнейших прицельных исследований для уточнения дозовых зависимостей.

Реакция КРС на облучение в условиях экстремальной ситуации также зависит от всех рассмотренных факторов.

Снижение физической работоспособности у ЛС, развивающееся на фоне повышения тонуса ПНС, связано преимущественно с дозой и продолжительностью внешнего облучения (наиболее выражено у работавших 2–3 и 6–10 суток).

Установлены также связи между особенностями деятельности ЛС при работах на РЗМ и некоторыми изменениями в функциональном состоянии ССС. Усиление психоэмоциональной напряженности профессиональной деятельности приводит к повышению тонуса СНС и развитию достоверных изменений в функциональном состоянии ССС компенсаторного характера, направленных на поддержание работоспособности ЛС.

От места работы более существенно, чем от профессии ЛС, зависят нарушения ритма и проводимости, процессов реполяризации в миокарде во время физической нагрузки, развитие вентиляционных нарушений ФВД по обструктивному типу.

Место работы можно рассматривать как косвенный показатель внутреннего радиоактивного заражения организма. В этом аспекте, наверное, и следует интерпретировать нарушения проходимости на уровне проксимальных отделов бронхиального дерева у работавших

у открытой двери постоянно или периодически. Возможная причина этих нарушений — местное повреждающее воздействие на стенку бронхов радиоактивных и токсичных веществ факела выбросов (через который пролетали вертолетчики), вызывающее воспаление, отек и, как следствие, обструкцию воздухоносных путей. Возможны нарушения проходимости и из-за ингаляции йода, препараты которого, как известно, стимулируют бронхиальную секрецию.

Механизм экстрасистолии при стрессе, как указывают многие исследователи, достаточно сложен. Однако установлено, что ведущую роль играет состояние ЦНС, гиперактивность симпатико-адреналовой системы, разбалансированность центров регуляции кровообращения, нарушение коронарного кровотока, а также многие дополнительные факторы в виде дистрофических, некротических и склеротических изменений миокарда, нарушений электролитного, гормонального и энергетического обменов (особенно при гипокалиемии, гиперкальциемии и гипертиреозе) [177].

Опасность облучения щитовидной железы в пределах десятков сантигррей И.Я. Василенко [27] и другие исследователи связывают в основном с бластомогенными эффектами (в отдаленный период) функциональной активности в ближайший, сменяющимся затем гипотиреозом. Таким образом, одно из способствующих условий возникновения экстрасистолии (гипертиреоз) формируется радиационным фактором, что, наверное, и обуславливает более выраженные нарушения ритма и проводимости у работавших у открытой двери.

В экспериментах на животных показано, что гипертонус СНС повышает ранимость сердца и способствует возникновению аритмий. В то же время раздражение *p.vagus* в условиях симпатической гиперактивности нередко приводит к множественным кровоизлияниям, особенно под эндокардом левого желудочка в области межжелудочковой перегородки и окружности папиллярных мышц [177]. Подобная «накладка» наблюдается и в нашем случае: стрессовая гиперактивность СНС проявляется на фоне повышения тонуса ПНС, вызванного облучением.

Стало быть, можно сделать предположение, что выраженный стресс и облучение в дозе 0,1–0,5 Гр усиливают такие эффекты друг друга, как нарушения холестерина обмена, развитие экстрасистолии, повышение артериального давления, что следует учитывать при их профилактике.

С увеличением возраста и у ЛС, имеющего «диагнозы», регистрируются чаще и более выраженные нарушения в функциональном состоянии КРС и работоспособности после выполнения задания на РЗМ.

Наблюдаемый синергизм не противоречит общебиологическим закономерностям и согласуется с исследованиями Г.Д. Акоева и соавторов [4], Е.И. Воробьева [34], Н.А. Метляевой и Н.М. Надежиной [121] и других ученых.

Максимальные расстройства со стороны КРС и физической работоспособности у ЛС нами наблюдались в первую неделю с начала облучения [188]. Этим, по-видимому, и объясняется то, что Н.А. Метляева и Н.М. Надежина [121] связей между дозой облучения и изменениями состояния ССС у ликвидаторов не выявили, так как свои исследования проводили в более поздние сроки.

У большинства обследованных восстановление функционального состояния КРС и физической работоспособности наступает через 3 недели. У некоторых пострадавших (старшей возрастной группы и/или имеющих «диагнозы») компенсация нарушений происходила лишь через 2–5 месяцев, что соответствует промежутку времени, необходимому для репарации скрытых повреждений после кратковременного внешнего облучения в дозе 0,25–1,0 Гр [49].

Поиск биологических тестов и выяснение количественных закономерностей «доза–эффект» при действии малых доз ИИ все еще остается нерешенной проблемой [19].

Однако в результате комплексного использования методов многомерной статистики удалось выделить два класса пораженных (работавших двое-трое суток), различающихся по ряду показателей крови, функционального состояния КРС и дозе облучения, граница которой составляет 0,3 Гр.

Наблюдающаяся картина еще раз подтверждает приоритет воздействия ИИ на кроветворение, ранний характер биохимических сдвигов и диагностическую значимость изменений  $\alpha$ -холестерина сыворотки крови.

Так как сердечная деятельность во многих случаях является наиболее информативным показателем изменения состояния организма [177], то данные о реакциях КРС следует рассматривать с точки зрения адаптационных процессов.

Оценив установленные стрессовые изменения (по Г.И. Косицкому), можно утверждать, что у части обследованных они соответствовали II степени напряжения, когда характерны стенические эмоции, дальнейшее возбуждение ЦНС, направленное на поддержание высокой работоспособности, возрастание контрактильности сердца, повышение АД, кровоснабжения головного мозга, миокарда, скелетных мышц, а вегетативные сдвиги реализуются по типу гиперкомпенсации.

У этой части ЛС (разд. 4.2.3 и 5.3) на фоне преобладания тонуса СНС наблюдались гиперкинетический тип гемодинамики, повышение мощности сокращения левого желудочка и индекса эффективности работы сердца, снижение периферического сопротивления сосудов и увеличение значения максимального потребления кислорода на килограмм массы тела.

К III степени относят изменения, свидетельствующие о переходе реакций в патологические, когда характерны астенические отрицательные эмоции, снижение физической и умственной работоспособности, повышение АД, нередко спазмы сосудов, в ряде случаев замедление ритма и ослабление работы сердца, ухудшение кровоснабжения головного мозга и миокарда, учащение вегетативных «бурь», дисфункция вегетативной нервной системы вплоть до появления глубоких расстройств. В эту группу и следует отнести ЛС, облучившийся в дозе более 0,3 Гр.

На правомерность такой классификации указывают уже имеющиеся научные данные. Считается, что превышение уровня доз порядка 0,3 Гр при мощностях последних более 0,1 Гр/сут сопряжено с развитием радиационного повреждения и элементов патологической адаптации, а изменения при накопленных дозах до 0,1–0,3 Гр рассматриваются как неспецифические, компенсаторные, адекватные чрезвычайным раздражителям приспособительные реакции [166].

Полученные классы позволяют перейти к обсуждению проблемы нормирования облучения ЛС.

При обосновании предельно допустимых доз (ПДД) облучения общепризнана необходимость учета целого ряда факторов: критерия оценки (генетические последствия, отдаленные соматические последствия, ближайшие соматические эффекты и т. д.); качества излучения; массы облучаемой ткани и ее радиочувствительности; возможности применения радиопротекторов и лечебных средств; скорости восстановительных процессов; возраста человека и условий работы. Из этого следует, что она не может быть единой величиной, а должна устанавливаться в каждом конкретном случае в зависимости от обстановки и с учетом запросов практики.

В нашем случае, когда речь идет о необходимости ограничения облучения с целью профилактики соматических изменений, приводящих к снижению работоспособности, рекомендуется исходить из пороговых доз (около 0,5 Гр) развития симптомов ПР на облучение.

Однако применительно к летному труду ориентир на развитие ПР, когда работоспособность явно снижена, неприемлем, так как даже состояния на грани нормы и патологии (начальных форм утомления,

неполного восстановления после перенесенного заболевания и др.) практически здорового человека под влиянием экстремальных факторов полета могут сопровождаться функциональной недостаточностью. В результате возрастает вероятность ошибок, снижается психофизиологическая надежность и пр. [22].

Из-за специфики летного труда, короткой продолжительности облучения в острый период аварии на АЭС и по вышеуказанным причинам нельзя использовать и количественные критерии радиационной безопасности полетов космонавтов длительностью до одного месяца (допустимой дозы — 0,15 Гр, при которой, как считается, не возникают непосредственные соматические нарушения и дозы оправданного риска — 0,5 Гр [83]).

На момент 1986 г. в аварийных условиях (согласно НРБ 72/87) допускалось пятикратное превышение ПДД годового облучения для профессионалов (0,05 Гр). Однако последнее все еще опирается преимущественно на сведения об отдаленных последствиях, а не на непосредственные ближайшие проявления реакций на облучение [53].

Пределом же облучения для ЛС необходимо рассматривать адапционный порог и переход физиологических реакций в патологические.

Поэтому для обоснования конкретных нормативов облучения большое значение имеют клинические наблюдения признаков снижения работоспособности и гематологических сдвигов [49], что и представлено в настоящей работе.

Если зарегистрированные сердечно-сосудистые расстройства, связанные с нерадиационными факторами, укладываются в стрессреакции системы кровообращения, то такие проявления, как гипертензия, возникновение аритмий и изменения вегетативных компонентов, свидетельствуют о переходе адаптивной (физиологической) реакции в стрессорную-патологическую [177]. К тому же, если два класса облученных в дозе до и свыше 0,3 Гр различаются по содержанию форменных элементов периферической крови, сократимости сердечной мышцы, уровню физической работоспособности и пр., то *можно считать биологически оптимальным не допускать переоблучения ЛС за 2 суток сверх 0,3 Гр, а облучение до 0,3 Гр — оправданным.*

Надо отметить, что формально для ВВС ситуация облегчается тем, что пятикратное превышение ПДД (0,25 Гр) по приказу МО СССР 1983 г. № 283 соответствует однократной допустимой дозе для ЛС на военное время. Одновременно приказом МО СССР 1986 г. № 133 для ЛПА на ЧАЭС был указан предел однократного облучения всех военнотружущих, равный 0,25 Гр.

Учитывая тот факт, что на первом этапе стресса преобладают неспецифические реакции, а в последующем в реакцию вовлекаются (активируются) системы, определяющие ее адекватность к стрессовому воздействию, профилактика повреждений при стрессах должна осуществляться и с учетом специфических особенностей стрессирующего воздействия.

Поэтому, во-первых, позволительно перенести данный норматив облучения на других лиц со сходным характером работы (операторского профиля, требующего высокой работоспособности, координации движений, точности и т.п.), а во-вторых, для выявления специфических компонент стрессирующего воздействия и разработки специальных профилактических мероприятий требуется обследовать ЛС, работавший более продолжительный отрезок времени на РЗМ в последующие периоды аварии на ЧАЭС.

Перечисленные группы можно проще всего выделить, используя анамнестические данные о продолжительности и дозе облучения на РЗМ в острый период радиационной аварии.

Кроме того, предложен комплекс моделей на основе линейных дискриминантных уравнений, позволяющий диагностировать классы пораженных до и выше 0,3 Гр. Среди них следует отметить правила биологической дозиметрии на основе показателей ССС, носящие подтверждающий характер, так как требуется комплексная и полисистемная оценка изменившихся показателей [159].

Информативные параметры лабораторных исследований крови и состояния ССС могут быть положены в основу сортировочных таблиц [106], а комплекс моделей (представлены далеко не все), опирающихся на эти показатели, может быть использован при разработке автоматизированной системы ранней клинико-лабораторной экспресс-диагностики поражений малыми дозами ИИ.

К областям возможного применения критериев лучевого поражения и комплекса моделей для диагностики его степени тяжести относятся: аварийные ситуации (с целью ранней диагностики и оценки степени тяжести лучевого поражения); научные исследования (изучение патогенеза лучевого поражения на уровне целостного организма; изучение индивидуальной и видовой радиочувствительности); отбор радиопротекторов и средств раннего лечения (отбор, количественная оценка и прогнозирование радиозащитной эффективности препаратов); радиационная гигиена (оценка эффективности гигиенических мероприятий и медицинский контроль за состоянием здоровья работающих) и др. [103, 168, 189].

Таким образом, работа и облучение в дозе от 0,1 до 0,5 Гр на протяжении 2–10-х суток на РЗМ в экстремальных условиях острого периода радиационной аварии приводит к достоверным изменениям количества форменных элементов периферической крови, иммунологическим и биохимическим сдвигам, ухудшению функционального состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма и, как результат, снижению физической работоспособности ЛС.

Максимальные расстройства наблюдаются в течение первой недели с момента облучения. Восстановление функционального состояния организма наступает у большинства облученных через 3 недели. У некоторых на протяжении 2–5-е месяцев могут регистрироваться достоверные гемодинамические расстройства, нарушения сократительной способности миокарда, ритма и проводимости, некоторое снижение физической работоспособности. В этот же период происходят достоверные изменения содержания форменных элементов периферической крови и биохимических показателей, многие из которых укладываются в общепринятые физиологические нормы. Восстановление (стабилизация) большинства из них наступает лишь к концу первого года с начала облучения.



## Выводы

1. Летный состав вертолетов, принимавший участие в ЛПА на ЧАЭС на протяжении 2–10 суток начального ее периода, подвергся воздействию комплекса нерадиационных факторов и сочетанному внешнему  $\beta$ - и  $\gamma$ -облучениям и внутреннему радиоактивному заражению при определяющем вкладе в поглощенную дозу внешнего относительно равномерного  $\gamma$ -излучения в пределах 0,1–0,5 Гр.

2. Комбинированное воздействие нерадиационных и радиационных факторов вызвало у вертолетчиков, принимавших участие в ЛПА на ЧАЭС, закономерные изменения функционального состояния органов и систем, выраженность и характер которых находятся в прямой связи с продолжительностью и дозой облучения, напряженностью профессиональной деятельности и исходным состоянием организма.

Выявленные изменения состояния изученных функциональных систем организма, связанные с воздействием продолжительности и дозы облучения, с профессией и местом работы, с возрастом и исходным состоянием организма характеризуются однонаправленностью.

При этом выраженность этих изменений наиболее существенно зависит от дозы облучения.

3. У вертолетчиков, участников ЛПА на ЧАЭС, на 2–3-й день работы развивались симптомы астенизации и вегетативных нарушений (10,4 %), диспепсические расстройства (5,2 %), першение в горле, осиплость голоса, «сухой кашель» (2,4 %).

В конце первой — на второй неделе с начала работ у пострадавших отмечались: эпидермит открытых участков кожи (8,5 %), острый риноларингофарингит (7,3 %), нейроциркуляторная дистония по гипертонзивному типу (7,3 %), астено-вегетативный синдром (3,7 %), диспепсические расстройства (2,4 %) и острый двусторонний конъюнктивит (2,4 %). Характерным являлось сочетание нескольких синдромов.

4. Гематологический синдром развивался у 22 % обследованных, при этом изолированная тромбоцитопения — в 8,5 %, лейкопения — в 2,4 %, лимфопения в сочетании с тромбоцитопенией — в 1,2 % и лимфопения в сочетании с лейкопенией — в 6,1 %. Он характеризовался определенной фазностью. Максимальное снижение содержания тромбоцитов (до  $130 \times 10^9/\text{л}$ ) приходилось на 30–50-е сутки, лейкоцитов (до  $3,3 \times 10^9/\text{л}$ ) — на 38–44-е сутки и лимфоцитов (до  $1,0\text{--}1,2 \times 10^9/\text{л}$ ) — на 40–60-е сутки. Снижение этих показателей сохранялось на протяжении 5–6-и месяцев.

5. Анализ временной динамики показал, что рассмотренные нами биохимические и иммунологические показатели подвержены бóльшим изменениям, чем показатели общеклинического анализа крови, а их восстановление наступает значительно позднее и завершается к концу года.

6. Изменения функционального состояния КРС проявлялись достоверными гемодинамическими расстройствами, нарушениями сократительной способности миокарда, ритма, проводимости, вентиляционными нарушениями ФВД, и как результат, снижением физической работоспособности. Они максимально выражены в первую неделю с начала облучения, их восстановление у большинства пострадавших наступало через 3 недели, а у некоторых лишь через 2–3 месяцев.

7. Верифицирована связь определенных изменений в организме с радиационным или нерадиационными факторами.

Подтверждено приоритетное воздействие ИИ на состав форменных элементов периферической крови. Изменения же функционального состояния КРС, работоспособности и некоторых биохимических и иммунологических показателей обусловлены воздействием не только радиационного, но и нерадиационных факторов.

8. Методами многомерной статистики выявлены две группы (класса) пораженных, различающихся по ряду показателей крови, функционального состояния КРС и дозе облучения, граница которой лежит в пределах 0,3 Гр. Подтверждена значимость многомерного метода распознавания при изучении субклинических проявлений сочетанного воздействия малых доз ИИ и нерадиационных факторов.

Диагностика полученных классов возможна при использовании предложенного комплекса диагностических моделей на основе линейных дискриминантных уравнений.

9. Выделение вышеуказанных классов позволяет определить биологически оптимальный (оправданный) режим работы ЛС на РЗМ, не допускающий неконтролируемого перехода через интегральный физиологический рубеж, формируемый ИИ.

Определение перехода через этот рубеж является медицинским основанием для организации особо спланированного диспансерного наблюдения и облегченного режима труда и отдыха военнослужащих, вошедших в данный класс.

Часть II

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНЕГО  
МОНИТОРИНГА ПОСЛЕДСТВИЙ ОСТРЫХ  
РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ  
У ВЕРТОЛЕТЧИКОВ

**Предисловие к части II**

Для ликвидации Чернобыльской катастрофы были привлечены огромные людские и экономические резервы. Армия приняла в этой акции самое активное участие. С 27 апреля по 10 мая 1986 г. военные летчики совершили сотни опасных полетов над разрушенным реактором ЧАЭС, сбросив с вертолетов тонны бора, свинца, глины, песка и доломита. Авиация участвовала также в аэродозиметрической съемке, рекогносцировке местности. Полеты в радиационно опасных условиях продолжались в течение 1986 и 1987 гг. Подробно условия деятельности и характеристики облучения летчиков в чернобыльских событиях изложены в одной из предыдущих книг [173].

Следует указать на ряд положений, позволяющих охарактеризовать облученных вертолетчиков как уникальную когорту для изучения последствий облучения в малых дозах. Во-первых, в силу особенностей профессионального отбора и деятельности группа довольно однородна. Во-вторых, пострадавшие выполняли практически одинаковые задачи преимущественно в раннюю и промежуточную фазы аварии. В-третьих, имеется огромная серия динамических гематологических анализов данных по неинфекционной заболеваемости до облучения. Это дает возможность лучше представить реакцию системы крови у человека в ответ на воздействие проникающей радиации. К тому же сравнение частоты эффектов внутри группы у облученных при тех же условиях, но разными дозами более надежно, чем сравнение облученных с контрольной группой, сформулировать которую в данном случае, с точки зрения ИИ, не представляется возможным.

## Глава 7

# **ПСИХОСОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У ВЕРТОЛЕТЧИКОВ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСА ФАКТОРОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ НА ЗДОРОВЬЕ ЛИКВИДАТОРОВ**

### **7.1. Динамика постстрессовых изменений показателей психофизиологического здоровья вертолетчиков, участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (1986–1996 гг.)**

Как уже было отмечено, основной контингент летного состава принимал участие в аварийно-спасательных работах в раннюю (до 15 суток после аварии) и промежуточную (1,5–2 месяца) фазы аварии. Дозы внешнего относительного равномерного гамма- и бета-облучений обследованных людей колебались от 0,05 до 0,5 Гр, продолжительность облучения, т. е. длительность пребывания в зоне с повышенным уровнем загрязнения продуктами ядерного деления, — от 1 до 10 суток.

За период с 1986 по 1996 г. в стационарных условиях ЦВНИАГ было обследовано 300 человек летного состава вертолетов, прошедших освидетельствование врачебно-летной комиссией (ВЛК). С целью дополнительного анализа постстрессорных расстройств в 1995 г. амбулаторно обследовано 30 человек из числа летно-подъемного состава, принимавших участие в боевых действиях в Чеченской республике.

Основные направления и методы исследований были выбраны исходя из поставленных задач и отражены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Основные направления и методы исследований летного состава, принимавшего участие в ЛПА на ЧАЭС

Направления исследований и методы анализа	Количество обследуемых	Количество тестов	Срок после облучения, годы
1. Клинико-физиологические исследования			
1. Общий анализ периферической крови (12 показателей)	156	1000	10 лет (ежегодно)
2. Иммунограмма периферической крови (10 показателей)	61	61	5
	32	32	7
	17	17	
3. Цитохимия нейтрофилов и лимфоцитов крови (7 показателей)	56	56	5
	17	17	9
2. Социально-психологические исследования			
1. Личностная тревожность	108	108	5
	23	23	7
	15	15	9
2. Эмоциональная реактивность личности	90	90	5
3. Самооценка ночного сна	107	107	5
	22	22	7
	10	10	9
4. Скрининг-тест алкоголизма	115	115	5
	23	23	7
	10	10	9
5. Уровень невротизации и психопатизации личности	7	7	9
6. Характеристики качества жизни (124 показателя)	53	53	7

**7.1.1. Анализ заболеваемости до и после аварии.** Анализ характера заболеваемости вертолетчиков до и после аварии позволил установить ряд особенностей, касающихся интенсивности роста, уровня и структуры исследуемых показателей. Так, если доля летчиков, работавших в острый период аварии (доза облучения —  $22,6 \pm 0,6$  сГр), имевших соматическую патологию по результатам ВЛК в 1995 г., составила 74 %, то в группе выполнявших задание в промежуточную фазу (доза облучения —  $12,9 \pm 0,6$  сГр) — 63 %. В то же время до аварии этот показатель был равен 20 % (рис. 7.1).

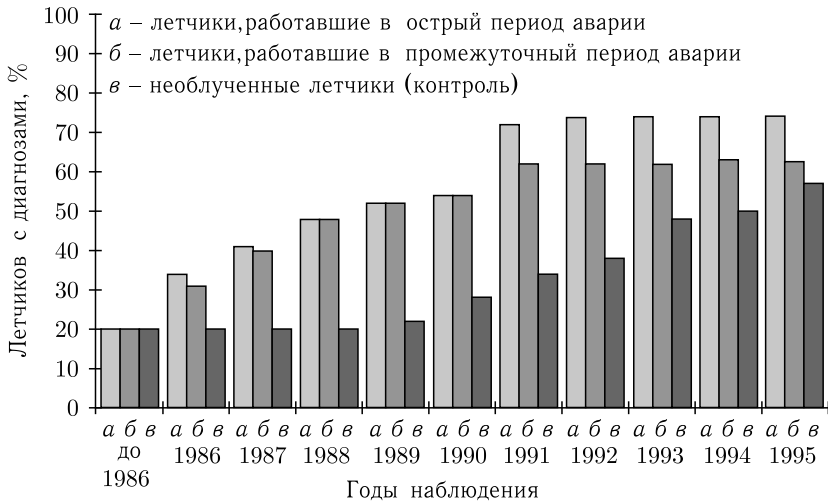


Рис. 7.1. Характеристика здоровья летчиков-ликвидаторов за 10 постчернобыльских лет

В контроле доля таких людей была равна 57 %. Сравнение динамики числа людей с парциальной недостаточностью здоровья в анализируемых группах показало, что основной прирост заболеваемости у облученного контингента приходится на 1986–1991 гг. (первые 5 пострадиационных лет), в то время как у необлученных пик отмечен в 1990–1993 гг. По-видимому, это объясняется тем, что большинство из ликвидаторов с 1986 по 1991 гг. проходило стационарное обследование, что, безусловно, способствовало более ранней выявляемости заболеваний, в то время как основная часть летчиков контрольной группы была охвачена расширенным освидетельствованием только при достижении 35-летнего возраста, т. е. в 1990–1993 гг. И тем не менее очевидным является факт превалирования заболеваемости ликвидаторов над таковой у летчиков контрольной группы на протяжении всех 9 лет наблюдения; при этом увеличение количества летчиков с различными диагнозами особенно выражено в первые 5 лет после выполнения ЛПА.

Анализ частоты выявления патологии у вертолетчиков, принимавших участие в ЛПА, позволяет сделать вывод о том, что в целом по состоянию заболеваемости вплоть до 1995 г. наблюдаются явные различия между группами облученных и необлученных летчиков, свидетельствующие о существовании большей частоты патологии по всем классам заболеваний у ликвидаторов, наиболее выраженные в первые годы после участия в восстановительных работах (табл. 7.2 и 7.3).

Таблица 7.2. Частота выявления патологии у вертолетчиков, принимавших участие в ЛПА, % (по данным ВЛК). Числитель — летчики, работавшие в острый период аварии, знаменатель — летчики, работавшие в промежуточный период аварии

Класс болезней	Годы										
	до 1986 (до аварии) $n = 232$	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Болезни эндокринной системы, расстройства питания, нарушения обмена веществ и иммунитета	$\frac{4,0}{3,7}$	$\frac{5,4}{3,7}$	$\frac{5,4}{4,9}$	$\frac{6,0}{4,9}$	$\frac{6,7}{4,9}$	$\frac{6,7}{4,9}$	$\frac{11,4}{6,1}$	$\frac{12,7}{6,1}$	$\frac{12,7}{6,1}$	$\frac{12,7}{6,1}$	$\frac{12,7}{6,1}$
Болезни крови и кроветворных органов	—	—	—	—	—	—	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{0,7}{—}$
Болезни нервной системы, органов чувств	$\frac{18,8}{9,8}$	$\frac{19,4}{15,9}$	$\frac{25,5}{19,5}$	$\frac{28,8}{22,0}$	$\frac{29,5}{22,0}$	$\frac{31,5}{22,0}$	$\frac{40,2}{26,8}$	$\frac{40,2}{28,0}$	$\frac{40,9}{30,5}$	$\frac{40,9}{30,5}$	$\frac{41,5}{30,5}$
Болезни системы кровообращения	$\frac{10,7}{11,0}$	$\frac{12,7}{13,4}$	$\frac{13,4}{17,0}$	$\frac{18,1}{18,3}$	$\frac{20,8}{22,0}$	$\frac{22,1}{23,2}$	$\frac{27,5}{25,6}$	$\frac{28,8}{25,6}$	$\frac{29,5}{26,8}$	$\frac{29,5}{26,8}$	$\frac{29,5}{26,8}$

Окончание табл. 7.2

Класс болезней	Годы										
	до 1986 (до аварии) $n = 232$	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Болезни органов дыхания	$\frac{1,3}{-}$	$\frac{4,0}{1,2}$	$\frac{4,7}{1,2}$	$\frac{5,4}{1,2}$	$\frac{6,0}{2,4}$	$\frac{7,4}{2,4}$	$\frac{14,7}{3,7}$	$\frac{14,7}{4,9}$	$\frac{14,7}{4,9}$	$\frac{14,7}{4,9}$	$\frac{14,7}{4,9}$
Болезни органов пищеварения	$\frac{6,0}{4,9}$	$\frac{9,4}{8,5}$	$\frac{13,4}{12,2}$	$\frac{14,7}{15,9}$	$\frac{14,7}{15,9}$	$\frac{14,7}{15,9}$	$\frac{24,8}{17,1}$	$\frac{24,8}{17,1}$	$\frac{24,8}{17,1}$	$\frac{24,8}{17,1}$	$\frac{24,8}{17,1}$
Болезни мочеполовой системы	-	-	-	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$	$\frac{0,7}{-}$
Болезни кожи и подкожной клетчатки	$\frac{-}{1,2}$	$\frac{0,7}{2,4}$	$\frac{1,3}{3,7}$	$\frac{2,7}{4,9}$	$\frac{2,7}{4,9}$	$\frac{2,7}{6,1}$	$\frac{3,4}{8,5}$	$\frac{3,4}{9,8}$	$\frac{3,4}{9,8}$	$\frac{3,4}{9,8}$	$\frac{3,4}{9,8}$
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	$\frac{2,0}{2,4}$	$\frac{2,7}{2,4}$	$\frac{6,0}{3,7}$	$\frac{6,7}{6,1}$	$\frac{10,0}{6,1}$	$\frac{11,4}{6,1}$	$\frac{16,1}{6,1}$	$\frac{16,1}{6,1}$	$\frac{16,8}{6,1}$	$\frac{16,8}{6,1}$	$\frac{18,0}{8,5}$



Таблица 7.3. Частота выявления патологии у необлученных вертолетчиков (контрольная группа), % (по данным ВЛК)

Класс болезней	Годы										
	до 1986 (до аварии) n = 65	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Новообразования	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	1,5
Болезни эндокринной системы, расстройства питания, нарушения обмена веществ и иммунитета	1,5	3,1	3,1	3,1	3,1	4,6	9,2	9,2	10,8	10,8	10,8
Болезни крови и кроветворных органов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Болезни нервной системы, органов чувств	3,1	7,7	10,8	13,9	16,9	20,0	20,0	26,2	33,9	33,9	40,0
Болезни системы кровообращения	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	6,2	12,3	12,3	16,9	18,5	20,0
Болезни органов дыхания	—	3,1	3,1	3,1	3,1	6,2	6,2	6,2	9,2	13,9	13,9
Болезни органов пищеварения	1,5	1,5	3,1	6,2	6,2	10,8	13,9	13,9	13,9	15,4	15,4
Болезни мочеполовой системы	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	1,5	1,5
Болезни кожи и подкожной клетчатки	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	—	—	—	—	—	3,1	6,4	7,7	9,2	12,3	13,9

Внутри классов по некоторым болезням у облученных вертолетчиков наблюдаются особенности. Так, у летчиков, работавших в острый период аварии, гиперплазия щитовидной железы диагностирована у 6,7 %, в то время как у ликвидаторов с меньшей дозой облучения — у 1,2 %, в контроле — у 1,6 % (табл. 7.4).

Таблица 7.4. Выявляемость заболеваний эндокринной системы и органов дыхания у вертолетчиков в 1995 г., %

Класс болезней и форма заболевания		Группы обследованных		
		Летчики, работавшие в острый период аварии	Летчики, работавшие в промежуточный период аварии	Контроль
Болезни эндокринной системы	Всего	14,0	6,1	10,8
	Ожирение	6,7	4,9	9,2
	Гиперплазия щитовидной железы	6,7	1,2	1,6
	Зоб узловатый	0,6	—	—
Болезни органов дыхания	Всего	14,7	4,9	13,9
	Тонзиллит	5,3	2,4	4,6
	Ринит	4,0	—	1,5
	Ларингит	0,7	—	—
	Прочие	4,7	2,5	7,8

В какой-то мере по этим данным можно судить о степени влияния облучения (прежде всего, от радиоактивного йода) на щитовидную железу. Однако сравнение этих показателей со среднестатистическими для европейской части России [170] показало, что эти цифры сопоставимы. Это дает основание предположить, что особый вклад в уровень заболеваний щитовидной железы вносит фактор «прицельного исследования» этого органа у пострадавших вертолетчиков. И тем не менее высокая степень выявления гиперплазии щитовидной железы у вертолетчиков, работавших в острый период ЛПА, весьма показательна. Учитывая малую продолжительность жизни  $^{131}\text{I}$  (период полураспада — 8 суток) и поэтому ограниченный срок воздействия радионуклида на щитовидную железу, можно предполагать, что высокая заболеваемость щитовидной железы у ликвидаторов первого периода

восстановительных работ (до 15 суток после аварии) вызвана повышенным уровнем загрязненности окружающей среды радиоактивным йодом именно в этот ранний поставарийный период. Следует также учесть, что в этот период в воздухе над реактором находился и атомарный йод от которого средства защиты дыхания фильтрующего типа не защищают: в 1986 г. их по просту не было, фактически при пролете над разрушенным реактором экипаж вертолета получал ингаляцию с йодом. Осознание этой проблемы возникло в 1988 г. при разработке требований к инженерным машинам разграждения (ИМР).

Сходные закономерности засвидетельствованы для класса «Болезни органов дыхания». У 4 % ликвидаторов, выполнявших задание в острый период, установлены заболевания носа и придаточных пазух носа в виде нозологической формы, называемый риносинусопатией. Уровень заболеваний в целом по этому классу в 3 раза выше по сравнению с работавшими в промежуточный период, что можно объяснить ингаляционным поражением дыхательных путей из-за особенно высокого уровня загрязненности радионуклидами вдыхаемого ликвидаторами воздуха в ранний поставарийный период. В Части I настоящей работы приводятся данные о нарушении бронхиальной проходимости на уровне мелких бронхов у обследуемых в острый период аварии; препараты йода обладают отхаркивающим действием. И здесь мы видим сложный механизм патогенеза расстройств у ликвидаторов в поставарийный период.

В структуре заболеваемости основной удельный вес составляют: болезни нервной системы и органов чувств (у ликвидаторов — 28 %, у работавших в острый и промежуточный периоды — 30 % в контроле — 35 %); болезни системы кровообращения (соответственно 20; 27 и 17 %); органов пищеварения (17; 17 и 13 %); костно-мышечной системы и соединительной ткани (12; 9 и 12 %); органов дыхания (10; 5 и 11 %) и эндокринной системы (9; 6 и 9 %). В динамике (1986–1995 гг.) структура заболеваемости изменяется: отмечается рост болезней органов дыхания и органов чувств (во всех группах) и щитовидной железы (только у облученных со средней дозой  $22,6 \pm 0,6$  сГр).

Таким образом, можно сделать следующие заключения. По отношению к доаварийным значениям рост частоты выявления патологии у вертолетчиков, работавших в острый период аварии и получивших более высокие дозы облучения, происходил более интенсивно. В среднем у облученных в 2–4 раза возросла частота выявления хронической патологии по основным вышеперечисленным классам болезней. Следовательно, можно говорить о влиянии радиационного облучения на состояние здоровья вертолетчиков-ликвидаторов. Тем не менее требуются

дальнейшее постоянное наблюдение за этой когортой авиаспециалистов, более детальный сравнительный анализ заболеваемости, в том числе установление значимости других (нерадиационных) факторов в общей картине отдаленных нарушений.

**7.1.2. Динамика гематологических показателей.** Данные серийных исследований гематологических показателей в течение 10 лет (5 лет до и 5 лет после аварии) показали, что в основном выявленные изменения укладываются в таковые, установленные у лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате взрыва ядерного оружия на полигоне в Тихом океане в 1954 г. [23]. В то же время имелись определенные особенности.

Незначительное понижение уровня лейкоцитов и нейтрофилов у вертолетчиков со средней дозой облучения 18 сГр отмечалось в течение 1-й и 2-й недель (рис. 7.2 и 7.3). Причем значения показателей в этот срок были на 15–20 % ниже доаварийных. Такие же тенденции сохранялись до 200-х суток. Лишь к концу года уровень лейкоцитов повысился до фоновых значений. Однако число нейтрофильных гранулоцитов продолжало оставаться сниженным.

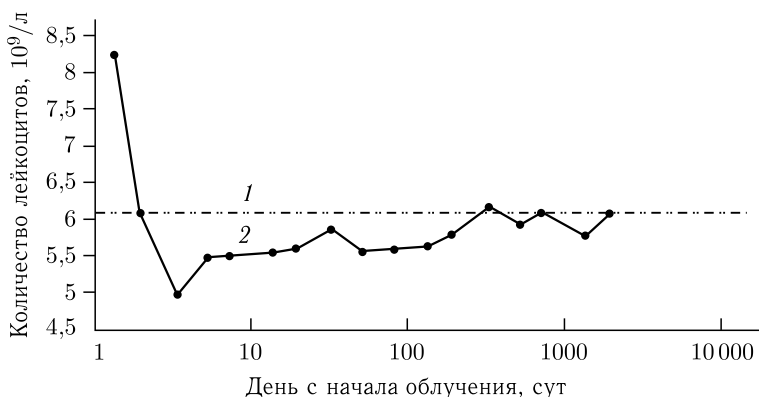


Рис. 7.2. Динамика измерения количества лейкоцитов у вертолетчиков за пять лет до (1) и после (2) выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

В течение первой недели с начала облучения увеличилось количество эритроцитов (до  $4,82 \times 10^{12}/л$ ), гемоглобина (до 157 г/л), тромбоцитов (до  $3,6 \times 10^{11}/л$ ) (рис. 7.4–7.6). Затем их количество прогрессивно снижалось.

Начиная с 30-х суток регистрировалось снижение количества эритроцитов и тромбоцитов, достигающее минимума к 80-м суткам

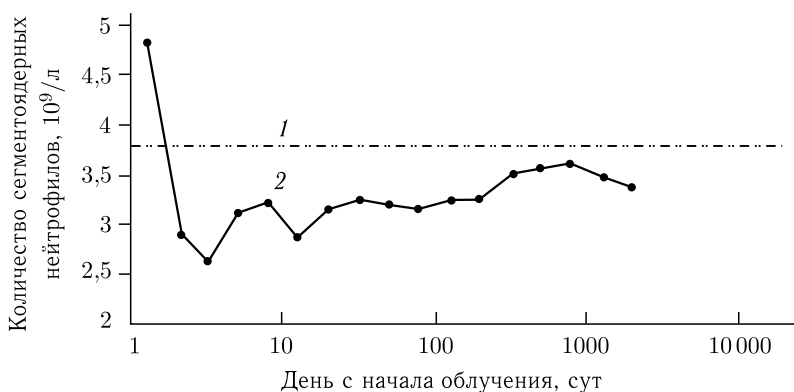


Рис. 7.3. Динамика измерения количества сегментоядерных нейтрофилов у вертолетчиков за пять лет до (1) и после (2) выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

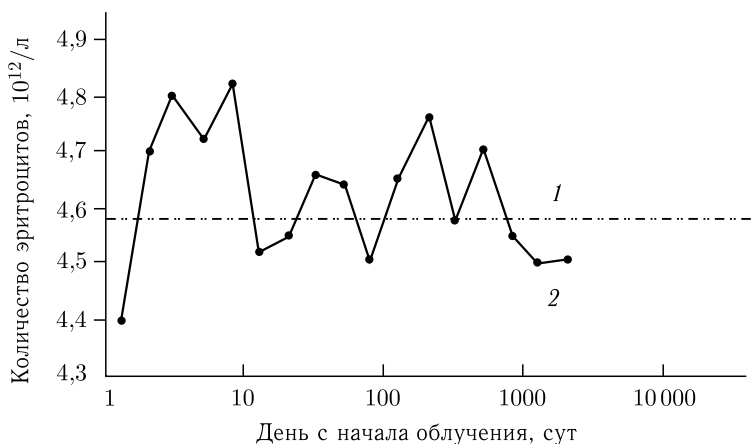


Рис. 7.4. Динамика измерения количества эритроцитов у вертолетчиков за пять лет до (1) и после (2) выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

( $4,51 \times 10^{12}/л$  и  $2,51 \times 10^{11}/л$  соответственно). Количество гемоглобина достигало минимума (145,5 г/л) к 20-м суткам, затем повысилось, а с 30-х суток вновь уменьшилось вплоть до 80-х суток.

Динамика ретикулоцитов противоположна изменениям числа эритроцитов и содержания гемоглобина (рис. 7.7). В течение 10 суток число ретикулоцитов практически не менялось. В период с 20-х по 110-е сутки наблюдается повышенное содержание ретикулоцитов в крови.

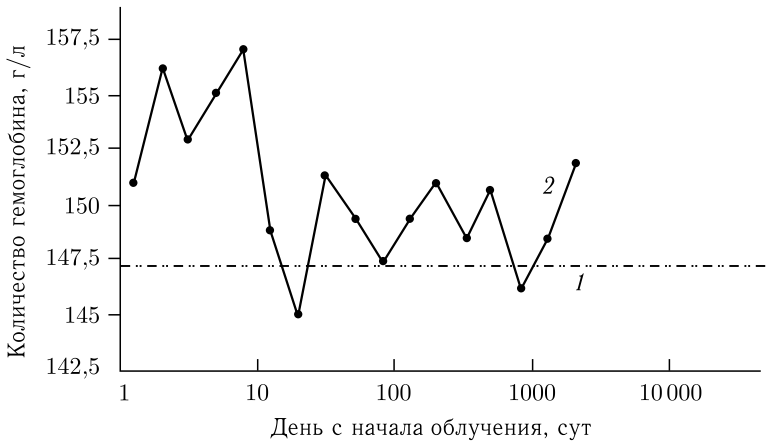


Рис. 7.5. Динамика измерения уровня гемоглобина у вертолетчиков за пять лет до (1) и после (2) выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

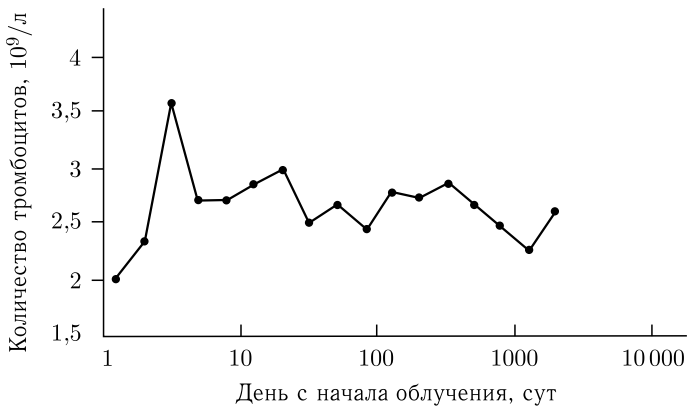


Рис. 7.6. Динамика измерения количества тромбоцитов у вертолетчиков после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

Описанные особенности временной динамики показателей периферической крови можно объяснить развитием адаптационно-компенсаторных реакций в организме в ответ на действие факторов среды. Вне всякого сомнения, можно сказать, что происходит суммация эффектов от комбинированного воздействия радиации и других, трудно поддающихся учету факторов.

Сниженное содержание лейкоцитов на протяжении длительного периода ассоциируется, по нашему мнению, с фактом облучения.

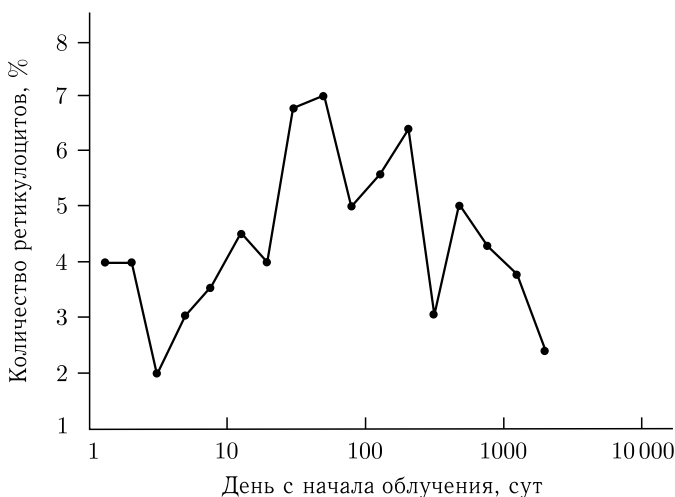


Рис. 7.7. Динамика измерения количества ретикулоцитов у вертолетчиков после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности

Возрастание числа эритроцитов, тромбоцитов и содержания гемоглобина обусловлено, по всей видимости, неспецифической реакцией на стресс в виде выброса депонированных клеток из костного мозга и селезенки [60].

Снижение числа эритроцитов и содержания гемоглобина (с 30-х по 80-е сутки) объясняется нарушениями эритропоэза в компартменте клеток костного мозга, совпадающими со средней продолжительностью жизни эритроцитов (60–90 суток). Факт роста числа ретикулоцитов в этот же период отражает активацию эритропоэза, которая начинается с 80-х суток и продолжается до 200-х суток с начала облучения. В целом, средние значения эритроцитов и гемоглобина в поставарийный период были достоверно выше показателей до облучения.

Представляет интерес анализ реакции крови у контингента вертолетчиков сразу после прибытия из зоны боевых действий (3-я группа, табл. 7.5). У 23 % обследованных этой группы наблюдалось превышение уровня общего числа лейкоцитов в сравнении с нормативными данными (максимальное значение лейкоцитов составило  $10,8 \times 10^9/\text{л}$ ), у 10 % выявлено снижение относительного количества лимфоцитов, у 3 % — абсолютного числа лимфоцитов. Количество гранулоцитов было увеличено у 17 % вертолетчиков.

Такие же тенденции сохранялись при проведении сравнительного анализа показателей лейкограмм 3-й и 2-й групп (в данном случае 2-я группа выступает в качестве контрольной). По состоянию красной

Таблица 7.5. Показатели крови у вертолетчиков в отдаленные сроки после облучения и в ранний период после участия в боевых действиях в Чечне

Показатель	Облученный летный состав		Необлученный летный состав	Физиологическая норма*
	Срок после облучения на ЧАЭС		Срок после участия в боевых действиях	
	7 лет (1-я группа) 32 человека	9 лет (2-я группа) 18 человек	2-е сутки (3-я группа) 30 человек	
Возраст, годы	39,1 ± 0,8	36,2 ± 1, 7	32,2 ± 1,1	—
Доза облучения, сГр	15,5 ± 1,5	14,4 ± 2,1	—	—
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	5,8 ± 0,4	6,8 ± 0,5	7,1 ± 0,3	4,0–8,9
Лимфоциты, %	36,9 ± 1,7	35,8 ± 1,4**	29,2 ± 1,3	19,0–37,1
Моноциты, %	5,1 ± 0,6	7,3 ± 1,2	7,7 ± 0,9	3,0–11,1
Гранулоциты, %	58,0 ± 0,7	56,8 ± 1,9**	63,1 ± 1,3	48,0–78,1
Лимфоциты, 10 <sup>9</sup> /л	2,1 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,1	1,2–3,1
Моноциты, 10 <sup>9</sup> /л	0,3 ± 0,15	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,1–0,7
Гранулоциты, 10 <sup>9</sup> /л	3,4 ± 0,35	4,0 ± 0,4	4,6 ± 0,3	2,0–5,9
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	5,6 ± 1,4	4,6 ± 0,1	4,5 ± 0,1	3,7–5,1
Гемоглобин, г %	16,3 ± 0,2	16,2 ± 0,3	15,6 ± 0,2	12,0–16,1
Гематокрит, %	—	42,0 ± 0,9	41,6 ± 0,5	36,0–48,1
Средний объем эритроцита, 10 <sup>-15</sup> /л	—	91,1 ± 1,0	92,5 ± 0,8	75,0–95,1
Среднее содержание гемоглобина в 1 эритроците, пг	—	35,1 ± 0,5	35,3 ± 0,3	24,0–33,1
Среднее содержание гемоглобина в общей эритроцитарной массе, г %	—	38,6 ± 0,1	38,1 ± 0,1	30,0–38,1



Окончание табл. 7.5

Показатель	Облученный летный состав		Необлученный летный состав	Физиологическая норма*
	Срок после облучения на ЧАЭС		Срок после участия в боевых действиях	
	7 лет (1-я группа) 32 человека	9 лет (2-я группа) 18 человек	2-е сутки (3-я группа) 30 человек	
Распределение эритроцитов по диаметру, %	—	13,1 ± 0,2	13,4 ± 0,2	12,7–15,8
Тромбоциты, 10 <sup>9</sup> /л	—	230,0 ± 10,3	221,0 ± 8,8	180–321
Средний объем тромбоцита, 10 <sup>-15</sup> /л	—	8,2 ± 0,1	8,0 ± 0,1	8,8–12,9
Тромбокрит, %	—	0,2 ± 0,09	0,2 ± 0,06	0,165–0,266
Распределение тромбоцитов по диаметру, %	—	16,6 ± 0,2	16,6 ± 0,1	12,3–16,4

*Примечание.* \* — среднестатистические результаты гематологического обследования населения (литературные данные), \*\* — достоверные различия между 2-й и 3-й группами ( $P < 0,05$ ).

крови во 2-й и 3-й группах отмечено увеличение концентрации гемоглобина по сравнению с нормой у 50 и 60 % летчиков соответственно. В 20 % случаев в 3-й группе снижено содержание тромбоцитов (до  $145 \times 10^9/\text{л}$ ). По отношению к нормативным данным у 52 % из 3-й группы и у 27 % из 2-й был снижен тромбоцитарный гематокрит. Показатель кривой распределения тромбоцитов возрстал.

Такой характер изменений лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов позволяет предположить развитие эффекта активации этих клеток, перехода их в состояние повышенной функциональной готовности [93]. Таким образом, у летчиков, прибывших из зоны боевых действий, прослеживается четкая постстрессовая реакция, проявляющаяся отклонениями параметров крови в виде лейкогранулоцитоза в различных сочетаниях с лимфопенией, тромбоцитопенией со снижением тромбокрита. Данные соотношения являются логичными и соответствуют

представлениям о патогенетических механизмах развития реакции крови на стресс [37]. Более того, ответ на воздействие комплекса факторов радиационной обстановки субвоенного времени, каковой явилась авария на ЧАЭС, практически однонаправлен со сдвигами в системе крови у людей после боевого стресса.

Так, у ликвидаторов в первую неделю с начала облучения встречались гематологические реакции в виде изолированной лейко- или лимфопении (у 2,4 %), тромбоцитопении (у 8,5 %), тромбоцитоза (у 7 %), увеличения содержания гемоглобина (у 15 %). Известно [147], что сразу после облучения происходит относительно кратковременное увеличение числа лейкоцитов в основном за счет гранулоцитов.

Таким образом, гематологические отклонения у летчиков после их облучения в период выполнения работ по ЛПА обусловлены, прежде всего, воздействием радиации и комплекса факторов, характерных для экстремальных аварийных ситуаций, которые приводят к возникновению постстрессовых изменений показателей крови, сходных с состоянием таковых при деятельности, сопряженной с высокой психоэмоциональной напряженностью.

**7.1.3. Связь показателей периферической крови с воздействием радиационных и нерадиационных факторов.** В различные сроки после облучения динамика основных гематологических показателей зависела от ряда внешних параметров (дозы радиации, стажа профессиональной деятельности, возраста, наличия патологии не препятствующей летной деятельности), взятых в качестве базовой основы при проведении множественного корреляционного анализа. Процент вклада каждого из них определялся по коэффициенту детерминации.

Считается, что если коэффициент детерминации больше 60 %, то сила связи между параметрами достаточно велика. При значениях меньше 20 % связь слабая.

Кроме того, сравнение степени влияния факторов возможно на основе процента объясненной дисперсии (см. разд. 4.1): если ее величина превышает 5 %, то это указывает на существенный вклад фактора в динамику параметра и допустимы анализ и интерпретация его средних значений. Если процент объясненной дисперсии меньше пяти, то можно отметить лишь наличие связи.

Было установлено, что изменения СОЭ в первые 30 суток с начала облучения достоверно зависели от возраста обследуемых (коэффициент детерминации — 18 %), профессионального стажа (12 %) и наличия отклонений в состоянии здоровья (10 %). В более поздние сроки

наблюдения (до 5 лет) выявлена слабая положительная связь с дозой облучения (2,4 %).

Статистическая обработка показала, что в течение 30 суток на содержание общего числа лейкоцитов в крови оказывал влияние фактор дозы (7 %), в последующем — факторы стажа (5,2 %), возраста (3,4 %), наличия диагноза (2,7 %).

Ряд параметров лейкоцитарной формулы также изменялся в течение исследуемых периодов. Так, на протяжении первых 30 суток абсолютное и процентное количество эозинофилов и моноцитов достоверно ( $P < 0,05$ ) зависело от дозы. В дальнейшем (от 30 до 230 суток) эти показатели также коррелировали с дозой радиационного воздействия. Кроме того, на показатель абсолютного и процентного числа сегментоядерных гранулоцитов влияли в разной степени доза облучения (5,6 %) и профессиональный стаж (4,5 %). Остальные связи в этот период, в том числе по красной крови, были недостоверными.

В сроки от 230 суток до 2 лет установлена положительная корреляция между дозой и количеством эритроцитов (коэффициент детерминации 4,3 %), между парциальной недостаточностью здоровья и количеством ретикулоцитов (22,3 %).

В ранний отдаленный период (2–5 лет) с момента облучения доза достоверно ( $P < 0,05$ ) влияла на содержание лейкоцитов (2,9 %), прежде всего, сегментоядерных и палочкоядерных.

Однофакторный дисперсионный анализ позволил установить влияние дозы радиации на изменения показателей крови у летчиков без (1-я группа) и с наличием патологии (2-я группа).

Фактор дозы в течение первых 30 суток у лиц 1-й группы объяснял дисперсию относительного количества моноцитов (на 13 %), абсолютного числа эозинофилов (на 10 %) и сегментоядерных нейтрофилов (на 8,8 %). В то же время во 2-й группе происходили более существенные изменения в содержании лейкоцитов, эритроцитов, СОЭ, относительного содержания сегментоядерных гранулоцитов, лимфоцитов, гемоглобина, абсолютного числа палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов (процент объясненной дисперсии изменялся от 30 % до 40 %). Учитывая тот факт, что система гемопозза является своеобразным зеркалом гомеостаза, можно констатировать, что в ранние сроки после воздействия радиации у летчиков с диагнозами вследствие изначально измененного гомеостатического потенциала возникает явный дисбаланс в общей системе короткоранговых и дистанционных механизмов регуляции кроветворения, более весомый, нежели у здоровых летчиков.

В течение периода времени до 230 суток группы обследованных (имеющих и не имеющих диагноз) имели достоверные ( $P < 0,05$ ) различия по F-критерию Фишера по следующим гематологическим признакам: СОЭ, количеству лейкоцитов и моноцитов. Парциальная недостаточность здоровья при различении двух групп объясняла на 2,9 % дисперсию скорости оседания эритроцитов, на 2,5 % — общего числа лейкоцитов и на 1,7 % — абсолютного числа моноцитов. Отметим, что выявленные закономерности сохраняются и в дальнейшем. В период с 230-х до 720-х суток различия между обследованными установлены по содержанию ретикулоцитов, что было ранее подтверждено выявлением корреляционной связи между их содержанием и наличием патологии диагноза.

В более поздние сроки (до 5 лет с момента облучения) достоверными были отклонения большинства параметров крови у летчиков с патологией.

Следовательно, фактор дозы, с одной стороны, приводит к значительному нарушению гомеостаза у лиц с измененным фоном и, с другой, в совокупности с другими профессиональными факторами «расшатывает» резервы здоровых летчиков, запускает ряд каскадных реакций, что отражается на состоянии различных функциональных систем в отдаленный период.

Оценка информативности гематологических показателей для решения задачи выделения двух классов пораженных (1-й класс — с дозами менее 25 сГр, 2-й класс — с дозами более 25 сГр) в ранние сроки с начала облучения проводилась путем использования дискриминантного анализа. Доза в 25 сГр рассматривалась как предельно допустимая для аварийных ситуаций.

Из 19 показателей периферической крови были отобраны наиболее значимые, которые необходимо учитывать при построении дискриминантной функции (ДФ).

Линейная модель ДФ в сроки до 180-х суток с начала облучения имела следующий вид:

$$F(X) = -177 + 122X_1 + 1,8X_2 - 0,6X_3 + 1,1X_4 + 2,1X_5,$$

где  $X_1$  — содержание эозинофилов ( $\times 10^9/\text{л}$ );  $X_2$  — содержание палочкоядерных нейтрофилов (%);  $X_3$  — количество моноцитов (%);  $X_4$  — количество лимфоцитов (%);  $X_5$  — содержание гемоглобина (г/л).

По средним значениям гематологических показателей в 1-й и 2-й группах были рассчитаны центроиды на оси ДФ (рис. 7.8). Нанося точку с конкретным значением обследуемого на ось, решают, к какому классу следует его отнести. Это решение принимают

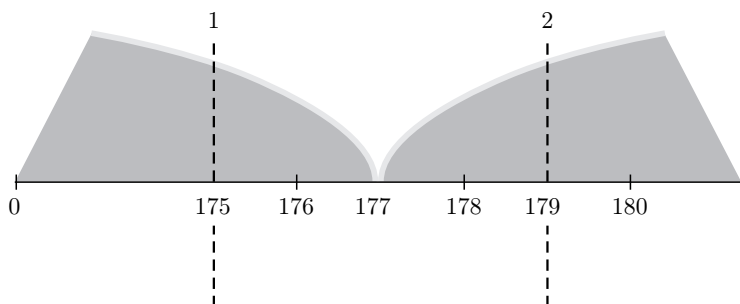


Рис. 7.8. Числовая ось и значения дискриминантной функции в течение 180 суток с начала облучения для 2 классов облученных: 1-й класс — облученные в дозах меньше 25 сГр; 2-й класс — облученные в дозах больше 25 сГр

по минимальному удалению точки от центра соответствующего класса.

Относительный вклад дискриминантной функции в решение задачи отнесения индивида к одной из двух групп составляет 64,8 % (85,6 % — распознавание 1-й группы; 35 % — распознавание 2-й группы). Низкий процент распознавания 2-й группы обусловлен немногочисленной выборкой обследуемых.

В то же время следует отметить, что диагностика классов облученных имеет наибольший смысл в ранние сроки после облучения (см. Часть I книги). К тому же вне зависимости от времени, прошедшего с момента облучения, классификация пораженных тем достовернее, чем шире и больше набор показателей (гематологических, иммунологических, биохимических и т. д.).

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Сдвиги в системе гемопоэза в различные сроки после воздействия малых доз радиации в большей степени носят неспецифический адаптационный характер.

2. Наибольшее влияние на динамику показателей крови оказывают в разной степени доза радиации, возраст, профессиональный стаж и уровень здоровья. Так, в ранние сроки после облучения (до 30 суток) на содержание лейкоцитов оказывал влияние фактор дозы (7 %) и профессиональный стаж (4,5 %). Начиная с 230-х суток до 2 лет установлена связь между дозой, количеством эритроцитов, количеством ретикулоцитов и уровнем здоровья. В период от 2 до 5 лет доза достоверно влияла на содержание лейкоцитов.

3. Наиболее значимые отклонения со стороны системы крови в течение первых 30 суток после облучения зарегистрированы у верто-

летчиков с наличием диагноза. Доза радиации объясняет динамику лейкоцитов (на 44 %), эритроцитов (на 40 %), сегментоядерных нейтрофилов (на 31 %), лимфоцитов и гемоглобина (на 29 %). В более поздние сроки (до 5 лет) отклонения большинства параметров крови у летчиков с патологией (диагнозами) также более выражены.

Комплекс рассмотренных факторов значимо влияет на сдвиги в показателях крови и приводит к развитию неустойчивых динамичных состояний, характеризующихся высокой степенью риска возникновения отдаленных негативных последствий облучения.

## **7.2. Оценка иммунологических и цитохимических показателей**

При анализе имеющихся литературных данных можно выделить две группы исследований. К первой относятся те, результаты которых свидетельствуют об активизирующем действии облучения на иммунитет и неспецифическую защиту. Так, С.Т. Миланов и И.А. Гюлева [125] указывают на стимуляцию неспецифической гуморальной защиты, продукции противовирусных антител при дозах порядка 0,3 Гр. Повышение концентрации иммуноглобулинов различных классов выявлено у работников АЭС, обслуживающего персонала реакторов [213] и рабочих урановых рудников [233].

В экспериментах на животных описано усиление пролиферации Т<sub>8</sub>-лимфоцитов [216] и Т-лимфоцитов [219] после длительного воздействия малых доз радиации.

В то же время обращают на себя внимание и работы противоположной направленности и, соответственно, толкования постлучевых изменений иммунитета и неспецифической резистентности. Установлено, что фагоцитарная активность нейтрофилов снижается при небольших дозах (0,25 Гр) [14]. Имеются данные о большей радиочувствительности Т-супрессоров [216]. Показано, что минимальная доза, вызывающая изменения в Т-клетках, равна 0,05 Гр [199]. Причем характер ответной реакции на воздействие малых доз определяется степенью угнетения активности тимидин-киназы костного мозга и содержанием небелкового глутатиона [211].

В ряде работ, посвященных отдаленным последствиям аварии на ЧАЭС, отмечены следующие характерные изменения в иммунной системе: снижение общего количества Т-лимфоцитов с увеличением доли Т-активных лимфоцитов, угнетение поглотительной способности нейтрофилов [109, 110]; снижение функциональной активности

T-лимфоцитов за счет нарушения процессов репарации ДНК [87], модуляция свойств и функций нейтрофильных гранулоцитов [165].

Хотя единого мнения относительно значимости иммунологических отклонений в патогенезе соматических расстройств постлучевого периода до сих пор не существует, не вызывает сомнения, что действие малых доз радиации, сопровождающееся ранними и отсроченными нарушениями иммунной системы организма, ведет к снижению его устойчивости к патогенным факторам [128].

Вместе с тем анализ литературных данных о разнообразных эффектах влияния широкого спектра факторов окружающей среды и производства на показатели иммунной системы [28, 46, 55, 58, 92, 191] свидетельствует о многочисленных, порой трудно поддающихся осмыслению и трактовке изменениях иммунологических показателей, которые, с одной стороны, носят, по-видимому, адаптивный характер, с другой — свидетельствуют о снижении функциональных возможностей системы иммунитета. В этом плане наибольший интерес приобретает высказанное Г.Н. Крыжановским [93] положение о том, что нормальное развитие процесса адаптации к неблагоприятным внешним воздействиям и возникающим при этом эндогенным нарушениям гомеостаза во многом зависит от наличия функциональных резервов, в том числе резервов иммунитета, и возможности их мобилизации.

В данном исследовании использовались иммунологические тесты, объединенные К.А. Лебедевым и соавторами [100] в понятие «иммунограммы». Такой подход, на наш взгляд, базируясь на классических показателях гемограммы, хотя и не позволяет точно определять (в сравнении с моноклональной технологией) популяционный состав иммунокомпетентных клеток, в то же время дает возможность оценивать количественно-функциональные перестойки в иммунной системе.

Через 5 лет после участия в ЛПА на ЧАЭС анализ показателей иммунного статуса ликвидаторов не выявил резких сдвигов в количественно-функциональных характеристиках T- и B-систем иммунитета в сравнении с нормативными данными (табл. 7.6).

В то же время результаты иммунологического обследования отобранного контингента, ранжированные в зависимости от дозы облучения, выявили характерные различия и представляют особый интерес для обсуждения (табл. 7.7).

Так, обращает на себя внимание тот факт, что более выраженные изменения в средних величинах отдельных иммунологических показателей в сравнении с контрольной группой установлены в группе с меньшей средней дозой облучения ( $18,0 \pm 1,65$  сГр) и касались уровней основных клеточных популяций — относительного содержания

Таблица 7.6. Иммунный статус вертолетчиков через 5 лет после выполнения задания на радиоактивно зараженной местности ( $M \pm m$ )

Показатель	Группы обследованных		
	Облученный летный состав ( $n = 62$ )	Контроль ( $n = 10$ )	Диапазон нормальных значений
Возраст, лет	34,7 ± 0,7	35,1 ± 0,6	27–55
Доза облучения, с Гр	25,0 ± 0,5	–	–
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	6,0 ± 0,32	5,3 ± 0,64	3,12–9,5
Лимфоциты, %	38,0 ± 2,23	35,6 ± 3,0	17–46
Лимфоциты, 10 <sup>9</sup> /л	2,26 ± 0,14	1,94 ± 0,34	0,72–4,10
Нейтрофилы:			
Палочкоядерные, %	3,36 ± 0,38	3,1 ± 0,43	1–5
Сегментоядерные, %	51,0 ± 2,84	54,3 ± 3,52	42–73
Моноциты, %	35,0 ± 0,52	4,4 ± 0,56	2–10
Эозинофилы, %	3,9 ± 0,54	2,6 ± 0,84	1–5
Т-лимфоциты (Е-РОЛ), %	66,0 ± 4,65	70,6 ± 4,43	40–84
Т-лимфоциты (Е-РОЛ), 10 <sup>9</sup> /л	1,47 ± 0,17	1,37 ± 0,25	0,40–3,12
В-лимфоциты (М-РОЛ), %	5,08 ± 1,4	2,8 ± 0,75	2–25
В-лимфоциты (М-РОЛ), 10 <sup>9</sup> /л	0,11 ± 1,035	0,06 ± 0,015	0,02–0,98
О-лимфоциты, %	28,9 ± 5,07	27,7 ± 4,36	–4–40
Теофиллинрезистентные Т-лимфоциты, %	56,9 ± 5,59	53,7 ± 5,9	36–80
Теофиллинчувствительные Т-лимфоциты, %	9,7 ± 5,88	17,6 ± 9,45	–10–43
Фагоцитирующие нейтрофилы, %	63,0 ± 5,67	67,9 ± 4,04	20–71
Ig A, г/л	1,95 ± 0,12	1,8 ± 0,21	0–4,4
Ig M, г/л	0,94 ± 0,08	1,02 ± 0,10	0,35–2,9
Ig G, г/л	11,4 ± 2,9	9,27 ± 0,55	5,7–18,0

*Примечание.* В этой и последующих таблицах нормальные значения показателей приведены по данным К.А. Лебедева и И.Д. Понякиной [100].

Т-лимфоцитов, Т-теофиллинчувствительных лимфоцитов, В-лимфоцитов. При этом, если характеристики Т-клеточного звена иммунитета были достоверно ниже, чем в контрольной группе ( $P < 0,05$ ), то уровень В-клеток в этой группе обследованных повышался более, чем в 2 раза ( $P < 0,01$ ) на фоне практически неизменного содержания



Таблица 7.7. Информативные показатели иммунного статуса вертолетчиков в различные периоды аварии на ЧАЭС (5-летний срез) ( $M \pm m$ )

Показатель	Группы обследованных		
	Облученный летный состав		Контроль ( $n = 50$ )
	В острый период (1-я группа) ( $n = 48$ )	В промежуточный период (2-я группа) ( $n = 13$ )	
Возраст, лет	$34,3 \pm 0,77$	$36,5 \pm 1,26$	$35,7 \pm 1,16$
Доза облучения, с Гр	$26,2 \pm 1,18$	$18,0 \pm 1,65^{###}$	—
Т-лимфоциты, %	$66,3 \pm 1,52$	$61,1 \pm 3,12^*$	$68,7 \pm 1,9$
Т-активные лимфоциты, %	$59,7 \pm 1,65$	$57,9 \pm 4,39$	$66,5 \pm 6,57$
Теофиллинрезистентные Т-лимфоциты, %	$57,6 \pm 1,63$	$57,9 \pm 1,99$	$55,5 \pm 2,22$
Теофиллинчувствительные Т-лимфоциты, %	$8,7 \pm 1,7$	$4,25 \pm 3,25^*$	$13,4 \pm 2,84$
О-лимфоциты, %	$27,5 \pm 1,73$	$32,3 \pm 3,78$	$27,9 \pm 1,92$
В-лимфоциты, %	$6,3 \pm 0,53$	$7,77 \pm 1,19^{**}$	$3,7 \pm 0,46$
Ig A, г/л	$2,35 \pm 0,09^{***}$	$1,68 \pm 0,12^{###}$	$1,79 \pm 0,08$
Ig M, г/л	$1,41 \pm 0,09^{***}$	$0,91 \pm 0,08^{###}$	$1,02 \pm 0,04$
Ig G, г/л	$11,9 \pm 0,05$	$9,12 \pm 0,43^{###}$	$10,8 \pm 0,67$

*Примечание.* Достоверные различия при сравнении с контрольной группой:  
\* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $P < 0,01$ ; \*\*\* —  $P < 0,001$ .

Достоверные различия при сравнении 1-й и 2-й групп летного состава:  
### —  $P < 0,001$ .

в крови иммуноглобулинов классов *A, M, G*. Характерно, что достоверное повышение функциональной активности В-лимфоцитов отмечалось только в группе обследованных со средней дозой облучения  $26,2 \pm 1,18$  сГр как по отношению к контролю, так и в сравнении с группой людей, получивших меньшую среднюю дозу облучения.

Выявленные изменения в гуморальном звене иммунитета ликвидаторов обеих групп свидетельствуют в целом об его функциональной достаточности и могут характеризовать реакцию В-звена как стереотипную реакцию активации, наблюдаемую при различных перестройках иммунной системы (в процессе развития перенапряжения, хронического утомления, стресса) [35, 101, 109, 110, 117]. Однако превалирование



Рис. 7.9. Прирост заболеваемости за 5 лет у вертолетчиков, выполнявших задание в различные периоды аварии на ЧАЭС (в сравнении с результатами заключений ВЛК до аварии)

в 1-й группе людей с той или иной патологией, «диагнозом» (75 % от численности всей группы) и явными признаками патологического процесса (рис. 7.9) не исключает вклада основной заболеваемости в повышение функциональной активности В-лимфоцитов, оцениваемой по уровню в крови иммуноглобулинов класса *A, M, G* (см. табл. 7.8).

Данное предположение находится в соответствии с литературными данными [109, 110], свидетельствующими об аналогичной реакции гуморального звена иммунитета у людей, в том числе и ликвидаторов с заболеваниями, в генезе которых играют роль иммунные нарушения (болезни желудочно-кишечного тракта, щитовидной железы, сердечно-сосудистой системы, органов дыхания). Как видно из рис. 7.9, основной прирост заболеваемости вертолетчиков (по результатам ВЛК в 1990 и 1991 гг.) также проходил по вышеупомянутым классам болезней и был наиболее выражен для категории ликвидаторов, выполнявших задание в острый период аварии на ЧАЭС.

Таблица 7.8. Величина некоторых иммунологических показателей у вертолетчиков в зависимости от дозы облучения и уровня здоровья ( $M \pm m$ )

Показатель	Группы обследованных			
	Средняя доза облучения		Средняя доза облучения	
	26,2 ± 1,18 сГр		18,0 ± 1,65 сГр	
	С заболеваниями (n = 39)	С диагнозом «здоров» (n = 12)	С заболеваниями (n = 20)	С диагнозом «здоров» (n = 14)
Ig A, г/л	2,37 ± 0,1***	2,21 ± 0,23	1,68 ± 0,16	1,69 ± 1,62
Ig M, г/л	1,44 ± 0,11**	1,33 ± 0,15*	0,98 ± 0,13	0,81 ± 0,08
Ig G, г/л	12,2 ± 0,56***	10,5 ± 1,03	9,01 ± 0,67	9,28 ± 0,48

*Примечание.* Достоверные различия при сравнении аналогичных групп в различных дозовых выборках: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $P < 0,01$ ; \*\*\* —  $P < 0,001$ .

Дискриминантный анализ с определением информативности показателей гуморального иммунитета в диагностике различных патологических состояний выявил зависимость, описываемую уравнением

$$F = -3,63 + 0,31 \lg G,$$

где  $F$  — конкретные значения показателя, соответствующие статусу обследованных с той или иной парциальной недостаточностью здоровья:

1-я группа —  $F = -0,39$  (ликвидаторы, не имеющие отклонений в здоровье до и после аварии);

2-я группа —  $F = 0,05$  (ликвидаторы, имеющие один и тот же диагноз до и после облучения);

3-я группа —  $F = -0,15$  (облученные, не имеющие отклонений в состоянии здоровья до аварии и с установленным диагнозом после аварии);

4-я группа —  $F = 1,02$  (облученные, имеющие отклонения в состоянии здоровья до аварии и с установленным дополнительным диагнозом после аварии).

Расчеты показали, что диагностика вышеуказанных состояний в наибольшей степени возможна для 4-й группы.

На наш взгляд, заслуживают внимания и установленные факты некоторых сдвигов, происходящих в клеточном звене иммунной системы ликвидаторов (табл. 7.7).

При этом нельзя не отметить того обстоятельства, что наиболее выраженные изменения зарегистрированы в группе обследованных,

получивших меньшую дозу облучения (в сравнении с контрольной группой). В этой группе снижение розеткообразующей функции Т-лимфоцитов сочеталось с резким сокращением числа теофиллинчувствительных лимфоцитов, клеток, обогащенных супрессорной активностью. Такая перестройка клеточных компонентов, по нашему мнению, носит неспецифический характер и свидетельствует о более сильной мобилизации адаптационных резервов иммунной системы, направленных на поддержание гомеостаза, и протекает с минимальной затратой энергии [63]. Такая мобилизация, по-видимому, может во многом способствовать более адекватным механизмам поддержания гомеостаза организма у обследуемых этой группы (в отдаленный период после аварии на ЧАЭС) и, как следствие, препятствовать развитию различных патологических сдвигов в состоянии их здоровья. Данное обстоятельство находит отражение в более низком проценте лиц, имеющих то или иное заболевание на момент обследования (59 %). В то же время такое длительное состояние напряжения в иммунной системе не исключает возможности манифестирования предпатологических и функциональных сдвигов у ликвидаторов с меньшей дозой облучения ввиду расходования функциональных резервов иммунной системы. К таким расстройствам в первую очередь следует отнести нейровегетативные и психоэмоциональные эффекты, возникающие в поставарийный период, отличающиеся, как правило, стойкостью и распространенностью [16, 85, 102, 136, 156]. При этом данные состояния не только могут рассматриваться в качестве риска развития более серьезной патологии, но и в условиях сохраняющегося психосоциального стресса могут быть причиной, постоянно поддерживающей дисбаланс нейроэндокринной регуляции и приводящей к нестабильности иммунного статуса [17, 116, 136–139, 141]. В этой связи нельзя не указать также и на отмечаемую некоторыми авторами определенную взаимосвязь функциональных сдвигов в системе иммунитета и их глубины от степени нарушения генетического аппарата лимфоцитов у ликвидаторов [165].

Оценка лейкограммы в двух сравниваемых группах вертолетчиков, обследованных через 5 и 7 лет после участия в восстановительных работах (1-я и 2-я группы соответственно, табл. 7.9), свидетельствуют о сохранности некоторых изменений в соотношении клеточных элементов белой крови во 2-й группе (семилетний срез) по сравнению со средними величинами возрастной физиологической нормы, что указывает на перманентный характер ответной реакции организма на сложившийся комплекс внутренних и внешних факторов в этой группе обследованных.

Таблица 7.9. Лейкограмма у вертолетчиков через 5 и 7 лет после аварии на ЧАЭС ( $M \pm m$ )

Показатель	Группы обследованных		Физиологическая норма
	Срок после аварии на ЧАЭС		
	5 лет (1-я группа) ( $n = 12$ )	7 лет (2-я группа) ( $n = 32$ )	
Доза облучения, с Гр	$25 \pm 0,5$	$15,49 \pm 1,45$	—
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	$6,0 \pm 0,32$	$5,8 \pm 0,4$	$5,6 \pm 0,21$
Нейтрофилы: палочкоядерные, %	$3,36 \pm 0,38$	$5,28 \pm 0,73^*$	$1,56 \pm 0,015$
сегментоядерные, %	$51,0 \pm 2,84$	$48,06 \pm 1,41^*$	$60,3 \pm 1,18$
Моноциты, %	$3,5 \pm 0,52$	$5,13 \pm 0,57$	$6,2 \pm 0,24$
Эозинофилы, %	$3,9 \pm 0,54$	$4,38 \pm 0,51^*$	$2,2 \pm 0,03$
Базофилы, %	—	$0,25 \pm 0,08$	$0,4 \pm 0,003$
Лимфоциты, %	$38,0 \pm 2,23$	$36,88 \pm 1,66$	$29,4 \pm 1,11$

*Примечание.* Достоверные различия при сравнении с физиологической нормой: \* —  $P < 0,05$ .

Расширенное исследование иммунограммы у ликвидаторов 2-й группы выявило тенденцию к депрессии клеточного звена иммунитета, проявляющуюся в выраженном снижении в крови уровней Т-общих и Т-теофиллинрезистентных лимфоцитов и повышенном содержании О-клеток (табл. 7.10).

Данный факт, на наш взгляд, во многом может характеризовать состояние иммунных функций организма у обследованных в семилетнем срезе как проявление более интенсивной стереотипной реакции иммунной системы на чужеродный фактор. Согласно с литературными данными, констатирующими дисбаланс показателей и наличие недостаточности Т-клеточного иммунитета у 4,0–30,0 % ликвидаторов, обследованных спустя 5–6 лет после аварии на ЧАЭС [136–139], наши результаты подтверждают возможность сохранения и выявления аутоантигенных сдвигов в органах и тканях вертолетчиков в отдаленные периоды после аварии. Усугубление факторов клеточного иммунитета во 2-й группе может быть связано с неблагоприятным (кумулятивным) действием факторов летного труда (в этой группе общий налет в 2 раза

Таблица 7.10. Сравнительный анализ характеристик иммунного статуса вертолетчиков в различные периоды после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности и в Чечне ( $M \pm m$ )

Показатель	Группы обследованных					5-группа (физиологическая норма)
	1-я группа (5-летний период) (n = 13)	2-я группа (7-летний период) (n = 32)	3-я группа (9-летний период) (n = 17)	4-я группа (2-е сутки после прибытия из Чечни) (n = 12)	5-я группа (2-е сутки после прибытия из Чечни) (n = 12)	
Доза облучения, с Гр	18,0 ± 1,65	15,5 ± 1,45	14,4 ± 2,1	—	—	—
Возраст, лет	36,5 ± 1,26	39,1 ± 0,78	36,2 ± 1,7	32,2 ± 1,1	—	—
T-лимфоциты, %	61,1 ± 3,12	43,7 ± 2,98**	60,6 ± 3,0	56,3 ± 1,9	67,3 ± 1,21	67,3 ± 1,21
Теофиллинрезистентные T-лимфоциты, %	57,9 ± 1,99	38,5 ± 3,13**	41,4 ± 2,1	45,2 ± 2,5	55,6 ± 1,17	55,6 ± 1,17
Теофиллинчувствитель- ные T-лимфоциты, %	4,25 ± 3,25*	5,19 ± 4,24*	20,6 ± 3,6	12,1 ± 2,4	12,7 ± 0,91	12,7 ± 0,91
B-лимфоциты, %	7,77 ± 1,19	9,75 ± 1,51	9,4 ± 1,1	10,5 ± 1,0	8,2 ± 0,88	8,2 ± 0,88
O-лимфоциты, %	32,3 ± 3,78*	46,6 ± 3,46**	31,6 ± 3,6	34,0 ± 3,2	24,5 ± 0,92	24,5 ± 0,92
Ig A, г/л	1,68 ± 0,12	1,75 ± 0,14	1,4 ± 0,2	2,1 ± 0,2	1,86 ± 0,09	1,86 ± 0,09
Ig M, г/л	0,91 ± 0,08	1,14 ± 0,07	1,1 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,00 ± 0,09	1,00 ± 0,09
Ig G, г/л	9,12 ± 0,43	9,64 ± 0,68	10,8 ± 0,7	12,3 ± 0,7	9,85 ± 0,26	9,85 ± 0,26

Примечание. Достоверные различия при сравнении с физиологической нормой: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $P < 0,001$ .

превышал уровень этого показателя в 1-й группе). Однако не исключен вклад в эти процессы малых доз радиации как фактора, способного модифицировать биоритмологические характеристики основных факторов клеточного иммунитета, особенно в условиях действия на организм комплекса неблагоприятных факторов профессиональной деятельности. Обращает на себя внимание также и то обстоятельство, что с течением времени показатели лейкограммы у облученных вертолетчиков не нормализуются.

Опыт, накопленный в общей адаптологии, свидетельствует о том, что определение функционального резерва иммунной системы не возможно без использования неспецифических нагрузочных проб [29], позволяющих более углубленно оценить характер взаимоотношений организма с эколого-производственными факторами среды.

В качестве неспецифической нагрузочной пробы для иммунной системы использовалась локальная гипоксическая проба (ЛГП). Локальную гипоксическую пробу проводили по методике И.И. Тютрина и соавторов (1987 г.) [171] в нашей модификации, заключающейся в исследовании капиллярной крови. Ишемии верхней конечности создавали манжеткой от сфигмоманометра, наложенной на верхнюю часть плеча, и созданием в ней давления, превышающего систолическое на 20–25 мм рт. ст. Создание повышенного давления в манжетке проводилось дважды (по 5 мин с интервалом 20–30 мин). Повторное взятие крови проводили сразу после последнего сброса давления.

Характерно, что описанные различия в уровнях иммунологических показателей вертолетчиков-ликвидаторов и лиц летного состава контрольной группы в большей степени проявились и при динамической оценке иммунного статуса в режиме ЛГП (табл. 7.11).

В таблице представлены абсолютные значения наиболее активных участков иммунограммы в сравниваемых группах летного состава. Обращает на себя внимание различная реакция клеточных элементов на местную ишемию верхней конечности, что особенно находило отражение в величинах соотношений основных количественно-функциональных характеристик Т-лимфоцитов (отношение Т-общих лимфоцитов к Т-активным лимфоцитам, а также Т-теофиллинрезистентных к Т-теофиллинчувствительным лимфоцитам,  $T_o/T_a$ ,  $T_{тр}/T_{тч}$ ). Принимая во внимание методический аспект выявления тех или иных Т-клеточных популяций, а именно учет их рецепторного потенциала, можно констатировать, что более высокие уровни Т-активных лимфоцитов на фоне резкой отрицательной их динамики, как и других показателей Т-клеток на ЛГП, отражают большую степень напряжения гомеоста-

Таблица 7.11. Динамика некоторых показателей иммунограммы у облученного (данные обследования пятилетнего среза) и интактного летного состава (контрольная группа) после функциональной нагрузочной пробы с локальной гипоксией ( $M \pm m$ )

Показатель иммунограммы	Летный состав	
	интактный ( $n = 12$ )	ликвидаторы ( $n = 10$ )
Т-активные лимфоциты ( $T_a$ ), $10^9/\text{л}$	$\frac{1,18 \pm 0,26}{1,19 \pm 0,31}$	$\frac{1,40 \pm 0,15}{1,36 \pm 0,21}$
Т-общие лимфоциты ( $T_o$ ), $10^9/\text{л}$	$\frac{1,38 \pm 0,26}{1,50 \pm 0,35}$	$\frac{1,48 \pm 0,17}{1,32 \pm 0,20}$
Теофиллинрезистентные Т-лимфоциты ( $T_{тр}$ ), $10^9/\text{л}$	$\frac{1,25 \pm 0,31}{1,32 \pm 0,31}$	$\frac{1,34 \pm 0,21}{1,18 \pm 0,19}$
Теофиллинчувствительные Т-лимфоциты ( $T_{тч}$ ), $10^9/\text{л}$	$\frac{0,43 \pm 0,21}{0,44 \pm 0,26}$	$\frac{0,21 \pm 0,16}{0,28 \pm 0,13}$
$T_o/T_a$ , усл.ед.	$\frac{1,23 \pm 0,08}{1,58 \pm 0,29}$	$\frac{0,99 \pm 0,10}{1,09 \pm 0,07}$
$T_{тр}/T_{тч}$ , усл.ед.	$\frac{16,4 \pm 8,80}{13,8 \pm 6,14}$	$\frac{14,4 \pm 4,70}{5,50 \pm 1,84}$
НСТ <sub>баз</sub>	$\frac{0,37 \pm 0,09}{0,40 \pm 0,08}$	$\frac{0,34 \pm 0,17}{0,24 \pm 0,02}$
НСТ <sub>акт</sub>	$\frac{0,80 \pm 0,14}{0,85 \pm 0,12}$	$\frac{0,85 \pm 0,30}{0,73 \pm 0,26}$

*Примечание.* В числителе — до ЛГП, в знаменателе — после ЛГП; НСТ<sub>баз</sub> — показатели НСТ-теста в базальных условиях, НСТ<sub>акт</sub> — показатели НСТ-теста в активированных условиях.

тических механизмов и более низкие резервные (компенсаторно-приспособительные) возможности иммунной системы в целом.

Через 9 лет после облучения основные показатели клеточного иммунитета вертолетчиков-ликвидаторов в сравнении с данными пятилетнего и семилетнего срезов остаются практически неизменными, что может свидетельствовать о продолжительном хроническом последствии облучения малыми дозами ионизирующего излучения (см. табл. 7.10).

При сравнении этих результатов с показателями у летчиков, прибывших из зоны боевых действий в Чечне (4-я группа), установлены определенные закономерности. Так, в 4-й группе отмечено достоверное снижение количества Т-супрессоров (по показателю теофиллин-чувствительных клеток) до уровней, сравнимых с количественной величиной показателя при обследовании вертолетчиков через 5 и 7 лет



после облучения. При этом обращает на себя внимание значительно большая частота встречаемости в этой группе людей с отрицательными показателями. Такая реакция является компенсаторной в ответ на комплекс стрессорных факторов боевой обстановки и отражает уровень мобилизации системы иммунитета.

Отметим, что аналогичные изменения в иммунном статусе обнаружены нами ранее при проведении скрининга здоровья ликвидаторов через 1 год, 5, 7 лет после облучения [173, 174], а затем через 9 лет наблюдения (рис. 7.10). Однонаправленный характер изменений иммунного статуса у вертолетчиков-ликвидаторов, а также у летчиков, участвовавших в боевых действиях, свидетельствует о том, что иммунологические реакции при воздействии малых доз радиации носят неспецифический характер.

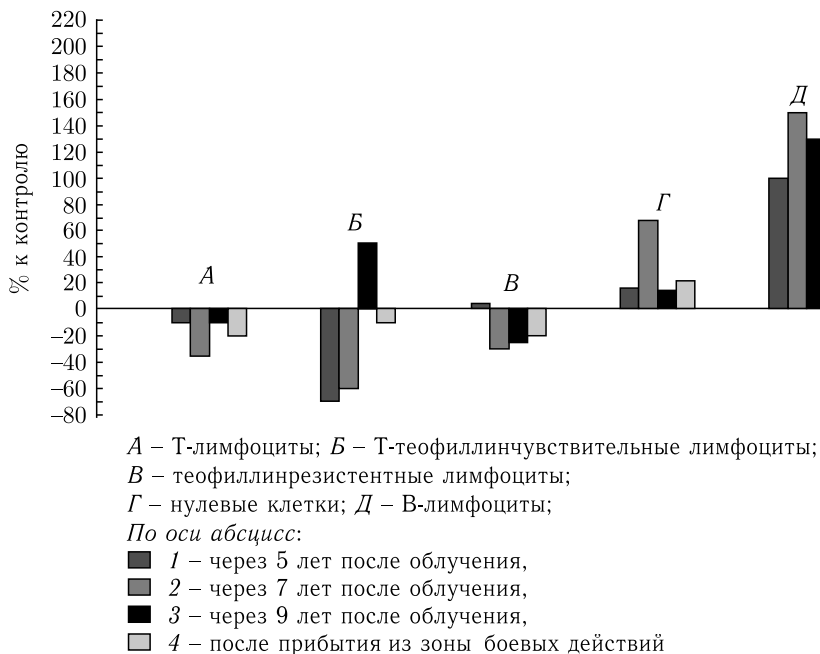


Рис. 7.10. Сравнительная характеристика отклонений показателей иммунного статуса вертолетчиков

Учитывается, что подобные изменения иммунных показателей отмечаются у вертолетчиков на протяжении многих лет после радиационной аварии, повлекшей за собой как внешнее, так и внутреннее облучение ликвидаторов в период выполнения ими аварийно-восстановительных работ; однако их отличительными особенностями является то, что мож-

но утверждать: в данном случае воздействие ионизирующего излучения можно классифицировать как действие хронического стрессорного агента.

Подводя итог сказанному, представляется целесообразным подчеркнуть всю противоречивость имеющихся литературных сведений относительно биологической эффективности малых доз радиации и роли радиационного фактора в изменении состояния здоровья и функционировании различных механизмов резистентности у ликвидаторов. В то же время не вызывает сомнения, что у ликвидаторов отклонения в отдельных звеньях системы иммунитета, наблюдаемые в течение 9 лет, следует трактовать как защитные, являющиеся результатом радиационного воздействия на организм продуктов ядерного деления, а также всего комплекса неблагоприятных факторов поставарийного периода. Регистрируемые у вертолетчиков-ликвидаторов изменения иммунного статуса возможно трактовать как иммунофизиологические реакции, свойственные экстремальным состояниям [131].

Подобные иммунофизиологические изменения наблюдаются на протяжении длительного периода (9 лет) после участия вертолетчиков в ЛПА.

### **7.3. Характер изменений метаболизма нейтрофильных гранулоцитов и лимфоцитов крови**

Анализ метаболической активности нейтрофилов и лимфоцитов периферической крови, являющейся надежным критерием популяционных изменений в иммунной системе при осуществлении реакций клеточного и гуморального типов, позволил установить некоторые цитоэнзимологические особенности клеток в отдаленный период после облучения.

В частности, при проведении внутригруппового сравнения отмечены достоверные различия по содержанию в лимфоцитах глицерофосфатдегидрогеназы митохондриальной (ГФДГМ) и глицерофосфатдегидрогеназы гиалоплазматической (ГФДГГ) между группами вертолетчиков, облученных в дозах больше или же менее 25 сГр (табл. 7.12).

Причем для всего облученного летного состава установлена прямая связь между активностью ферментов и дозой радиационного воздействия, которая описывается соответствующими регрессионными уравнениями. Уравнения и интерполированные кривые этой зависимости представлены на рис. 7.11. По-видимому, у вертолетчиков, участвовавших в ликвидации последствий на ЧАЭС, в поставарийный период

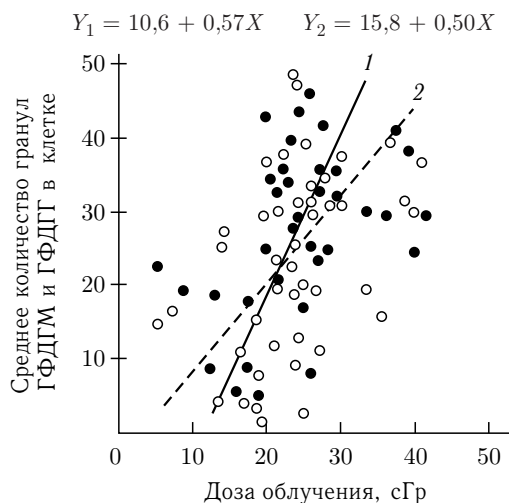


Рис. 7.11. Зависимость активности митохондриальной (ГФДГМ) (1) и гиалоплазматической (ГФДГГ) (2) глицерофосфатдегидрагеназы лимфоцитов крови от дозы облучения у вертолетчиков через 5 лет после участия в ликвидации последствий аварии

сдвиги в гомеостазе организма обусловили мобилизацию энергоресурсов лимфоцитов, что нашло свое отражение в повышении уровня метаболизма основных ферментов глицерофосфатного шунта, что, в частности, подтверждается результатами исследования А.А. Чумака [185].

Проведенный множественный корреляционный анализ показал, что наблюдается умеренная сопряженность между активностью ряда окислительно-восстановительных ферментов: ГФДГМ-лактатдегидрогеназа (ГФДГМ-ЛДГ,  $r = -0,36$ ), ГФДГМ-сукцинатдегидрогеназа (ГФДГМ-СДГ,  $r = -0,29$ ), ГФДГГ-ЛДГ ( $r = -0,69$ ). Такие соотношения описываются функциональными зависимостями, представленными на рис. 7.12.

Следовательно, повышение активности челночного механизма переноса водорода сопровождалось одновременным увеличением содержания в клетках ферментов аэробной и анаэробной частей окисления. Учитывая характер реакции и ее обусловленность дозой радиационного воздействия, такие закономерности представляются логичными.

В отношении показателей неспецифической защиты можно говорить о замедлении протекания метаболических процессов в нейтрофильных гранулоцитах облученных ликвидаторов, о чем свидетельствует снижение активности показателей теста СНСТ у летчиков всех 4 групп по сравнению с необлученным контролем (табл. 7.13).

Таблица 7.12. Сравнительный анализ характеристик иммунного статуса вертолетчиков в различные периоды после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности и в Чечне ( $M \pm m$ )

Группа	Показатель					
	Доза облучения, сГр	Возраст, лет	СДГ, ед.	ЛДГ, ед.	ГФДГМ, ед.	ГФДГГ, ед.
1-я	25,4 ± 0,99 (n = 43)	33,7 ± 0,73 (n = 43)	32,9 ± 1,0 (n = 41)	21,5 ± 2,38 (n = 24)	25,6 ± 1,86* (n = 38)	18,6 ± 1,61* (n = 39)
2-я	18,2 ± 1,52 (n = 11)	36,1 ± 1,32 (n = 11)	33,7 ± 2,6 (n = 11)	23,7 ± 5,02 (n = 8)	18,0 ± 4,2 (n = 8)	24,1 ± 4,44 (n = 11)
3-я	29,9 ± 1,32 (n = 21)	34,6 ± 1,21 (n = 21)	33,7 ± 2,6 (n = 11)	23,6 ± 3,85 (n = 10)	28,0 ± 2,33** (n = 18)	31,2 ± 1,96** (n = 19)
4-я	19,4 ± 0,88 (n = 35)	34,0 ± 0,71 (n = 35)	32,4 ± 1,26 (n = 34)	21,8 ± 2,47 (n = 24)	21,4 ± 2,19 (n = 30)	25,1 ± 2,07 (n = 33)
5-я	—	—	28,9 ± 0,4 (n = 20)	—	15,5 ± 0,7 (n = 20)	19,2 ± 0,6 (n = 20)

*Примечание.* 1-я группа — летный состав, выполнявший задание в острый период аварии;

2-я группа — летный состав, выполнявший задание в промежуточный период аварии;

3-я группа — облученные в дозах более 25 сГр;

4-я группа — облученные в дозах менее 25 сГр;

5-я группа — не облученные (контроль).

Достоверные различия между группами 1-й, 2-й, 3-й и 4-й: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $0,05 < P < 0,1$ .

Активность СДГ (сукцинатдегидрогеназы), ЛДГ (лактатдегидрогеназы), ГФДГМ (глицерофосфатдегидрогеназы митохондриальный), ГФДГГ (глицерофосфатдегидрогеназы гиалоплазматической) выражалась в единицах, равных среднему количеству гранул в клетке.

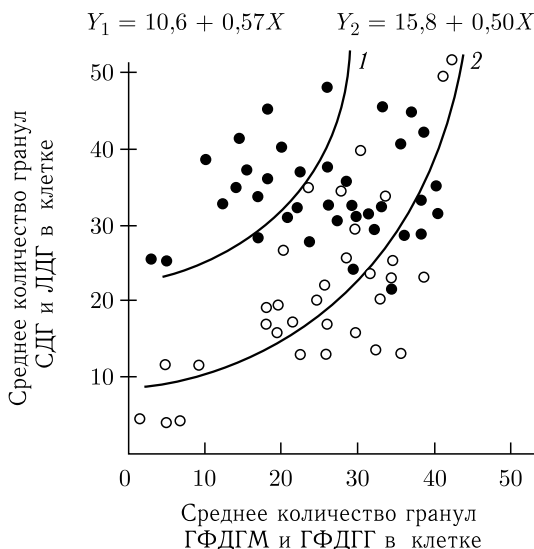


Рис. 7.12. Сопряженная связь между активностью СДГ и ГФДГМ (1) и ГФДГГ (2) в лимфоцитах крови у вертолетчиков через 5 лет после участия в ликвидации последствий аварии

У облученных вертолетчиков установлено повышение активности оксидазных систем нейтрофилов в базальных условиях НСТ-теста (БНСТ) на 50 % в сравнении с контрольной группой. Однако в стимулированном варианте методики (СНСТ-тест) показатели снижены на 21 %, что является одним из свидетельств нарушения механизмов неспецифической защиты. В то же время при сравнительном анализе отмечено повышение значений СНСТ-теста у летного состава с большими дозами облучения (соответственно группы 1-я и 2-я, 3-я и 4-я). Последнее может быть обусловлено компенсаторным ответом на уровне неспецифических механизмов защиты в виде активизации метаболических процессов в гранулоцитах у вертолетчиков со средней дозой облучения, превышающей 25 сГр [118]. По содержанию лизосомально-катионных белков (ЛКБ) различий между двумя группами не установлено. Подтверждением дискоординации в системе защиты организма явились данные по числу колоний аутомикрофлоры кожи (АМФК) (см. табл. 7.13).

У 50 % обследованных из группы ликвидаторов показатели превышали среднестатистическую норму (до 20 колоний). Кроме того, зависимость числа колоний от дозы облучения имела степенную форму (рис. 7.13).

Таблица 7.13. Состояние некоторых показателей неспецифической защиты через 5 лет после работы на радиоактивно загрязненной местности ( $M \pm m$ )

Группа	Показатель						
	Доза облучения, сГр	Возраст, лет	БНСТ, ед.	СНСТ, ед.	ЛКБ, ед.	АМФК, среднее количество колоний	
1-я	25,4 ± 0,99 (n = 43)	33,7 ± 0,73 (n = 43)	0,22 ± 0,02 (n = 37)	0,75 ± 0,04 (n = 38)	1,62 ± 0,02 (n = 41)	22,6 ± 1,9* (n = 42)	
2-я	18,2 ± 1,52 (n = 11)	36,1 ± 1,32 (n = 11)	0,29 ± 0,44 (n = 7)	0,66 ± 0,08 (n = 7)	1,62 ± 0,03 (n = 10)	11,3 ± 1,52 (n = 11)	
3-я	29,9 ± 1,32 (n = 21)	34,6 ± 1,21 (n = 21)	0,26 ± 0,02 (n = 7)	0,82 ± 0,05** (n = 21)	1,62 ± 0,03 (n = 20)	23,3 ± 2,46 (n = 21)	
4-я	19,4 ± 0,88 (n = 35)	34,0 ± 0,71 (n = 35)	0,22 ± 0,02 (n = 23)	0,67 ± 0,04 (n = 24)	1,62 ± 0,01 (n = 32)	18,0 ± 0,38 (n = 32)	
5-я	—	34,2 ± 0,8 (n = 17)	0,16 ± 0,03 (n = 17)	0,94 ± 0,01 (n = 17)	1,54 ± 0,05 (n = 17)	—	

*Примечание.* Обозначения групп, а также достоверность различий между группами те же, что в табл. 7.12.

БНСТ — активность оксидантных систем нейтрофилов в базальных условиях теста с нитросиним тетразолием;

СНСТ — активность оксидантных систем нейтрофилов в стимулированных условиях с нитросиним тетразолием;

ЛКБ — содержание лизосомально-катионных белков в нейтрофилах;

АМФК — аутомикрофлора кожи.

Достоверные различия между группами: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $0,05 < P < 0,1$ .

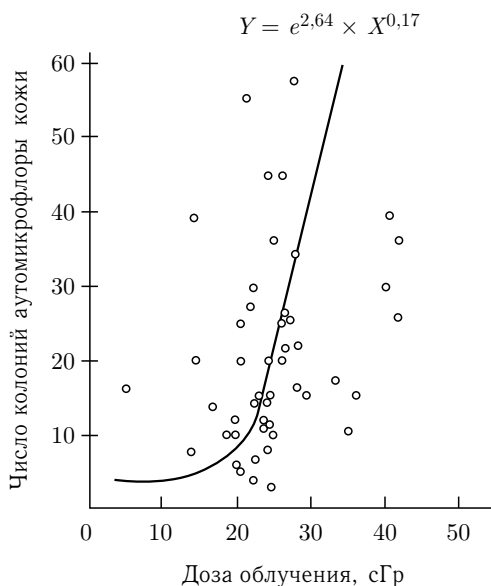


Рис. 7.13. Зависимость обсемененности кожи от дозы облучения у вертолетчиков через 5 лет после участия в ликвидации последствий аварии

Таким образом, у вертолетчиков-ликвидаторов наблюдается дисбаланс в звене неспецифической защиты, что, по-видимому, является не последним положением для объяснения роста динамики заболеваемости у них в поставарийный период.

#### **7.4. Особенности психоневрологических нарушений у ликвидаторов в ближайший и отдаленный периоды после чернобыльской аварии**

Деятельность летного состава, связанная с участием в ЛПА на ЧАЭС, проходила в условиях высокой эмоциональной напряженности и радиационного воздействия, с которыми люди ранее не встречались. Помимо внешнего бета- и гамма-облучений летчики подверглись внутреннему лучевому воздействию альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов, инкорпорированных в результате ингаляционного и перорального их поступления в организм в период выполнения задания. В ранний период ликвидационных работ не исключено также влияние такого стрессогенного фактора, как боязнь переоблучения. Все это определило последующие изменения психической сферы летчиков как в ближайшем, так и в более отдаленном периоде.

Психофизиологическое обследование проводилось в госпитальных условиях непосредственно после выполнения работ над зоной разрушенного реактора, а также при последующем поступлении летчиков на очередные ВЛК в период 1986–1988, 1991–1995 гг. Обследовано 152 летчика в возрасте от 25 до 46 лет.

Изменения нервно-эмоционального состояния оценивались с помощью методики «Эмоциональная реактивность» — «ЭР» (определение эмоциональной реактивности), опросника Спилбергера-Ханина (определение личностной и реактивной тревожности), теста Люшера (оценка выраженности внутренних конфликтов), 16-факторного личностного опросника Кеттелла — 16-ФЛО (изучение индивидуальных особенностей личности), дихотического прослушивания (определение ведущего полушария по речевой функции) и пробы на моторную асимметрию (определение ведущего полушария по моторной функции). Кроме того, проводились беседы и анонимное анкетирование для изучения особенностей профессиональной деятельности и поведенческих реакций при работе в зоне загрязнения.

При проведении исследования ставились следующие задачи: определение характера изменений нервно-эмоционального состояния летчиков в ближайший (до месяца) и ранний отдаленный (до двух лет) периоды после работы в зоне; установление связи между устойчивостью к воздействию экстремальных факторов и некоторыми личностными и психофизиологическими особенностями летчиков.

О силе воздействия аварийной радиационной обстановки на психическое состояние летчиков, в том числе на их мотивационную сферу, свидетельствуют ответы на вопросы, есть ли желание принимать участие в подобных операциях в будущем. Только 23 % опрошенных ответили утвердительно без колебаний — «есть». Большинство (68 %) считали, что «нет».

При беседах с летчиками отклонений в состоянии здоровья никто не отмечал. Тем не менее в группе обследованных у 39,5 % наблюдалось повышение реактивной тревожности выше 45 единиц (это число опрошенных в 1,5–1,8 раза превышает норму), нарастание эмоциональной реактивности (по методике «ЭР»), снижение уровня эмоциональной устойчивости (по 16 ФЛО), имела лабильность вегетативных функций (увеличение тремора, колебания артериального давления).

Необходимо отметить, что указанные сдвиги в психическом статусе, как было показано в ряде предыдущих исследований [18], снижают эффективность и надежность профессиональной деятельности, влияют на безопасность полетов и служат серьезной предпосылкой для развития психосоматических заболеваний у летного состава.



При незначительных дозах облучения дифференцировать отклонения, обусловленные неспецифическим влиянием экстремальной ситуации и специфическим действием радиации, весьма затруднительно, скорее можно говорить о сочетанном воздействии на организм этих факторов. Причем связь величины полученной дозы с изменениями нервно-эмоционального состояния носит однонаправленный характер. Так, отмечалась положительная корреляция между величиной дозы и уровнем реактивной тревожности ( $r = 0,22$ ), эмоциональной устойчивостью (фактор С, 16 ФЛО,  $r = 0,27$ ) и реактивностью ( $r = 0,46$ ). Таким образом, в ближайшем периоде после работы в очаге у летного состава отмечались явления невротизации.

На рис. 7.14 приведены данные по эмоциональной реактивности летчиков, участвовавших в ликвидации последствий Чернобыльской аварии, в сравнении с данными здоровых летчиков-испытателей. Кривая эмоциональной реактивности в группе чернобыльцев имеет тенденцию к формированию двух экстремумов (см. *a* и *б* на рис. 7.14).

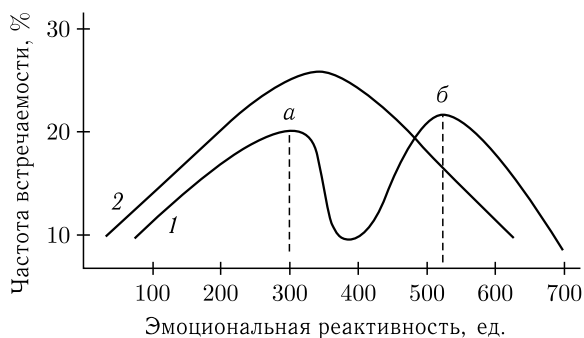


Рис. 7.14. Особенности эмоциональной реактивности у летчиков, принимавших участие в событиях на ЧАЭС (1), и летчиков-испытателей (2); *a* и *б* — экстремумы эмоциональной реактивности

Указанные сдвиги в эмоциональной сфере можно объяснить, прежде всего, влиянием полученной дозы радиационного воздействия и, кроме того, последствиями действия стрессогенной ситуации, связанной с выполнением аварийно-восстановительных работ, на организм.

С течением времени, естественно, происходят изменения в оценке ситуации радиационного воздействия, однако характер этих изменений, их направленность и исход зависят от личностного, возрастного и психофизиологического факторов. Так, спустя год после аварии 60 % считали, что участие в событиях позволило им поверить в себя,

в свои силы и способности; 50 % летчиков считали, что они приобрели профессионально важные качества, 30 % считают приобретенный опыт ценным, 15 % летчиков после участия в событиях приобрели новый, общественно более значимый взгляд на жизнь.

У 90,5 % летчиков участие в событиях не снизило мотивации к летной работе (у одного человека мотивация даже возросла). Практически все обследуемые считают себя готовыми к работе в подобных условиях. В то же время каждый третий отмечал, что за прошедший год его самочувствие ухудшилось, что выразилось в повышенной утомляемости (у 62,5 %) и снижении потенции (у 37,5 %). По данным, полученным на таком же контингенте, не участвовавшем в событиях на АЭС, подобные нарушения либо отсутствовали, либо имели значительно меньшее распространение.

Известно, что опыт летной работы влияет на устойчивость организма к воздействию экстремальных факторов аварийной ситуации. Мы обследовали 12 ликвидаторов, возраст которых в среднем был 24,9 года, и 11 при среднем возрасте 30,2 года. В 1-й группе полученная доза в среднем составила 5,6 сГр, во 2-й — 17,8 сГр.

Обследование проводилось спустя несколько дней после прибытия из «зоны» и через год после аварии (рис. 7.15). Как по реактивной, так

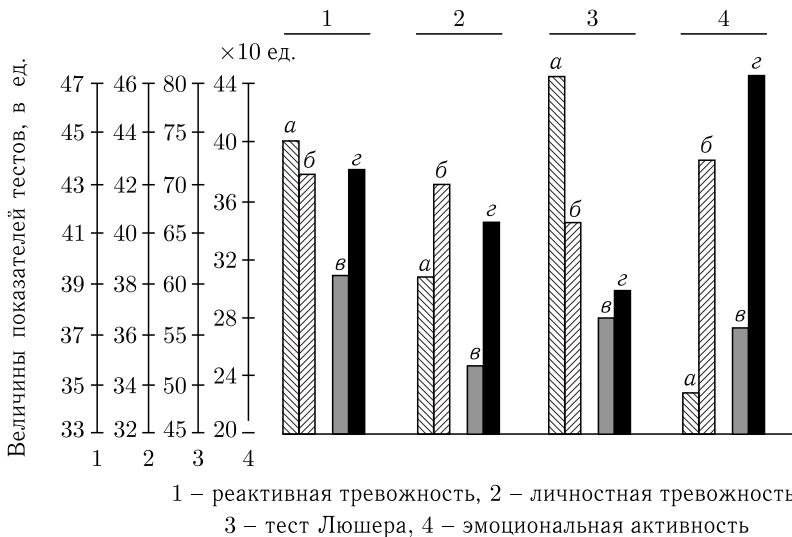


Рис. 7.15. Изменение в течение года (май 1986 г. — а, в; апрель 1987 г. — б, з) реактивной (1), личностной (2) тревожности, показателя теста Люшера (3) и эмоциональной реактивности (4) у молодых (а, б) и опытных (в, з) летчиков, участвовавших в ликвидации аварии на ЧАЭС

и по личностной тревожности молодые летчики 1-й группы имеют более высокие показатели, чем их старшие коллеги. Через год у пилотов 2-й группы отмечается повышение уровня реактивной тревожности. То же самое и по абсолютным значениям, и по динамике в течение года можно сказать на основании данных по тесту Люшера, определяющем выраженность внутренних конфликтов и проблем. У молодых летчиков он более выражен, чем у опытных.

Уровень эмоциональной реактивности в обеих группах в течение года возрастает, что говорит о снижении эмоциональной устойчивости. Причем в группе опытных пилотов спустя год нормативные значения повышаются.

Как видно из представленного материала, в обеих группах имеются признаки невротизации, степень выраженности которой в разные периоды различна. Опытные летчики, несмотря на дозу, в 3 раза превышающую уровень облучения их молодых коллег, оказываются более психически устойчивыми в период непосредственного воздействия стресса. Однако в дальнейшем они в большей степени подвержены последствиям психотравмирующего действия стресс-факторов аварийной обстановки, что, по-видимому, напрямую связано с более высоким уровнем полученного ими радиационного воздействия в период ликвидационных работ.

Так, из 10 летчиков, списанных с летной работы в 1987 г. (из числа участников Чернобыльских событий), 7 имели либо основной, либо сопутствующий диагноз нервно-психического или психосоматического заболевания (эмоционально-вегетативная неустойчивость, астеновегетативный синдром, затяжное невротическое состояние, нейроциркуляторная дистония и др.).

Попытка установить некоторые психофизиологические особенности, лежащие в основе эмоциональной устойчивости летчика к действию экстремальных факторов, привела к необходимости изучения такого базисного, генетически обусловленного свойства индивидуальности, как характер межполушарных взаимоотношений по моторной функции. По степени выраженности доминирования правой руки при выполнении различных операций были определены две полярные группы по 5 человек в каждой. 1-ю группу составили выраженные правши (8,2 сГр), 2-ю — амбидекстры (8,6 сГр). В обеих группах возраст, общий налет, налет за период ликвидации последствий аварии, полученная доза были примерно одинаковыми. В первой группе как реактивная, так и личностная тревожность имеют значительно меньший уровень, чем в группе амбидекстров (рис. 7.16). Уровень эмоциональной реактивности в группе правшей имеет тенденцию к снижению. Приведенные

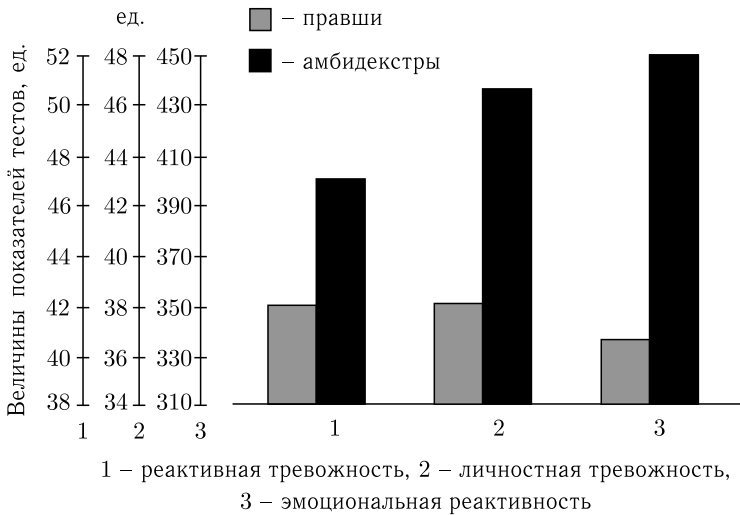


Рис. 7.16. Значение реактивной (1), личностной тревожности (2) и эмоциональной реактивности (3) у правшей и амбидекстров

результаты показывают, что люди со слабо выраженной полушарной специализацией по моторной функции (амбидекстры) имеют более высокий уровень тревожности и эмоционально менее устойчивы, чем летчики с четкой дифференциацией моторного центра в левом полушарии (правши).

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном напряжении, имевшем место у летного состава при работе по ликвидации аварии на ЧАЭС. У части летного состава (30 %) это напряжение вызвало значительные изменения в психическом статусе, влияющие на качество профессиональной деятельности.

Последнее имеет важное значение при планировании работ в экстремальных условиях (включая и боевые) [18] и в особенности для летного состава, эффективная и надежная деятельность которого во многом обусловлена состоянием профессионально значимых психологических качеств человека, что показано в целом ряде исследований.

Как показали обследования, развитие нарушений психических состояний у летного состава связано с пребыванием в экстремальной ситуации. С одной стороны, это была неопределенность информации о полученной дозе и неосведомленность об особенностях воздействия радиации на организм. С другой (и это главное), сама радиация является мощным стрессогенным фактором, способным вызвать серьезные психические и соматические расстройства в облученном организме.

Наряду с этим обращает на себя внимание связь между выраженностью изменений в психическом статусе и величиной полученной дозы. В данных исследованиях разграничить действие небольших доз радиации на организм и психический статус от воздействия других факторов экстремальной ситуации весьма трудно. Однако можно предположить, что подобное воздействие в том и другом случае приводит к снижению общей резистентности организма.

Если непосредственное влияние экстремальной ситуации на организм (в достаточно короткие промежутки времени) изучено весьма подробно, то отдаленные последствия пребывания человека в подобных ситуациях требуют специального изучения.

Полученные нами факты позволяют сделать некоторые обобщения по результатам наблюдения за летным составом в течение 1–1,5 лет. Так, развитие нарушений функционального состояния более опытных летчиков указывает на высокую значимость ранее перенесенных психотравмирующих ситуаций для тех, чья профессиональная деятельность даже в «обычных» условиях требует значительного нервно-эмоционального напряжения. Если у молодых летчиков их компенсаторные возможности позволяют эффективно выполнять профессиональную деятельность, то у более опытных из-за снижения функциональных резервов напряженная деятельность в «обычных» условиях после перенесенной психотравмирующей ситуации приводит к возникновению нарушений и заболеваний. Подобные отсроченные последствия стрессогенных ситуаций наблюдаются у летного состава, прибывшего из районов аварии.

Необходимо также отметить, что в дальнейшем более выраженные сдвиги в психическом статусе у опытных летчиков могут быть обусловлены изменением шкалы социальных ценностей и системы отношений под воздействием стресса.

Выявленные у летного состава ранние сдвиги в психическом статусе указывают на необходимость разработки мер, направленных на повышение устойчивости человека к воздействию стрессорных факторов и коррекцию функционального состояния в процессе выполнения ответственных профессиональных задач при ликвидации последствий аварий и катастроф.

При клинико-психологическом исследовании через 5 лет использовались: шкала личностной тревожности Спилбергера [230], метод исследования эмоциональной реактивности личности [41], методика самооценки ночного сна [143] и социально-психологический скрининг-тест алкоголизма [164].

Психологическое обследование после чернобыльской катастрофы показало (табл. 7.14), что по выбранным критериям достоверное различие установлено только между группами летчиков, выполнявшими спецзадание в острый и промежуточный периоды аварии (дозы радиационного облучения составили  $26,2 \pm 0,78$  и  $14,3 \pm 1,07$  сГр соответственно).

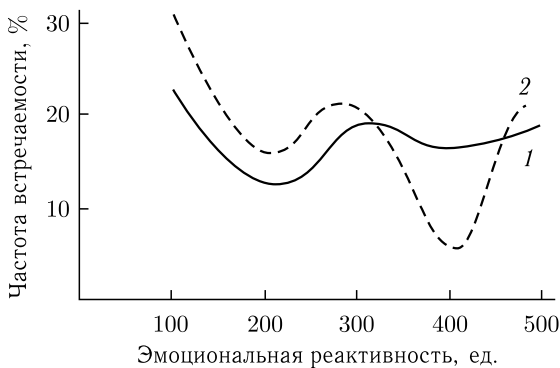


Рис. 7.17. Особенности эмоциональной реактивности у летчиков через 5 лет после участия в событиях на ЧАЭС: 1 — личный состав, выполнявший задание в острый период аварии на ЧАЭС; 2 — личный состав, выполнявший задание в промежуточный период аварии на ЧАЭС

Выше были представлены показатели уровня личностной тревожности, эмоционального реагирования. Кривая эмоциональной реактивности в 1-й группе вертолетчиков, выполнявших задание в острый период, имеет тенденцию к более высоким значениям в интервале, соответствующем повышенной реактивности (рис. 7.17). Следовательно, летный состав, участвовавший в ЛПА на ЧАЭС в промежуточный период аварии, оказался эмоционально более устойчив, чем летчики, работавшие в острый период. Несомненно, что решающим фактором в подобном снижении уровня эмоциональной устойчивости у вертолетчиков, облученных в острый период аварийно-восстановительных работ, является доза облучения, которая в 1-й группе была выше.

О нарушениях в психоэмоциональной сфере свидетельствовали также нарушения ночного сна (у 33 % обследуемых) в виде неудовлетворительного сна, неприятных сновидений и отсутствия чувства отдыха после сна. Отмечены достоверные различия между 1-й и 2-й группами по этому показателю.

Таблица 7.14. Результаты использования некоторых клинико-психологических тестов у вертолетчиков через 5 лет после выполнения задания на радиоактивно загрязненной местности ( $M \pm m$ )

Группа	Показатели						
	Возраст, лет	Доза облучения, сГр	Личностная тревожность, ед.	Эмоциональная реактивность, ед	Самооценка ночного сна, ед.	Наркологический статус, ед.	
1-я	33,9 ± 0,49 (n = 79)	26,2 ± 0,78* (n = 79)	42,8 ± 0,77*# (n = 74)	352,4 ± 28,3 (n = 74)	4,78 ± 0,12**# (n = 66)	20,7 ± 1,07*# (n = 75)	
2-я	34,4 ± 0,72 (n = 41)	14,39 ± 1,07 (n = 39)	39,6 ± 1,30 (n = 35)	273,3 ± 53,9 (n = 16)	5,07 ± 0,12 (n = 41)	17,1 ± 1,13 (n = 40)	
3-я	34,4 ± 0,80 (n = 39)	30,8 ± 1,06* (n = 38)	42,0 ± 1,10 (n = 37)	379,8 ± 42,7 (n = 34)	4,78 ± 1,70 (n = 37)	20,5 ± 1,52 (n = 36)	
4-я	33,2 ± 1,9 (n = 82)	17,9 ± 0,70 (n = 78)	41,6 ± 0,86 (n = 72)	272,2 ± 57,7 (n = 15)	4,93 ± 0,97 (n = 77)	18,98 ± 0,96 (n = 79)	
5-я	32,3 ± 1,05 (n = 28)	—	38,8 ± 1,35 (n = 28)	312,0 ± 24,6 (n = 28)	5,42 ± 0,62 (n = 28)	16,2 ± 1,67 (n = 28)	

*Примечание.* Обозначения групп те же, что в табл. 7.12.  
 Достоверные различия между группами 1-й, 2-й, 3-й и 4-й: \* —  $P < 0,05$ ; \*\* —  $0,05 < P < 0,1$ .  
 Достоверные различия между группами 1-й и 5-й: # —  $P < 0,05$ .

В результате длительного медико-психологического наблюдения за летным составом был создан динамический «портрет» участника ЛПА на ЧАЭС. Данные нервно-психического состояния до, во время аварии на ЧАЭС, а также при поступлении на обследование в 1986 г. и через 5 лет после аварии представлены в табл. 7.15.

Таблица 7.15. Сравнительная выраженность некоторых показателей нервно-психического статуса у ликвидаторов авиационного профиля, %

Показатель	Период наблюдения			
	До аварии на ЧАЭС	Во время аварии	Сразу после аварии	Через 5 лет после аварии
Нарушение ночного сна (неприятные сновидения, отсутствие отдыха после сна и т. д.)	15	19	23	33
Беспокойство	37	52	53	50
Тревожность	37	51	50	48
Усталость	34	56	48	58
Вялость	22	38	32	46
Боли и неприятные ощущения в различных частях тела	11	16	19	26
Общая слабость	12	25	20	26
Опасения последствий облучения	39	60	71	67

Наиболее выраженными из симптомов негативного состояния в отдаленный период являются специфические реакции на стресс в виде тревоги (у 48 % опрошенных), вялости (у 46 %), желания все бросить (у 51 %), усталости (у 58 %), опасения последствий облучения (у 67 %).

Безусловно, через 5 лет после аварии на ЧАЭС при анализе жалоб на раздражительность, общую слабость необходимо вносить «поправочный» коэффициент, отражающий уровень мотиваций индивидуума на продолжение летной работы и учета процесса естественного (биологического) старения. Снижение мотиваций к продлению профессиональной деятельности было установлено только у 9 % вертолетчиков-ликвидаторов. Все они списаны с летной работы.



Помимо указанных выше факторов психологического стресса, связанных с аварией, признаком «закрепления» состояния тревожности явился комплекс соматических заболеваний, установленный у вертолетчиков после событий на ЧАЭС, возрастающий более интенсивно, чем за время, прошедшее после облучения.

Одним из свидетельств повышенного уровня тревожности явились данные об отношении ликвидаторов к возможности включения в реальную ситуацию риска, что показали исследования, выполненные совместно с сотрудниками Института социологии РАН А.В. Мозговой и Е.В. Шлыковой (рис. 7.18).



Рис. 7.18. Оценка (% опрошенных) возможности возникновения случаев потенциального риска у респондентов

Как видим, оценки почти всех десяти случаев потенциального риска у участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС выше, чем у остальных групп населения, проживающего в Брянской области. Сравнение оценок между ликвидаторами авиационного и неавиацион-

ного профилей не выявило существенных различий, за исключением отношения к авиакатастрофе, что, очевидно, связано с осознанием вертолетчиками опасности летного труда. Таким образом, ликвидаторы отличаются повышенными оценками субъективно воспринимаемой рискованности жизненных обстоятельств.

Кроме того, использование принципа сравнительности рисков показало, что психологически вертолетчики гиперболизированно воспринимают радиацию в диапазоне малых доз. К примеру, 89 % опрошенных считают, что радиация опаснее, чем курение. И в то же время при принятии в качестве основы того факта, что поездка на личном автотранспорте сопряжена с большим риском гибели, нежели облучение в дозе 25 Р, 78 % респондентов предпочли продолжать пользоваться автомобилем. Таким образом, ликвидаторы односторонне оценивают значение радиационного фактора в жизни, совершенно пренебрегая опасностью других естественных и искусственных источников риска.

В течение последующих 7–9 лет отклонения в психоэмоциональном статусе у облученных сохраняются (табл. 7.16). Более высокий уровень невротизации (низкий по абсолютной величине) у вертолетчиков-ликвидаторов в сравнении с контрольной группой и обследованными после прибытия из зоны боевых действий косвенно свидетельствует об эмоциональной возбудимости, провоцирующей различные негативные переживания (тревожность, раздражительность). Подтверждением вышесказанному явились отмеченные в динамике высокий уровень личностной тревожности (по шкале Спилбергера) и низкий показатель субъективной оценки качества ночного сна у ликвидаторов.

Иная структура изменений изучаемых показателей была получена при обследовании летчиков 3-й группы — участников военных конфликтов. Практически данные этой группы сопоставимы с контрольными, что на первый взгляд не является характерным для постстрессовых состояний после работы в экстремальных условиях боевой деятельности. Объяснением этому может служить тот факт, что 30 % из опрошенных являются одновременно участниками ликвидации аварии на ЧАЭС. Поэтому можно предположить, что опыт работы в предшествующих чрезвычайных ситуациях положительно повлиял на психическое состояние летчиков.

На основании полученных данных можно заключить, что многофакторное стрессогенное воздействие аварии на Чернобыльской АЭС и ряд негативных социально-бытовых причин приводят к развитию неблагоприятных состояний, проявляющихся высокой личностной тревожностью, повышенным уровнем эмоционального реагирования, нарушением ночного сна. Не исключено, что в такой ситуации часто возникают

Т а б л и ц а 7.16. Результаты некоторых клинико-психологических тестов у вертолетчиков через 7–9 лет после аварии на ЧАЭС и после участия в боевых действиях ( $M \pm m$ )

Группа	Показатели							
	Возраст, лет	Доза облучения, сГр	Уровень личностной тревожности, ед.	Самооценка ночного сна, ед.	Уровень невротизации, ед.	Уровень психопатизации, ед.	Показатель скрининг-теста алкоголизма, ед.	
1-я	39,1 ± 0,8 (n = 23)	15,5 ± 1,5 (n = 23)	45,6 ± 2,8* (n = 23)	3,7 ± 0,3* (n = 22)	–	–	20,0 ± 2,8 (n = 23)	
2-я	35,5 ± 3,7 (n = 10)	14,4 ± 2,1 (n = 10)	43,5 ± 2,9* (n = 10)	4,1 ± 0,4 (n = 10)	31,1 ± 11,5 (n = 7)	-1,1 ± 2,7 (n = 7)	18,4 ± 2,2 (n = 10)	
3-я	32,2 ± 5,4 (n = 15)	–	39,4 ± 0,7 (n = 15)	4,9 ± 0,2 (n = 15)	45,2 ± 4,8 (n = 15)	8,1 ± 3,4 (n = 15)	19,7 ± 2,0 (n = 15)	
4-я	32,5 ± 3,2 (n = 14)	–	33,5 ± 1,1 (n = 14)	5,7 ± 0,3 (n = 14)	48,9 ± 5,4 (n = 13)	4,1 ± 2,2 (n = 13)	17,4 ± 1,9 (n = 14)	

Примечание. 1-я группа — обследованные через 7 лет;

2-группа — обследованные через 9 лет;

3-я группа — обследованные после участия в боевых действиях, через 2-е суток;

4-я группа — контроль;

Достоверные различия по отношению к 4-й группе: \* —  $P < 0,05$ .

семейные неурядицы, проявляется предрасположенность к вредным привычкам и пристрастиям. Это было нами подтверждено при анализе наркологического статуса методом анкетирования: 36 % обследуемых относятся к так называемой группе риска.

Индикатором благополучия общества служит показатель рождаемости детей. Особенно актуален этот аспект при экологических катаклизмах, что подтвердилось снижением рождаемости в Италии [203] и в Греции [232] после Чернобыльской катастрофы. Эти последствия имели прежде всего психологическую основу.

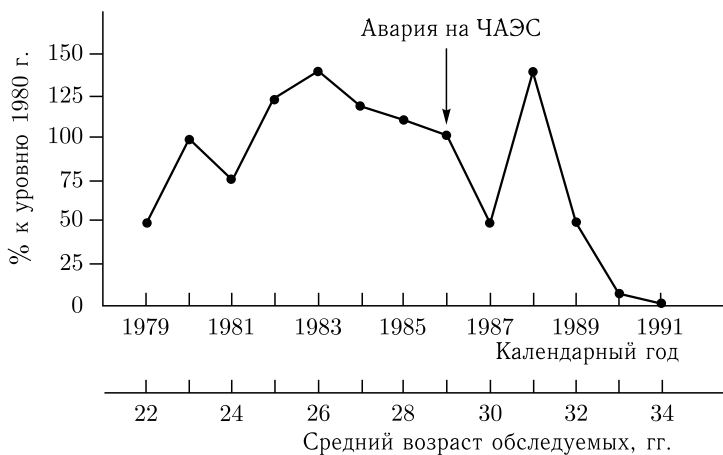


Рис. 7.19. Динамика показателя рождаемости детей на одну семью у летчиков-ликвидаторов до и после аварии на ЧАЭС

Данные по рождаемости детей от участвовавших в восстановительно-дезактивационных работах на ЧАЭС, отраженные на рис. 7.19, выявили следующие особенности. На 48 % снизилась рождаемость в 1987 г., однако в 1988 г. наблюдался обратный эффект — число рожденных детей увеличилось на 33 %, что значительно превысило уровень 1987 г. Такое диаметрально-противоположное изменение данного показателя за небольшой период времени (1 год) может быть названо «феноменом рикошета» (аналогичному в образном плане по направленности таковому в фармакологии). В последующие годы рождаемость продолжала сокращаться, достигнув в 1990 и 1991 гг. наиболее низких показателей.

**Таким образом,** можно сделать вывод, что в течение 9 лет после работ по ликвидации последствий радиационной аварии на радиоактивно загрязненной местности у летного состава наблюдались

отклонения в психоэмоциональной сфере компенсаторного характера. Эти нарушения связаны с воздействием радиации и других стрессогенных факторов не только в период выполнения работ по ликвидации последствий аварии, но и после нее. В сравнении с соматическими психоэмоциональные изменения были более отчетливыми и продолжительными [169].

### **7.5. Обсуждение результатов изменений психофизиологического здоровья участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, наблюдаемые в поставарийный период**

Наблюдения за динамикой заболеваемости участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, выполненные А.П. Бирюковым с соавторами [20] в отношении всех когорт ликвидаторов, могут служить подтверждением наших исследований, касающихся тех же общих тенденций в нарушении психофизиологического здоровья ликвидаторов-вертолетчиков. Изучение заболеваемости людей, участвовавших в ЛПА и зарегистрированных в Российском государственном медико-дозиметрическом регистре за период 1991–1996 гг., свидетельствует об увеличении уровня заболеваемости ликвидаторов России, проживающих в настоящее время в различных ее регионах. По данным на 01.01.98 г. в РГМДР зарегистрировано 508 236 человек, из них ликвидаторов 167 726, что составляет 33 % от всех зарегистрированных. Система РГМДР включает 3 группы здоровья: в 1-ю группу входят практически здоровые люди, во 2-ю — люди с отклонениями, требующими дообследования, в 3-ю — больные. В 1996 г. у ликвидаторов отмечен самый низкий среди всех зарегистрированных в регистре людей процент здоровых (8,6 %) и самый высокий — больных (67,4 %). В 1995 г. в 1-й группе здоровья было 12,2 % ликвидаторов, в 3-й — 63,7 %. Начиная с 1991 г. и по 1996 г. на протяжении всех лет наблюдения прослеживается тенденция увеличения числа больных ликвидаторов [20].

В структуре заболеваемости в 1996 г. у ликвидаторов России первое место занимали болезни органов дыхания (21,73 %), второе — болезни нервной системы и органов чувств (16,88 %), третье — болезни органов пищеварения (13,17 %). В 1991 г. на первом месте были также болезни органов дыхания (28,28 %), на втором — также болезни нервной системы и органов чувств (12,34 %), на третьем — болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (11,87 %). По отдельным классам заболеваний за период с 1991 по 1996 г. повышение уровня

показателей заболеваемости в 1,3 раза отмечено при болезнях системы кровообращения, а также органов пищеварения, в 1,4 раза — при заболеваниях нервной системы и органов чувств и злокачественных новообразованиях, в 1,2 раза — при травмах и отравлениях. Снизилось за прошедший период число впервые выявленных психических расстройств (в 2 раза), болезней органов дыхания (в 1,3 раза), болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани (в 1,1 раза). Стабильными остались показатели заболеваемости болезнями эндокринной системы и нарушениями обмена веществ. Таким образом, основные результаты проведенного анализа свидетельствуют об увеличении уровня заболеваемости среди ликвидаторов России за период 1991–1996 гг. Это относится к патологии эндокринной, нервной системы, болезням системы кровообращения, органов пищеварения, злокачественным новообразованиям, болезням нервной системы и органов чувств, а также травмам и отравлениям. Динамика показателей заболеваемости свидетельствует об определенной общности членов наблюдаемой популяции с незначительностью территориальных и возрастных отклонений, что, по-видимому, связано с профессиональными особенностями данной группы населения — участием в ЛПА на ЧАЭС [20].

Наши исследования относятся к 9-летнему сроку наблюдения (1986–1995 гг.) за когортой ликвидаторов-вертолетчиков, участвовавших в работах над разрушенным реактором 4-го блока Чернобыльской АЭС. Исследованию подлежали показатели психофизиологического здоровья этого особого контингента ликвидаторов. Оценка пространственно-временных параметров дозовых нагрузок над реактором показала существенную радиационную опасность пролета над аварийным блоком. Реальная опасность радиационного поражения существовала также в результате ингаляционного поступления радиоактивной пыли и горячих частиц, образуемых вследствие контакта сбрасываемых материалов (бора, свинца, глины, песка, доломита) с продуктами ядерного деления. Кроме того, полеты вертолетчиков проходили в условиях повышенного эмоционального напряжения, связанного с характером работы.

Ретроспективный анализ исследования заболеваемости, проведенный нами среди вертолетчиков — участников ЛПА на ЧАЭС, показал наличие непрерывного роста во времени числа заболеваний у ликвидаторов в отношении всех классов болезней. Хотя рост числа заболеваемости по тем же классам болезней отмечается также и у летчиков, не принимавших участия в аварийно-восстановительных работах, но заболеваемость среди ликвидаторов, особенно в первые годы, значительно превалировала над таковой у летчиков, не участвовавших

в строительстве «саркофага» на 4-м блоке Чернобыльской АЭС. Начиная с 1994 и 1995 гг. величина заболеваемости в контрольной группе летчиков несколько приблизилась к таковой у ликвидаторов, однако оставалась на более низком уровне. В целом, рост частоты выявления патологии у вертолетчиков, работавших в острый период аварии и получивших более высокие дозы облучения, происходил более интенсивно. Так, уровень заболеваний для класса «Болезни органов дыхания» у этих ликвидаторов был в 3 раза выше, чем у работавших в промежуточный период аварии, что может свидетельствовать о преимущественно ингаляционной форме поступления радионуклидов в организм, в особенности характерной для острого периода выполнения аварийно-восстановительных работ.

Результаты исследования показателей периферической крови и иммунологического статуса показали, что отклонения гематологических показателей у ликвидаторов в первую неделю после облучения свидетельствуют об экстремальной радиационной реакции, характеризующейся лейко- и лимфопенией, тромбоцитопенией или тромбоцитозом, увеличением содержания гемоглобина. На динамику показателей крови оказывают наибольшее влияние в следующей последовательности: доза радиации, возраст, профессиональный стаж и уровень здоровья. На протяжении от 2 до 5 лет после участия в работах у вертолетчиков в зависимости от величины полученной дозы облучения отмечено снижение содержания лейкоцитов в периферической крови.

Показатели иммунного статуса вертолетчиков свидетельствуют о появлении количественных функциональных перестроек в иммунной системе, зависящих не столько от дозы облучения, сколько от времени, прошедшего после выполнения аварийных работ. Через 1 год, 5 и особенно 7 лет после аварии у ликвидаторов-вертолетчиков отмечена депрессия клеточного звена иммунитета, выявлены аутогенные реакции. Восстановление показателей иммунного статуса до уровня контрольных значений отсутствует и через 9 лет наблюдений.

Исключительная роль иммунной системы в обеспечении гомеостаза в организме и ее высокая радиочувствительность позволяют предполагать, что большинство медико-биологических последствий, возникающих под влиянием радиоактивно загрязненной окружающей среды, их формирование и реализация зависят от степени иммунных нарушений.

Если изменения психофизиологического здоровья вертолетчиков в первый период полетов над радиоактивно загрязненной местностью и можно объяснить состоянием крайнего психоэмоционального их напряжения или радиофобией, то многолетний период наблюдения этих изменений после выполнения задания нельзя относить только лишь

к состоянию посттравматического стрессового расстройства (ПТСР). Нельзя не обратить внимания на то, что во время выполнения полетов в опасную зону вертолетчики испытывали ряд ощущений, которые можно оценить как результат радиационного воздействия не только вследствие внешнего облучения, но также ингаляционного поступления радионуклидов в организм: как «металлический привкус во рту», «повышение температуры воздуха». Многие летчики испытывали боли и неприятные ощущения в различных частях тела, некоторые наблюдали изменения в восприятии времени. После участия в событиях многие летчики отметили ухудшение самочувствия, что выражалось у них в повышении утомляемости и снижении потенции. В результате длительного медико-психологического наблюдения за летным составом было показано, что через 5 лет после участия в событиях участники ЛПА на ЧАЭС испытывали чувство тревоги, вялость, усталость. Отклонения в психоэмоциональной сфере летчики продолжали испытывать также через 9 лет после работ на радиоактивно загрязненной местности.

При сравнении постстрессовых проявлений психофизиологических отклонений здоровья у группы летчиков, испытавших сильное психоэмоциональное напряжение во время боевых действий в Чечне, и состояния летчиков-ликвидаторов последствий чернобыльской аварии показало, что у последних присутствует особая форма ПТСР. Отличие в состоянии вертолетчиков заключается в стабильном, сохраняющемся на протяжении 9 лет наблюдения нарушении психоэмоционального статуса, а также в упорном характере соматических расстройств психофизиологического здоровья, возникших в результате опасных для вертолетчиков полетов над радиоактивно загрязненной местностью. В сравнении с соматическими нарушениями изменения в психоэмоциональной сфере были более отчетливыми и продолжительными. Этого не наблюдается в группе летчиков, участвовавших в военном конфликте: при обследовании участников военного конфликта было показано, что структура показателей психоэмоционального статуса у них практически сопоставима с контрольными значениями уже вскоре после возвращения из зоны боевых действий.

Не вызывает сомнения, что легкие и дыхательные пути явились одной из главных тканей-мишеней, подвергшихся лучевой нагрузке при вдыхании радионуклидов, особенно таких соединений, которые обладают плохой растворимостью и длительно задерживаются в легочной ткани. Одновременно в первые дни аварии выделяется радиоактивный йод в атомарной форме, которая не отсекается средствами защиты дыхания. Подобная ситуация диктует необходимость изучения состояния бронхолегочной системы у ликвидаторов, составляющих группу риска



по развитию стохастических и нестохастических эффектов вследствие ингаляционного воздействия продуктов ядерного деления [167]. Заболевания органов пищеварения, также являющихся воротами для выпавших на поверхность земли продуктов ядерного деления, стоят на втором месте после поражения дыхательной системы, а со временем отмечается их значительный рост. Наблюдения за больными с гастроэнтерологическими заболеваниями, подвергшимися воздействию ионизирующего излучения, позволили выявить особенности клинического течения болезни, характер ремиссий и картину морфологических изменений. Многие авторы связывают эти изменения с нарушениями в гормональной системе, одним из проявлений которых является снижение Т-клеточного иммунитета.

Неврологические расстройства развиваются во времени в результате кумуляционных эффектов поражающего действия ионизирующей радиации. В результате этого отмечается выраженная тенденция к ухудшению состояния здоровья всех категорий людей, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. Происходит «выравнивание» эффектов поражающего действия радиации во времени как в отношении ликвидаторов последствий аварии, так и населения, оказавшегося в зоне поражающего действия радиоактивного загрязнения, а также в отношении населения, продолжающего проживать в районах с повышенным радиоактивным фоном. Отмечается повышение уровня общей заболеваемости, в числе которой неврологические расстройства и изменения психологического состояния имеют ведущее значение. Радиационный фактор по вкладу своего поражающего действия занимает первое место среди других параллельно действующих стрессогенных воздействий.

Каковыми бы ни были неврологические последствия эмоционального стресса, они не идут ни в какое сравнение с отдаленными, вызванными радиационным фактором, с его последствиями в нарушениях психоневрологического статуса пострадавших, с нервно-регуляторными и иммунологическими расстройствами, приводящими к генетическим сдвигам и сокращению продолжительности жизни. Клиническая картина «полифонична» (неврологические вегетативно-сосудистой дисфункции и астенизации облученного организма), имеют место также психосоматические и психоэмоциональные нарушения. Функциональные нарушения нейрогуморальной регуляции влекут за собой такие серьезные последствия, как ослабление иммунитета и развитие различных хронических неинфекционных заболеваний. Возможны также генетические нарушения. Воздействие радиационного фактора и стрессогенных условий жизнедеятельности у участников ликвидации аварии выявили у них ускоренный темп старения. В конечном счете указанные

расстройств могут привести к сокращению продолжительности жизни облученного организма.

Психофизиологическое здоровье вертолетчиков-ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, как и здоровье всех прочих ликвидаторов — участников аварийно-восстановительных работ в зоне наиболее высокого радиоактивного загрязнения местности, должно быть постоянно в поле зрения врачей и медицинской науки, так как эти категории людей, в равной мере пострадавших от чернобыльской катастрофы, представляют собой группы с достоверно возникающими радиационными последствиями и подлежат поэтому непрерывному клинико-функциональному мониторингу, а также медицинскому исследованию и оценке состояния их психологического и соматического здоровья.

Отметим, что касается участников ЛПА на ЧАЭС, то они в настоящее время выведены из условий проживания в зоне высокого радиоактивного загрязнения. Так, А.П. Бирюков и соавторы [20] отмечают, что из 167 726 участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, зарегистрированных в Российском государственном медико-дозиметрическом регистре на 1.01.98 г., 26 279 (15,7 %) человек проживают в Северо-Кавказском регионе, 21 609 (12,9 %) человек — в Уральском регионе, 18 612 (11,1 %) — в Поволжском, 17 867 (10,7 %) — в Центральном без загрязненных областей, 9 816 (5,9 %) — в Волго-Вятском, 9 701 (5,8 %) — в Северо-Западном регионе. В отношении количества участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, проживающих в настоящее время в Московской области, в РГМДР на 1.01.98 г. зарегистрировано 4 414 человек [64].

Исследования, проведенные А.Г. Чучалиным [186], Ю.П. Рева с соавторами [154], показали, что через 8 лет после ингаляции чернобыльской пыли в аутопсированной ткани легких у ликвидаторов обнаруживаются так называемые *горячие частицы*, являющиеся альфа-, бета- и гамма-излучателями. Через 7 лет после ингаляции радиоактивных частиц в легких ликвидаторов было обнаружено повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$ , что свидетельствует о депонировании радионуклидов в бронхолегочной системе ликвидаторов [42]. В результате проведенных прижизненных гисторадиографических исследований [62] и эндоскопических исследований с биопсией [107] было показано, что так называемые *темные клетки*, обнаруживаемые на гистологических препаратах слизистой оболочки, эпителия, стромы желудка и двенадцатиперстной кишки, являются клетками, содержащими радиоактивные элементы, о чем свидетельствуют радиографические изображения препаратов с обозначенными на них отдельными зернами или треками.

Как и всякий стрессорный раздражитель, радиация должна вызывать при этом неспецифическую стрессовую реакцию организма и приводить к развитию общего адаптационного синдрома. Признаками развивающегося адаптационного синдрома в первую очередь служат гормональные сдвиги, возникающие в эндокринной и иммунной системах организма. Исследованиями А.И. Нягу [132, 133] было показано, что наряду с вегетативно-сосудистыми расстройствами, нарушениями в желудочно-кишечном тракте, кардиоваскулярной, мочеполовой, эндокринной и иммунной системах у ликвидаторов оказалось в 1,5–2,0 раза выше нормы количество катехоламинов в крови и моче, в 2–3 раза выше нормы концентрации АКТГ, кортизола и пролактина в крови. При этом изменения психофизиологических показателей коррелировали с высоким уровнем личной тревожности у обследованных ликвидаторов. Совокупность этих данных позволяет некоторым исследователям [127] считать их свидетельством наличия у ликвидаторов, особенно у тех, кто участвовал в восстановительных работах 1986 и 1987 гг., признаков хронического эмоционального стресса.

Имевшее место психоэмоциональное напряжение у ликвидаторов в период выполнения ими аварийно-восстановительных работ на ЧАЭС или эмоциональные переживания, вызванные нарушением стереотипа жизненного уклада, у эвакуированного населения сопровождались у пострадавших развитием ПТСР, проявления которого со временем сменяются признаками органических нарушений структур ЦНС в результате хронического лучевого поражения. Характерно, что работа ликвидаторов более поздних лет сопровождалась не менее сильным эмоциональным напряжением. Однако явления так называемых *посттравматических нервно-психических* расстройств у них выражены значительно слабее, чем у ликвидаторов острого периода катастрофических событий на ЧАЭС. Последнее обстоятельство может свидетельствовать лишь о том, что психоэмоциональные стрессовые расстройства, психосоматические нарушения, а также признаки раздражения или повреждения гипоталамо-лимбических структур у ликвидаторов, много лет назад выведенных из радиоактивно загрязненной местности, через несколько лет после аварии являются следствием не ПТСР, но *хронического (радиоэкологического) стресса*.

Исследования качества жизни и социально-психологического самочувствия ликвидаторов, проводимые многими учеными на протяжении ряда лет, показывают, что ликвидаторов и их семьи (помимо психологических) отличает целый ряд социальных проблем, являющихся следствием их причастности к чернобыльской катастрофе. Проблемы эти относятся к сфере семьи, демографического поведения, к сфере

занятости и материального положения. Значительная часть ликвидаторов не уверена в прочности своего брака, в частности, вследствие ухудшения состояния здоровья, а также потому, что часть ликвидаторов вносит меньший вклад в семейный бюджет, чем остальные члены семьи. Многим участникам ЛПА на ЧАЭС пришлось сменить работу, но и с новой работой не справляется порядка 30 % ликвидаторов. Возрастает удельный вес ликвидаторов, которые стали чаще употреблять спиртные напитки [115].

В настоящее время, как правило, все последствия участия ликвидаторов в восстановительных работах в Чернобыле сводятся к медицинским, более того к психологическим проблемам. Сущность проблемы реабилитации ликвидаторов не может быть сведена лишь к медицинским и экономическим вопросам. Этическая реабилитация и моральная поддержка оказываются не менее значимыми факторами восстановления, чем медицинская и материальная. При этом необходим ежегодный мониторинг уровня и качества жизни семей участников ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы [126].

Анализ действенности механизмов социальной защиты ликвидаторов как особой группы показал, что их взаимоотношения с различного рода службами, организациями по поводу льгот и компенсаций, полагающихся им по Закону, представляют для них особую проблему. Это происходит потому, что участники ликвидации последствий аварии в общественном сознании обладают низким статусом из-за практического отсутствия адекватной информации о возможных последствиях Чернобыльской радиационной катастрофы и, как следствие, в результате непонимания огромной заслуги ликвидаторов перед всем обществом.

Таким образом, исследования, проводимые с целью анализа нарушений психофизиологического здоровья ликвидаторов-летчиков, принимавших самое активное участие в восстановительных работах в зоне радиоактивного загрязнения на ЧАЭС, могут стать основой для совершенствования медико-социальных механизмов защиты в целом когорты ликвидаторов — наиболее уязвимой категории людей, пострадавших в результате Чернобыльской радиационной катастрофы.

## **Послесловие. «Стандартный/условный ликвидатор»: к фундаментальным итогам и перспективам настоящей работы**

В первом абзаце предисловия к данной книге указано, что «основной целью настоящего труда явилось обобщение научных данных, полученных по результатам многолетнего мониторинга состояния здоровья ЛС вертолетов, участвовавшего в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС в ее острый и промежуточный периоды». Полагаем, что эту задачу мы выполнили.

Какие итоги мы хотим подвести здесь и сейчас — в послесловии?

Описаниям медико-психологических последствий для вертолетчиков, смотревших в лицо радиации — в «жерло реактора», как говорили в апреле–июле 1986 г. с экранов телевизора, — отдана вся книга: не видим смысла их воспроизводить в послесловии повторно: заключения и выводы представлены по ходу изложения в концах каждого из подразделов, глав и частей книги. Они, несомненно, имеют прикладное значение для медицинской радиологии, клиники внутренних болезней (для военно-полевой терапии) и организации медицинской защиты как военных контингентов, так и гражданского населения.

Полагаем, что представленная фактура (феноменология) достоверных (!) изменений и колебаний показателей и параметров состояния здоровья ЛС самоценна и самодостаточна, хотя бы из-за того, что она касается вполне определенной профессиональной группы. Военные летчики/вертолетчики — элита вооруженных сил: их здоровье, работоспособность и профессиональное долголетие важный фактор боеспособности ВВС, обороноспособности страны, готовности государства к действиям в условиях чрезвычайных ситуаций на объектах ядерной энергетики. Это контингент, требующий организации особого режима труда, отдыха, лечения и реабилитации; в данной работе основания для планирования и проведения таковых представлены.

Казалось бы, вписать полученные обобщенные результаты в контекст других обследований ликвидаторов, работников АЭС, населения, проживающего на РЗМ, было бы вполне ожидаемым для послесловия, однако считаем такой шаг, если не нецелесообразным, то преждевременным по следующим обстоятельствам.

Вдумчивый, внимательный читатель не сможет не заметить, что материал комплексных междисциплинарных многолетних исследований ЛС уникален как для медицинской радиологии и защиты, пси-

хологии, клинической социологии, общей и радиационной гигиены, авиационной медицины, так и для фундаментальной медицины в целом. Поэтому предлагаем рассмотреть картину на парадигмальном, философско-мировоззренческом и ценностном — аксиологическом — уровне: взглянуть на медико-психологические исходы в здоровье ЛС в жанре философии как экспертизы (термин члена-корреспондента РАН Б.Г. Юдина)<sup>1)</sup>. В какие-то моменты истории науки ученые, философы и общество вынуждены пересматривать свои эпистемологические подходы и модели — способы познания — к пониманию тех или иных техногенных процессов или явлений, в которые вовлечен человек, прибегнуть к ревизии своих ценностных оснований для принятия решений. Речь идет не столько о финансах, не только о национальных приоритетах научно-технического развития страны, сколько о пересмотре «экзистенциалов человеческого бытия» в понимании одного из наших современных крупнейших философских антропологов Я.В. Чеснова<sup>2)</sup>.

Экзистенция жизни, жизненный уклад — здесь не фигура речи: последствия облучения и участия в работах по ЛПА на ЧАЭС для вертолетчиков, как следует из представленных результатов их многолетнего наблюдения, носят не преходящий (не транзиторный), но «витальный» характер; десятилетиями (!) сохраняются и в организме (в его функциональных системах), и в жизни ЛС вертолетов последствия их участия в ЛПА, где облучение (или радиационный фактор) вносит достоверный и значимый вклад в картину самочувствия и жизни

---

<sup>1)</sup> Юдин Б.Г. О понятии философской экспертизы // Ценностные основания научного познания / Отв. ред. Г.Л. Белкина; Ред.-сост. М.И. Фролова. М.: ЛЕНАНД, 2017. С. 45–56.

Развернутую дискуссию о таковой Б.Г. Юдина и М.А. Пронина в цикле философских бесед «Реплики» Института философии РАН, в том числе на примере последствий катастрофы на ЧАЭС, можно посмотреть в Интернете: Юдин Б.Г., Пронин М.А., Синеокая Ю.В. Философия как экспертиза // Проект Института философии РАН и библиотеки им. Ф.М. Достоевского «Анатомия философии: как работает текст». Цикл философских бесед: «Реплики»: Электронный ресурс. — Режим доступа: [https://iphras.ru/12\\_59.htm](https://iphras.ru/12_59.htm). — Дата доступа: 11.03.2022.; по ее итогам подготовлена публикация: Юдин Б.Г., Пронин М.А. Философия как экспертиза // Анатомия философии: как работает текст. Цикл реплики / Под ред. Ю.В. Синеокой. М.: Изд-во ЯСК, 2021. С. 267–290.

<sup>2)</sup> См. подробнее: список публикаций Я.В. Чеснова / Сайт Института философии РАН Электронный ресурс — URL: // 2019. <https://iphras.ru/page17820860.htm> (дата обращения: 11.03.2022).

ликвидатора. Их жизнь делится на две неравных половины — до и после их участия в чернобыльской эпопее.

Благодаря чему и как были получены этот печальный вывод и другие результаты? Ответы на эти вопросы — также итоги и/или выводы; для того чтобы они стали уроками, то есть были бы приняты как рекомендации, нужны иные ценностные приоритеты в стране и в ее научно-технологической политике.

Практически все шаги для получения представленных в монографии результатов были сделаны впервые, в режиме эвристического проектирования программы исследований, если под последней понимать программный метод решения сложных научно-технических, социальных и народно-хозяйственных проблем. Исследование пришлось на перелом общественно-экономической формаций и социальных потрясений 1991 и 1993 г.: начато оно было в XX веке при социализме в эпоху СССР, продолжено в «период переходной экономики», завершается сегодня, спустя 36 лет с момента катастрофы на ЧАЭС. Очевидно, что институциональные и, как следствие, организационные основания для выполнения программы исследований постоянно менялись, если не сказать прямо, что ухудшались; реформировались вооруженные силы страны и ВВС, в частности менялась организационно-штатная структура медицинской службы ВВС, ее научных и клинических учреждений. Единственным двигателем, употребим морской термин, был «патос, этос и логос» — система человеческих и профессиональных ценностей военных медиков, в подавляющем большинстве выпускников Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, представляющих ленинградскую школу врачей, инициировавших, организовывавших и реализовавших настоящее многолетнее исследование. Такой способ организации научно-исследовательской работы в советское время назывался «инициативная НИР/НИОКР» — инициативная научно-исследовательская/опытно-конструкторская работа. Никто «на науку» не спускал задач сверху, но в день поступления вертолетчика в ЦВНИАГ начиналось его обследование, не только лабораторное (анализы крови и пр.), но и в лаборатории функциональной диагностики и других лабораториях научного отдела ЦВНИАГ. Отдельно следует сказать и о военных врачах и ученых, осуществлявших медицинское обеспечение полетов армейской авиации фактически на следующий день после аварии.

Была сформирована анкета опроса, номенклатура методов обследования, сформирована карта сбора/массива материалов: перечень составил более 1500 первичных показателей и параметров ( $X_1—X_{1500}$ ). Откуда их столько «набралось»? На вопрос к коллегам/экспертам, что

смотреть, что сработает/среагирует у вертолетчиков, получали ответ «да кто ж его знает...». Поэтому пришлось «брать и учитывать все, что было доступно». Полный перечень приведен в Приложениях 1–8 текста диссертационного исследования М.А. Пронина<sup>1)</sup>. Для примера перечислим показатели электрокардиографического исследования (Приложение 3 диссертации):

- 83\* РИТМ С — ритм синусовый (да — 1, нет — 0);
- 84 РИТМ П — ритм предсердный (— « —);
- 85 РИТМ М — миграция ритма по предсердиям (— « —);
- 86 РИТМ МВ — миграция на вдохе (— « —);
- 87 З-Р — ширина зубца Р;
- 88 Р-Q — длина интервала Р-Q;
- 89 QRS — ширина комплекса QRS;
- 90 Q-T — длина интервала Q-T;
- 91 R-RMIN — длина интервала R-R минимального;
- 92 R-RMAX — длина интервала R-R максимального;
- 93 PSMIN — частота сердечных сокращений минимальная;
- 94 PSMAX — частота сердечных сокращений максимальная;
- 95 ВОЛЬТ — вольтаж зубцов (в норме — 1, снижен — 0);
- 96 РИТМ.РЕГ — ритм регулярный (да — 1, нет — 0);
- 97 САРИТМ — синусовая аритмия (— « —);
- 98 EX — экстрасистолия (— « —);
- 99 ХАР-PS — нормокардия — 0, брадикардия — 1, тахикардия — 2, нормобрадикардия — 3, нормотахикардия — 4;
- 100 ОСЬ — электрическая ось сердца (нормальная, вертикальная и т. д.);
- 101 ГИП.П — гипертрофия предсердий (правого, левого; выраженность и пр.);
- 102 ГИП.Ж — гипертрофия желудочков;
- 103 ПРЕДС EX — предсердная экстрасистолия (нет — 0, есть — 1);
- 104 СУПР EX — суправентрикулярная экстрасистолия (— « —);
- 105 ЖЕЛ EX — желудочковая экстрасистолия (— « —);
- 106 АЛЛОП EX — аллоритмия (— « —);
- 107 ТРУП EX — групповая экстрасистолия (— « —);

---

<sup>1)</sup> Пронин М.А. Функциональное состояние некоторых систем организма и работоспособность летного состава в связи с выполнением заданий на радиоактивно зараженной местности: автореф. дис. ... канд. мед. наук: М.А. Пронин; 14:00:05, 20:01:08; ВМедА им. С.М. Кирова. СПб.: 1992. 25 с.

\*Номер переменной: X<sub>83</sub>–X<sub>117</sub>; остальные переменные приведены в других приложениях.



- 108 НППРОВ — нарушение предсердной проводимости (какое, выраженность);
- 109 НП-ЖПРОВ — нарушение предсердно-желудочковой проводимости (нет — 0; 0,12 с-1; 0,20 с-2; неполная а-в блокада II ст — 3);
- 110 БНПГ — блокада ножек пучка Гиса (каких, выраженность);
- 111 СРРЖ — синдром ранней реполяризации желудочков (нет — 0, есть — 1);
- 112 И.МИ — «изменения миокарда» (- « -);
- 113 КСЛ-ЭКГ — проба с хлоридом калия (не назначалась — 0, восстановилось само — 1, отрицательная — 2, слабо положительная — 3, положительная — 4);
- 114 ОБЗ-ЭКГ — проба с обзиданом (- « -);
- 115 АТРЭКГ — проба с атропином (- « -);
- 116 ЗДОРОВСП — диагноз «Здоров» при поступлении (нет — 2, да — 1);
- 117 ЗДОРОВСВ — диагноз при выписке (- « -).

Показательны здесь несколько моментов.

**Первое.** Размерность — антропомерность — пространства описания состояний ликвидаторов: она рассчитывается по формуле  $N^2-N$ ; таким образом, размерность первичного массива данных, составляет  $2 \times 10^6$  — прямо-таки атомные величины! Естественно, первичный разведочный анализ в подобном случае проводили в формальном режиме: из  $X_1-X_{1500}$  переменных надо было выделить достоверно меняющиеся во времени и связанные с дозой, продолжительностью облучения и другими интересующими исследователей факторами. Только после этого с «оставшимися» переменными можно переходить к содержательной работе: классификации пораженных, описанию и интерпретации выявленных связей и зависимостей.

Размерность массива и в то время, и сегодня беспрецедентная, что позволяет обратить внимание на **второй момент** — на те показатели и параметры, что были отсеяны в процессе обработки массива первичных данных (для наглядности мы привели здесь перечень связанных с «банальной» электрокардиографией). Их «отрицательное значение» в организации прицельного медицинского наблюдения с целью экономии внимания и ресурсов очевидны. Тем не менее их анализ и интерпретация — отдельная теоретическая задача для радиационной и фундаментальной медицины. Мы ее оставляем на будущее и, скорее всего, для других исследователей.

Теперь — **самое важное** в послесловии.

Начнем с предварительных замечаний, оснований для фундаментального теоретического заключения или гипотезы. Суть его вытека-

ет из уникальности и самой группы ликвидаторов-вертолетчиков, из уникальности массивов собранных медико-психологических и других данных об их служебной/профессиональной и медицинской судьбе, и уникальных сроков и периодов наблюдения за ними! Как мы уже писали ранее, «впервые специалистами ГНИИИ АиКМ и ЦВНИАГ осуществлено обследование сравнительно однородной по возрасту, полу, условиям профессиональной деятельности, периоду аварии группы людей, подвергшихся внешнему относительно равномерному облучению и внутреннему радиоактивному заражению в диапазоне малых доз».

Массив данных о представленном в настоящей работе контингенте включает результаты обследования нередко уже в день/первые сутки после облучения — ЛС с утра выполнял задание, а вечером/утром поступал в стационар! Большинство из вертолетчиков прошли углубленное медицинское обследование в стационаре повторно/тремякратно в течение года. В отдаленный период были собраны данные обследований ВЛК (анализы, заключения врачей и пр.) за 5 лет, предшествовавших участию в работах в ЛПА на ЧАЭС. Многолетние наблюдения за их состоянием здоровья продолжались до 1996 г.

Программа исследований и наблюдений позволила сформировать в отдаленный период контрольные группы для вычленения вклада радиационного облучения, его продолжительности и его дифференцировки по сравнению с психоэмоциональными факторами боевой деятельности и, наконец, вклада периода аварии в отдаленную клиническую картину поражения.

Что касается контрольной группы для острого периода после облучения, для первоначального периода аварии, которую следовало бы «подобрать», как рекомендовали эксперты, — «чтобы вертолетчики также летали, также боялись, но не облучались...», то с ее подбором, были, увы, неразрешимые проблемы. Найти работы, когда экипаж совершает до 22 (!) вертолето-вылетов за световой день<sup>1)</sup>, нарушая все требования «Наставления по проведению полетов», нам не удалось до сих пор.

В итоге мы должны констатировать, что так называемые ПДД облучения (до 0,25 Гр однократно) вызывают достоверные изменения в состоянии функциональных систем организма и работоспособности вертолетчиков. Доказано, что пороговой дозой облучения, хотя и биологически оправданной, можно считать дозу 0,3 Гр за 2–3 дня;

---

<sup>1)</sup> Пронин М.А. Экзистенция: забытый Чернобыль. Записки ликвидатора. М.: Канон+, 2016; 2022. 224 с.

восстановление показателей и параметров состояния систем организма чаще всего занимает до полугода.

Проделана большая работа, позволяющая провести «дозиметрию без дозиметров» по результатам клинических обследований в острый (!) (Часть I монографии) и в отдаленный (!) (Часть II монографии) периоды после участия в работах по ЛПА на АЭС. Тем самым сформирован задел для развития данного направления в радиобиологии и радиационной медицине.

Однако последствия для здоровья ликвидаторов (в опережающем «накоплении диагнозов» по сравнению с интактными в отношении ИИ ровесниками-вертолетчиками) имеют выраженную тенденцию на протяжении 10 лет, как и достоверные отличия в показателях адаптационных возможностей и здоровья между облученными в дозах более 0,3 Гр в сравнении с контрольными группами.

Таким образом — повторим наш вывод еще раз — последствия облучения и участия в работах по ЛПА на ЧАЭС для вертолетчиков носят не преходящий (не транзиторный), но «витальный», жизненный характер; десятилетиями (!) сохраняются и в организме (в его функциональных системах), и в жизни ЛС вертолетов последствия их участия в ЛПА, где облучение, или радиационный фактор, вносит достоверный и значимый вклад в картину самочувствия и жизни ликвидатора.

В предлагаемом контексте философии как экспертизы, которая включает экспертизу и гуманитарную, и биоэтическую, мы вынуждены констатировать, что существующая (вернее, ее отсутствие) система наблюдения за ликвидаторами-вертолетчиками не адекватна ни их социальному вкладу в ЛПА, ни тому значению для фундаментальной медицины во всех ее аспектах и дисциплинах, связанных с системами человек-машина, с теми же перспективными природоподобными технологиями <sup>1)</sup>.

Сегодня нет научного отдела в авиационном госпитале, как, впрочем, и самого госпиталя уже нет: госпиталь — рядовой клинический филиал одного из центральных госпиталей. Как не работает и система диспансеризации/учета состояния здоровья участников ЛПА на ЧАЭС: сегодня эта задача брошена. Один из авторов может судить об этом по собственному опыту обслуживания в 9-м Клинико-диагностическом медицинском центре МО РФ в Москве; это один из лучших центров! Но задача медицинского наблюдения и диспансеризации, как показано

---

<sup>1)</sup> Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестн. РАН. 2019. Т. 89, № 5. С. 455–465.

в настоящей работе, имеет под собой веские медицинские основания! Отсутствие системы медицинского наблюдения данных контингентов говорит не столько об этической ущербности современных организаторов военного здравоохранения или об их деонтологической несостоятельности, сколько о том, что у лиц принимающих решения — у стратегов, формирующих организационные ответы на социальные запросы общества — нет фундаментального научного интереса к проблеме отдаленных последствий для пораженных «допустимыми» дозами ИИ!

Вынуждены указать на то, что радиология (медицинская, прежде всего) это все еще наблюдательная, эмпирическая наука. Значение, ценность и цена результатов многолетних наблюдений и появляются, и проявляются, и понимаются лишь со временем: так, эпидемиологические данные о заболеваемости/смертности у населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, позволили коллегам из Обнинска, из общероссийского регистра, провести расчеты прогнозов последствий катастрофы на АЭС Фукусима-1 в Японии под эгидой МАГАТЭ.

Поэтому продолжение медицинских наблюдений за ликвидаторами — важнейшая научная и социальная государственная задача в эпоху, когда ядерная энергетика должна стать природоподобной по своему воздействию на человека, общество и планету Земля. В этом состоит пафос нашего послесловия. Но для того, чтобы данная задача решалась, система ценностей эффективных менеджеров должна опережать уровень классов задач, что они пытаются решать. Отсутствие поддержки на подобный класс задач в российских научных фондах весьма патогномично.

Теперь коснемся фундаментального теоретического вывода. В нашем случае речь может идти о методологическом выделении группы вертолетчиков — участников ЛПА на ЧАЭС — как идеального теоретического конструкта, представляющего «стандартного/условного ликвидатора». Настоящая работа достаточно полно являет его портрет: за 5 лет до факта облучения/работы, в острый и в промежуточный периоды аварии, в первый год после работы/облучения и в отдаленный период на протяжении 10 лет.

Очевидно, что в данном предложении мы отталкиваемся от концепции, предложения Главной комиссии МКРЗ ввести термин «стандартный человек» («Standard Man»), который был затем заменен на «условный человек» («Reference Man»): «сущность концепции условного человека заключается в том, что четко определены его основные медико-биологические параметры и указаны их возможные вариации, что крайне важно для оценки величины поглощенной дозы. В случае

необходимости любой специалист, работающий в области радиационной безопасности, может внести необходимые поправки на индивидуальные различия и корректно произвести расчет индивидуальных и популяционных доз»<sup>1)</sup>. Наша же гипотеза состоит в том, что, опираясь на «медико-психолого-социальный портрет» условного ликвидатора, можно будет достаточно быстро на качественном уровне сделать некоторые прогнозы и сформировать параметры для обследования и диспансерного наблюдения конкретного участника ЛПА на АЭС.

Полагаем, что оценка и надлежащее методологическое оформление и фактологическое (медицинское, психологическое и пр.) наполнение идеи концепта/теоретического конструкта «стандартный/условный ликвидатор» на базе результатов настоящей работы найдет свое достойное место и применение в современной медицинской радиологии, медицине катастроф и организации военного и гражданского здравоохранения.

Но это уже другая история, оселок, на котором проявится система ценностей выстроенного в нашей стране в последние годы здравоохранения.

---

<sup>1)</sup> Человек. Медико-биологические данные. (Публикация №23 Международной комиссии по радиологической защите. Доклад рабочей группы комитета II МКРЗ по условному человеку). Коллектив авторов. Пер. с англ. М.: Медицина, 1977. С. 11.

## Список литературы

1. *Авдохин В.П.* Ликвидация последствий промышленных аварий, связанных с выбросом радиоактивных веществ (обзор) // *Гражданская оборона*. 1990. № 5. С. 48–55.
2. *Авиационная медицина (Руководство)* / Под ред. Н.М. Рудного, П.В. Васильева, С.А. Гозулова. М.: Медицина, 1986. 580 с.
3. *Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности // *Справочное издание*. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
4. *Акоев И.Г., Алексеева Л.В.* О некоторых общих принципах адаптивных реакций организма и его систем // *Теоретические предпосылки и модели процессов радиационного поражения систем организма*. Пушкино, 1975. С. 151–169.
5. *Аксенова Г.А.* Диагностические возможности кинетокардиографии в определении нарушений внутрисердечной гемодинамики // *Терапевт. арх.* 1981. № 6. С. 106–110.
6. *Александровский Ю.А., Лобастов О.С., Спивак Л.И., Щукин Б.П.* Психогении в экстремальных условиях. М.: Медицина, С. 199–196.
7. *Александровский Ю.А., Румянцева Г.М., Щукин Б.П., Юров В.В.* Состояние психической дезадаптации в экстремальных условиях (по материалам аварии на Чернобыльской АЭС) // *Журн. невропатол. и психиатр.* 1989. Т. 89, № 5. С. 111–117.
8. *Александровский Ю.А., Румянцева Г.М., Щукин Б.П.* Медико-психологическая помощь во время и после стихийных бедствий и катастроф // *Воен.-мед. журн.* 1990. № 8. С. 73–76.
9. *Алексахин Р.М., Крышев И.И., Фесенко С.В., Санжарова Н.И.* Радиоэкологические проблемы ядерной энергетики // *Атомная энергия*. 1990. Т. 68, вып. 5. С. 320–328.
10. *Алексеев Г.И.* О клинике и диагностике острой лучевой болезни // *Воен.-мед. журн.* 1986. № 4. С. 21–26.
11. *Амосов Н.М., Бендет Я.А.* Физическая активность и сердце / 3-е изд., перераб. и доп. Киев: Здоровье, 1989. 216 с.
12. *Арефьева З.С., Бадьин В.И., Гаврилин Ю.И. и др.* Руководство по оценке доз облучения щитовидной железы при поступлении радиоактивных изотопов йода в организм человека / Под ред. Л.А. Ильина. М.: Энергоатомиздат, 1988. 80 с.

13. *Архангельская Г.В., Королева Т.М.* Основные тенденции в развитии исследований действия малых доз ионизирующей радиации на организм животного и человека (по материалам публикаций 1980–1983 гг.) // Всесоюзная конференция по действию малых доз ионизирующей радиации: Тез. докл. Киев: Наукова думка, 1984. С. 43–44.
14. *Балева Л.С., Засимова И.В., Яковлева И.Н.* Биологические отдаленные эффекты радиационного воздействия на состояние здоровья детского населения // Педиатрия. 1989. № 1. С. 100–103.
15. *Барабанова А.В., Гуськова А.К.* К вопросу о возможности выздоровления после острой лучевой болезни // Клин. мед. 1964. № 11. С. 137–139.
16. *Бешешко В.Г., Брусилова Е.М., Винницкая Е.П., Гордиенко С.М., Евко О.И., Джуриная Е.Н., Цветкова Н.М.* Состояние иммунитета у детей, эвакуированных из г. Припяти в связи с аварией на Чернобыльской АЭС // Иммунный статус человека и радиация: Сб. тез. Всесоюз. науч. конф., Гомель, сент. 1991. М., 1991. С. 65–66.
17. *Беляков И.М., Ярилин А.А.* Воздействие комплексов факторов Чернобыльской аварии на иммунную систему человека // Радиобиологический съезд. Киев, 20–25 сент. 1993 г.: Тез. докл. Пушино, 1993. Т. 1. С. 104–105.
18. *Береговой Г.Т., Завалова К.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А.* Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике. М.: Наука, 1978. 304 с.
19. Биологическая индикация лучевого поражения // Итоги науки и техники. Серия Радиационная биология. М., 1980. Т. 3. 180 с.
20. *Бирюков А.П., Иванов В.К., Цыб А.Ф., Иванов С.И., Меских Н.Е., Максютов М.А., Круглова З.Г., Иванова И.Н., Бубнов С.К.* Основные тенденции динамики заболеваемости участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Матер. науч.-практ. конф. «Результаты и задачи медицинского наблюдения за состоянием здоровья участников ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде». М., 1998. С. 18–24.
21. *Боганов С.А., Боровой А.А., Дубасов Ю.В., Ломоносов В.В.* Форма и характеристика частиц топливного выброса при аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 1990. Т. 69, вып. 1. С. 36–40.
22. *Богомолов А.В., Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А., Ушаков И.Б.* Диагностика состояния человека: математические подходы. М.: Наука, 2003. 464 с.
23. *Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.* Математическое обеспечение мета-анализа результатов независимых экспериментальных медико-биологических исследований // Информатика и системы управления. 2011. № 4 (30). С. 65–74.

24. *Бонд В.П., Аришамбо Д., Флиднер Г.* Радиационная гибель млекопитающих [пер. с англ.]. М.: Атомиздат, 1971. 317 с.
25. *Борисов С.Н., Карпов В.Н., Лаптева Д.Г., Тихончук В.С., Ушаков И.Б., Хованский Г.С.* Номограммы для определения некоторых показателей крови человека. М.: ВЦ АН СССР, 1989. 44 с.
26. *Булдаков Л.А.* Радиоактивные вещества и человек. М.: Энергоатомиздат, 1990. 160 с.
27. *Василенко И.Я.* Канцерогенная опасность продуктов ядерного деления в малых дозах // *Метаболизм и биологическое действие радионуклидов при оральном поступлении в организм: Сб. науч. тр. / Под ред. В.С. Калистратовой.* М., 1989. С. 238–246.
28. *Василенко И.Я.* Состояние иммунитета при радиационных воздействиях // *Мед. радиология.* 1991. Т. 36, № 9. С. 56–58.
29. *Васильев Н.В., Коляда Т.И., Ершов А.Ф. и др.* Оценка иммунного статуса человека в режиме функциональной нагрузки // *Иммунология.* 1989. № 2. С. 46–50.
30. *Владимиров В.Г.* Биологические эффекты при внешнем воздействии малых доз ионизирующих излучений // *Воен.-мед. журн.* 1989. № 4. С. 44–46.
31. *Владимиров В.Г., Гончаров С.Ф., Легеза В.И., Аветисов Г.М.* Радиобиологические аспекты медицины катастроф. М.: ВЦМК «Защита», 1997. 220 с.
32. *Военная радиология. Учеб. пособие / Под ред. Е.В. Гембицкого, В.Г. Владимирова / Воен.-мед. акад. Л.: Б.и., 1985. 215 с.*
33. *Военная токсикология, радиология и медицинская защита / Под ред. Н.В. Саватеева / Воен.-мед. акад. Л.: Б.и., 1987. 355 с.*
34. *Воробьев, Е.И.* Радиационная кардиология М.: Атомиздат, 1971. 263 с.
35. *Воронцов И.В., Жиляев Е.Г., Карпов В.Н., Ушаков И.Б.* Малые радиационные воздействия и здоровье человека (очерки системного анализа). Воронеж: ВГУ, 2002. 276 с.
36. *Гембицкий Е.В., Комаров Ф.И.* Военно-полевая терапия: Учебник. М.: Медицина, 1983. 256 с.
37. *Горизонтов П.Д., Белоусова О.И., Федотова М.И.* Стресс и система крови / АМН СССР. М.: Медицина, 1983. С. 239–240.
38. *Григорьев Ю.Г., Гуськова А.К.* Проблема обоснования допустимых доз ионизирующей радиации для членов экипажей космических кораблей // *Проблемы космической биологии.* М.: Наука, 1967. Т. 6. С. 476–489.



39. *Григорьев Ю.Г.* Радиационная безопасность космических полетов. Радиобиологические аспекты. М.: Атомиздат, 1975. 256 с.
40. *Григорьев А.Ю.* Неспецифическая реактивность организма и индивидуальная радиочувствительность // Успехи физиол. наук. 1984. Т. 15, № 3. С. 64–82.
41. *Гримак Л.П., Сорокина Н.Д.* Выбор между цветом и формой в диагностике функциональных состояний // Методика и техника психофизиологического эксперимента. М., 1987. С. 83–89.
42. *Грובהва О.М., Черников В.П.* Присутствие цезия-137 в ткани опухоли легких ликвидатора последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Терапевт. архив. 1996. Т. 68, № 3. С. 26–30.
43. *Груздев Г.П.* Острый радиационный костномозговой синдром М.: Медицина, 1988. 144 с.
44. *Гулман А., Крахмалев Ю., Сычев В.* Атомная энергетика в странах — членах СЭВ / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Секретариат СЭВ, 1988. 41 с.
45. *Гусев И.В., Легеза В.И., Ланцев Л.С.* Медицинская профилактика радиационных поражений личного состава пожарной охраны, участвующего в ликвидации пожаров на АЭС // Токсикологические проблемы химических катастроф. Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. 15–16 мая 1991. Л., 1991. 36 с.
46. *Гуськова А.К., Понизовская А.И., Денисова Е.А., Волковицкая Э.Н., Котова Э.С., Грибова И.А.* Условия труда и состояние здоровья работающих в Объединенном институте ядерных исследований // Гигиена труда и профзаболевания. 1966. № 1. С. 5–11.
47. *Гуськова А.К.* Актуальные проблемы профилактики, диагностики и лечения лучевой болезни // Мед. радиология. 1986. № 9. С. 3–8.
48. *Гуськова А.К., Баранов А.Е., Барабанова А.В., Груздев Г.П. и др.* Острые эффекты облучения у пострадавших при аварии на ЧАЭС // Мед. радиология. 1987. № 12. С. 3–18.
49. *Гуськова А.К., Барабанова А.В., Друтман Р.Д., Моисеев А.А.* Руководство по организации медицинской помощи при радиационных авариях. М.: Энергоатомиздат, 1989. 88 с.
50. *Данияров С.Б.* Лучевая болезнь и сердечно-сосудистая система (экспериментальные исследования). Фрунзе: Кыргызстан, 1974. 234 с.
51. Действие атомной бомбы в Японии / Под ред. Э. Отерсона, Ш. Уоррена; [пер. с англ.]. М.: Медгиз, 1960. 418 с.

52. Действие ионизирующей радиации на организм человека: Отчет о поражении жителей Маршалловых островов / Под ред. Е.П. Кронкайта и др.; [пер. с англ.]. М.: Медгиз, 1960. 161 с.
53. Дозовые зависимости нестохастических эффектов, основные концепции и величины, используемые в МКРЗ: Публикации 41, 42 МКРЗ: [пер. с англ.]. М.: Энергоатомиздат, 1987. 88 с.
54. Докшина Г.А. Эндокринные и метаболические аспекты лучевой болезни. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. 221 с.
55. Дуева Л.А. Основные направления в профилактике профессиональных аллергических заболеваний в современной промышленности: Дисс. ... докт. мед. наук. М., 1985. 530 с.
56. Дюран Б., Одел П. Кластерный анализ; [пер. с англ.]. М.: Статистика, 1977. 128 с.
57. Жербин Е.А., Чухловин А.Б. Радиационная гематология. М.: Медицина, 1989. 176 с.
58. Жилиев Е.Г., Легеза В.И., Астров В.В. Некоторые показатели функционального состояния организма при обслуживании источников ионизирующих излучений // Воен.-мед. журн. 1995. № 6. С. 52–55.
59. Закржевский Е.Б., Алексеев Г.И. Некоторые вопросы диагностики и лечения острой лучевой болезни // Воен.-мед. журн. 1965. № 8. С. 14–20.
60. Захаров Ю.М. Лекции по физиологии крови. Челябинск, 1994. 192 с.
61. Защита от оружия массового поражения / Под ред. В.В. Мясникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Воениздат, 1989. 398 с.
62. Зинченко В.А., Киндзельский Л.П. Контроль инкорпорации радионуклидов в слизистых гастробиопсии человека в результате облучения при аварии на АЭС // I Всесоюзный радиобиологический съезд. М., 21–27 авг. 1989 г.: Тез. докл. Пущино, 1989. Т. 4. С. 946–947.
63. Зотиков Е.А. Иммунологическая адаптация и компенсация нарушенных функций организма // Структурные основы адаптации и компенсации нарушенных функций. Руководство / Под ред. Д.С. Саркисова. М., 1987. С. 381–403.
64. Иванов В.К., Цыб А.Ф. Радиационно-эпидемиологический анализ последствий Чернобыльской катастрофы на основе данных Российского государственного медико-дозиметрического регистра // Последствия Чернобыльской катастрофы. Здоровье человека / Под ред. Е.Б. Бурлаковой. М., 1996. С. 10–23.
65. Ивашкин В.Т., Кириллов М.М., Новоженев В.Г. и др. Терапевтические проблемы медицины катастроф // Воен.-мед. журн. 1990. № 4. С. 32–37.

66. *Израэль Ю.А., Петров В.Н., Авдюшин С.И. и др.* Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции // *Метеорология и гидрология*. 1987. № 2. С. 5–18.
67. *Израэль Ю.А., Соколовский В.Г., Соколов В.Е. и др.* Экологические последствия радиоактивного загрязнения природных сред в районе аварии Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. 1988. Т. 64, вып. 1. С. 28–40.
68. *Ильин Л.А.* Основы защиты организма от радиоактивных веществ М.: Атомиздат, 1977. 256 с.
69. *Ильин Л.А., Павловский О.А.* Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и меры, предпринятые с целью их смягчения // *Атомная энергия*. 1988. Т. 65, вып. 2. С. 119–126.
70. *Ильин Л.А., Балонов М.И., Булдаков Л.А., Бурьяк В.Н. и др.* Экологические особенности и медико-биологические исследования последствия аварии на Чернобыльской АЭС // *Мед. радиология*. 1989. Т. 34, № 11. С. 59–81.
71. *Ильин Л.А.* Чернобыль — три года спустя // *Мед. газета*. 1989. 26 апреля.
72. *Ильин Л.А.* Реалии и мифы Чернобыля. М., 1994. 448 с.
73. *Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П.* Радиационная безопасность и защита // *Справочник*. М.: Медицина, 1996. 336 с.
74. Инструкция по диагностике, медицинской сортировке и лечению острых радиационных поражений / Под ред. А.К. Гуськовой // *МЗ СССР*. М.: Б.и., 1978. 47 с.
75. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы // *Справочник* / Под ред. Т.С. Виноградовой. М.: Медицина, 1986. 416 с.
76. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // *Атомная энергия*. 1986. Т. 61, вып. 5. С. 301–320.
77. Исследование вентиляционной способности легких с помощью спирографа. Методические рекомендации / ЦВМУ МО СССР. М.: Воениздат, 1986. 58 с.
78. *Каган М.С.* Системное рассмотрение основных способов группировки // *Философия и социологические исследования*. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. С. 77–85.
79. *Капитаненко А.М., Дочкин И.И.* Клинический анализ лабораторных исследований в практике военного врача / Под ред. Е.В. Гембицкого. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Воениздат, 1988. 270 с.
80. *Карпман В.Л.* Фазовый анализ сердечной деятельности М.: Медицина, 1965. 275 с.

81. *Клиорин А.И., Тиунов Л.А.* Функциональная неравнозначность эритроцитов. Л.: Наука, 1974. 184 с.
82. *Клиорин А.И.* Типы конституции и здоровье человека // Учение о типах конституции человека и перспективах его развития. Тез. докл. Воен.-мед. акад. Л.: Б.и., 1980. С. 27–29.
83. *Ковалев Е.Е., Сакович В.А.* Государственные стандарты радиационной безопасности космических полетов // Атомная энергия. 1990. Т. 68, вып. 5. С. 381–384.
84. *Коггл Дж.* Биологические эффекты радиации; [пер. с англ.]. М.: Энергоатомиздат, 1986. 186 с.
85. *Козинец Г.И., Жиляев Е.Г., Легеза В.И., Абдуль Ю.А., Погорелов В.М., Шишканова Т.В., Сарычева Т.Г., Дягилева О.А., Попова О.В., Новодержкина Ю.К., Каюмова Д.Ф., Балабуткин В.А., Федорова И.М.* Клетки периферической крови ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС после 5-летнего наблюдения // Гематология и трансфизиология. 1993. Т. 38, № 9. С. 35–38.
86. *Козлов В.Ф.* Справочник по радиационной безопасности. 4-е изд. М.: Энергоатомиздат. 1991. 352 с.
87. *Козырева Т.В., Никифорова Н.А., Калмыкова И.Я., Скобельцына Е.С., Сорочан П.П., Стародубцева А.Н.* Состояние иммунитета у лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Гематология и трансфузиология. 1990. Т. 35. № 12. С. 17–78.
88. *Коммисаренко В.Г., Зверкова А.С.* Особенности клеточно-зависимого иммунитета у жителей г. Киева после аварии на ЧАЭС // Иммунный статус человека и радиация: Сб. тез. Всесоюзн. науч. конф. Гомель, сент. 1991 г. М., 1991. С. 103–104.
89. Компьютерная биометрика / Под ред. В.Н. Носова. М.: Изд-во МГУ, 1990. 232 с.
90. *Кондаков Н.И.* Логический словарь-справочник. М: Наука, 1975. 32 с.
91. *Коноплев А.В., Борзилов В.А., Бобовникова И.И. и др.* Распределение радионуклидов, выпавших в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции, в системе «почва–вода» // Метеорология и гидрология. 1988. № 12. С. 63–74.
92. *Константинова И.В.* Система иммунитета в экстремальных условиях // Космическая иммунология: Пробл. космич. биологии, Т. 59. М.: Наука, 1988. 288 с.
93. *Крыжановский Г.Н.* Стресс и иммунитет // Вестн. АМН СССР. 1985. № 8. С. 3–12.

94. *Крюк А.С., Мостовников В.А., Хохлов И.В., Сердюченко Н.С.* Терапевтическая эффективность низкоинтенсивного лазерного излучения. Минск, 1986. 231 с.
95. *Кузин А.М.* Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. М.: Атомиздат, 1977. 133 с.
96. *Кузин А.М.* Действие атомной радиации в малых дозах на биоту // Радиобиология. 1991. Т. 31, вып. 2. С. 175–179.
97. *Куликов В.Д., Цибин Ю.Н.* Сравнительная оценка эффективности различных дискриминантных моделей при прогнозировании исходов тяжелой механической травмы // Патогенез и лечение травматической болезни / Воен.-мед. акад. Л.: Би., 1982. 115 с.
98. *Куна П.* Химическая радиозащита; [пер. с чешск.]. М.: Медицина, 1989. 192 с.
99. *Кутьков В.А., Иванов В.И.* Микрораспределение альфа-излучающих нуклидов и радиобиологический эффект // Радиобиологический эксперимент и человек. М., 1986. С. 79–87.
100. *Лебедев К.А., Понякина И.Д.* Иммунограмма в клинической практике. М.: Наука, 1990. 224 с.
101. *Левандо В.А. и др.* Стрессорные иммунодефициты у человека // Успехи физиол. наук. 1990. Т. 21, № 3. С. 79–94.
102. *Легеза В.И., Абдуль Ю.А., Антушевич А.Е., Юркевич Ю.В.* Изменения некоторых показателей неспецифической резистентности у людей, участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Иммунный статус человека и радиации: Сб. тез. Всесоюз. науч. конф., Гомель, сент. 1991 г. М., 1991. С. 121–122.
103. *Легеза В.И.* Военная медицина. Проблемы профилактики, диагностики, лечения экстремальных состояний / Сб. статей под ред. И.М. Чижа. М., 1994. С. 67–75.
104. *Легеза В.И.* Последствия воздействия экстремальных факторов на организм ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС // Радиологические аспекты медицины катастроф / *Владимиров В.Г., Гончаров С.Ф., Легез В.И., Аветисов Г.М.* М.: ВЦМК «Защита», 1997. С. 110–124.
105. *Липкан Л.Ф.* Основы радиационной биологии и биохимии. Киев: Здоровья, 1986. 210 с.
106. *Лобанов Г.П.* Об использовании вычислительных методов на этапах медицинской эвакуации // Воен.-мед. журн. 1977. № 8. С. 16–20.
107. *Логинов А.С., Передерий В.Г., Бычкова Н.Г., Фомина А.А., Трач Е.Н.* Некоторые особенности морфологических изменений пищеварительного

- канала, клинического течения заболеваний органов пищеварения и иммунного статуса у лиц, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Терапевт. архив. 1995. Т. 67, № 2. С. 44–47.
108. *Логунов О.В., Корытников К.И.* Оценка некоторых методов определения бронхиальной проходимости // Клин. мед. 1984. № 4. С. 54–56.
109. *Любченко П.Н. и др.* Состояние иммунной системы у людей, участвовавших в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Иммунология. 1990. № 6. С. 60–63.
110. *Любченко П.Н., Николаева М.Я.* Состояние восстановительных систем крови у людей после контакта с ионизирующим излучением в малых дозах // Мед. радиология. 1990. Т. 35, № 12. С. 23–25.
111. *Любченко П.Н., Мальцева Л.М., Козьмиди Е.К., Дегтярева Е.М.* Динамическое наблюдение за состоянием здоровья ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС // Материалы науч.-практ. конф. «Результаты и задачи медицинского наблюдения за состоянием здоровья участников ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде». М., 1998. С. 66–71.
112. *Мазурик В.К.* Радиобиологические основы биохимической индикации лучевого поражения // Итоги науки и техники. Серия: Радиационная биология. М., 1980. Т. 3. С. 39–102.
113. *Максимов И.Б., Столяр В.П., Богомолов А.В.* Прикладная теория информационного обеспечения медико-биологических исследований. М.: Бином, 2013. 311 с.
114. *Маргулис У.Я.* Атомная энергия и радиационная безопасность. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
115. *Марченко Т.А., Мозговая А.В.* Социальные и психологические последствия аварии на ЧАЭС: опыт изучения и практика социальной работы // Социальная и психологическая реабилитация пострадавших от Чернобыльской катастрофы. М., 1996. С. 40–49.
116. *Марьяновский А.А., Петрова Т.В.* Иммунологическое здоровье ликвидаторов // Радиобиол. съезд. Киев, 20–25 сент. 1993 г. Тез. докл. Пушино, 1993. Т. 1. 648 с.
117. *Матюшин И.Ф. и др.* Физиология иммунного гомеостаза. Ростов-на-Дону, 1977. С. 50–51.
118. *Маянский А.Н., Галлиулин А.Н.* Реактивность нейтрофила. Казань, 1984. 158 с.

119. Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции: Материалы научной конференции 11–13 мая 1988 г., г. Киев. Киев: Здоровья, 1988. 232 с.
120. *Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г.* Адаптация к стрессовым ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 254 с.
121. *Метляева Н.А., Надежина Н.М.* Клинико-электрокардиографическая оценка состояния сердечно-сосудистой системы у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Мед. радиология. 1991. Т. 36, № 6. С. 25–26.
122. Методики исследования в целях врачебно-лётной экспертизы / Пособие для врачебно-лётных комиссий. М.: Воениздат, 1972. 360 с.
123. Методическое пособие по электрокардиографии: дополнение к методикам исследования в целях врачебно-лётной экспертизы. М.: Воениздат, 1986. 80 с.
124. Методы анализа данных: подход, основанный на методе динамических сгущений; [пер. с фр.] М.: Финансы и статистика, 1985. 357 с.
125. *Миланов С., Гюлева И.* Проблемы рентгенологии и радиобиологии. София, 1984. Т. 5. С. 107–115.
126. *Мозговая А.В., Шлыкова Е.В., Городничева А.И.* Качество жизни и социальная реабилитация участников ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы: результаты мониторинга // Социальная и клиническая реабилитация пострадавших от Чернобыльской катастрофы: опыт и перспективы. М., 1996. С. 123–125.
127. *Мороз Б.Б., Дешевой Ю.Б.* Роль эмоционального стресса в развитии соматических нарушений у ликвидаторов аварии на Чернобыльской атомной станции, облученных в диапазоне малых доз // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39, № 1. С. 97–105.
128. *Москалев Ю.И.* Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 264 с.
129. *Нечаев Э.А., Резник М.И.* Методологическое обоснование системы медицины экстремальных ситуаций // Воен.-мед. журн. 1990. № 4. С. 5–10.
130. *Никипелов Б.В., Романов Г.Н., Булдаков Л.А. и др.* Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. // Атомная энергия. 1989. Т. 67, вып. 2. С. 74–80.
131. *Новиков В.С., Смирнов В.С.* Иммунология экстремальных состояний. СПб: Наука, 1995. 172 с.

132. *Нягу А.И.* Психоневрологические и психологические аспекты последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Вестн. АМН СССР. 1991. № 11. С. 31–32.
133. *Нягу А.И., Логановский К.Н., Плачинда Ю.И., Костюченко В.Г., Юрьев К.Л., Логановская Т.К.* Психоневрологическая характеристика лиц, несанкционированно проживающих в зоне отчуждения («самоселов» зоны отчуждения) // Актуальные и прогнозируемые нарушения психического здоровья после ядерной катастрофы в Чернобыле: Матер. Междунар. конф. 24–28 мая 1995 г. Украина, Киев. Киев, 1995. 58 с.
134. *Омельянец А.И., Нягу А.И.* Медико-демографическая оценка здоровья проживающих в Украине ликвидаторов аварии на ЧАЭС // Чернобыль 1994. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС»: Сб. тез. Зеленый мыс, 1994. С. 280–283.
135. Опасные инциденты с ядерным и обычным оружием в США // Гражданская оборона. 1990. № 7. 21 с.
136. *Орадовская И.В., Еремина О.Ф., Рузыбакиев Р.М., Прокопенко В.Д., Андросов В.Н., Захаров Г.А., Подобин Н.П., Дмитриев А.Л., Микомалова Л.И., Оскарова Л.И., Блюх Ж.Л., Пичугин А.В.* Характеристика иммунного статуса лиц, работающих в 30-километровой зоне ЧАЭС // Иммунный статус человека и радиация: Сб. тез. Всесоюз. науч. конф. Гомель, сент. 1991 г. М., 1991. С. 118–119.
137. *Орадовская И.В.* Иммунный статус и его коррекция у лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии (ЛПА) на Чернобыльской АЭС по данным шестилетнего мониторинга // Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы: Матер. Междунар. семин., Брянск, 1993 г. М., 1993а. Ч. 2. С. 247–249.
138. *Орадовская И.В., Фадеева И.Д., Ульянова Н.В., Козырева О.В., Лохова Ф.Ш., Титова Л.Д., Шарапов С.В.* Динамика показателей иммунного статуса ликвидаторов Чернобыльской радиационной катастрофы по данным шестилетнего наблюдения // Радиобиологический съезд. Киев, 20–25 сент. 1993 г.: Тез. докл. Пушино, 1993в. Ч. 2. 745 с.
139. *Орадовская И.В.* Иммунный статус и его коррекция у населения, проживающего на территориях, загрязненных радионуклидами // Проблемы смягчения последствий Чернобыльской катастрофы: Матер. Междунар. семин., Брянск, 1993 г. М., 1993б. Ч. 2. С. 260–263.
140. *Осанов Д.П., Лихаров И.А., Радзиевский Г.Б.* Дозиметрия инкорпорированных радиоактивных веществ. М.: Атомиздат, 1970. 123 с.
141. *Петров Р.В., Орадовская И.В.* Итоги трехлетнего иммунологического мониторинга за контингентом лиц, участвовавших в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. М.: Энергоатомиздат, 1990. 206 с.



142. *Пикулев А.Т., Кукулянская М.Ф., Мохорева С.И., Орел Н.М. и др.* Молекулярные механизмы действия ионизирующей радиации в малой дозе на обмен веществ в центральной нервной системе // Всесоюз. конф. по действию малых доз ионизирующей радиации: Тез. докл. Киев: Наук. думка, 1984. С. 23–24.
143. *Пономаренко В.А., Ступаков Г.П., Тихончук В.С., Ушаков И.Б.* Нормограммы для определения некоторых интегральных показателей биологического возраста и профессионального здоровья. М.: ВЦ АН СССР, 1991. 51 с.
144. Последствия ядерной войны. Воздействие на экологию и сельское хозяйство. М.: Мир, 1988. 392 с.
145. Последствия ядерной войны. Физические и атмосферные эффекты; [пер. с англ.]. М.: Мир, 1988. 392 с.
146. Последствия взрыва атомной бомбы в Хиросиме; [пер. с англ.]. М.: Иностранная литература, 1960. 135 с.
147. *Поспишил М., Ваха И.* Индивидуальная радиочувствительность, ее механизмы и проявления. М., 1986. 98 с.
148. *Пральников А.* Чернобыль: три года спустя // Московские новости. 1988. № 18. С. 8–9.
149. *Пронин М.А.* Экзистенция: забытый Чернобыль. Философско-антропологические очерки. Записки ликвидатора. М.: 2016. 224 с.
150. *Пушкарь Ю.Т., Большов В.М., Елизарова Н.А. и др.* Определение сердечного выброса методом тетраполярной грудной реографии и его метрологические возможности // Кардиол. 1977. № 7. С. 85–90.
151. *Пяткин Е.К., Баранов А.Е.* Биологическая индикация дозы с помощью анализа аберраций хромосом и количества клеток периферической крови // Итоги науки и техники. Серия Радиационная биология. М., 1980. Т. 3. С. 103–179.
152. Радиация и иммунитет человека / Под ред. В.С. Комиссаренко и К.П. Зака. Киев: Наук. думка, 1994. 112 с.
153. Радиация, дозы, эффекты, риск; [пер. с англ.] М.: Мир, 1988. 79 с.
154. *Рева Ю.П., Портенко Н.М., Иванов А.С., Чучалин А.Г.* Выявление методами растровой электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа локализации в легких человека «горячих частиц», образовавшихся в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Пульмонология. 1993а. № 4. С. 56–59.
155. *Рождественский Л.М.* Концепция биологического действия ионизирующей радиации низкого уровня (анализ проблемы в аспектах пороговости

- эффектов и радиочувствительности/радиореактивности биоструктур различного уровня организации) // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39, № 1. С. 127–144.
156. Романенко А.Е., Нягу А.И., Калинаускас И.Н., Морозов А.М., Станишевский Г.А. Психологические аспекты аварии на ЧАЭС // Проблемы радиационной медицины: Респ. межведомств. сборник. 1991. № 3. С. 3–7.
157. Руководство по медицинскому обеспечению СА и ВМФ. М.: МО СССР, 1971. 504 с.
158. Руководство по медицинскому обеспечению полетов авиации вооруженных Сил СССР. М.: МО СССР, 1981. 80 с.
159. Руководство по организации медицинского обслуживания лиц, подвергшихся действию ионизирующего излучения / Под ред. Л.А. Ильина. М.: Энергоатомиздат, 1985. 192 с.
160. Руководство по радиационной гематологии; [пер. с англ.] М.: Медицина, 1974. 328 с.
161. Руководство по физиологии внешнего дыхания / Под ред. Л.Л. Шика, Н.Н. Канаева. М.: Медицина, 1980. 376 с.
162. Сафронов В. К. Лучевая болезнь от внутреннего облучения / В.К. Сафронов Л.: Медицина, 1972. 136 с.
163. Сахаров А.Д. Радиоактивный углерод ядерных взрывов и некоторые биологические эффекты // Атомная энергия. 1958. Т. 4, вып. 6. С. 576–580.
164. Сидоров Г.И., Калинин А.Г. Социально-психологический скрининг-тест алкоголизма у плавсостава. // Сб. науч. тр. Ленинградского НИИ психоневрологии. Л., 1989. Т. 123. С. 44–48.
165. Смирнов В.С., Ващенко В.И., Морозов В.Г. Состояние иммунной системы у людей через 2 года после воздействия факторов радиационной аварии // Иммунология. 1990. № 6. С. 63–65.
166. Справочник по космической биологии и медицине / Под ред. А.И. Бурназяна, О.Г. Газенко. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 1983. С. 215–216.
167. Сушко В.А., Швайко Л.И. Морфофункциональные особенности хронического бронхита и бронхиальной астмы у лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Чернобыль 1994. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС»: Сб. тез. Зеленый мыс, 1994. С. 322–323.

168. *Тихончук В.С. и др.* Возможности использования новых интегральных показателей периферической крови человека // Воен.-мед. журн. 1992. № 3. С. 27–31.
169. *Торубаров Ф.С., Чинкина О.В.* Психологические последствия аварии на ЧАЭС // Клин. медицина. 1991. Т. 69, № 11. С. 24–28.
170. *Тураев Р.Н.* О состоянии здоровья взрослого населения западных районов Брянской области в 1989 г. // Мед. радиология. 1991. Т. 36, № 9. С. 8.
171. *Тютрин И.И., Смольянинов Е.С., Адамян А.Т.* Способ определения функциональной активности тимус-зависимых лимфоцитов. А.С. 1322151 СССР // Бюл. изобрет. 1987. № 25.
172. *Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.* Паттерны функциональных состояний оператора. М: Наука, 2010. 390 с.
173. *Ушаков И.Б., Давыдов Б.И., Солдатов С.К.* Человек в небе Чернобыля: летчик и радиационная авария. Ростов-на-Дону, 1994а. 168 с.
174. *Ушаков И.Б., Марьяновский А.А., Кустова Л.А., Солдатов С.К.* Иммунный статус у вертолетчиков через 5 лет после выполнения работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Мед. радиология и радиац. безопасность. 1994б. Т. 39, № 4. С. 13–15.
175. *Ушаков И.Б., Арлащенко Н.И., Должанов А.Я., Попов В.И.* Чернобыль: радиационная психофизиология и экология человека. М.: ГНИИИ А и КМ. 1997. 247 с.
176. *Федоров М.В., Богомолов А.В., Цыганок Г.В., Айвазян С.А.* Технология проектирования многофакторных экспериментальных исследований и построения эмпирических моделей комбинированных воздействий на операторов эргатических систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8, № 5. С. 53–61.
177. *Федоров Б.М.* Стресс и система кровообращения. М.: Медицина, 1991. 320 с.
178. *Фофанов П.Н.* Учебное пособие по механокардиографии / Воен.-мед. акад. Л.: Б.и., 1977. 111 с.
179. *Холл Э.Дж.* Радиация и жизнь; [пер. с англ.] М.: Медицина, 1989. 256 с.
180. *Хомуло П.С., Николаев В.И., Сибилев О.П.* Нарушения механизмов регуляции при длительном эмоциональном стрессе, роль в развитии гипертензии и атеросклероза // Нарушения механизмов регуляции и их коррекция. М., 1989. Т. 3. 949 с.
181. *Цыб А.Ф., Поверенный А.М.* Повреждения щитовидной железы в период Чернобыльской аварии: вероятные последствия // Последствия Черно-

- бильской катастрофы: Здоровье человека / Под ред. Е.Б. Бурлаковой. М., 1996. С. 219–228.
182. Человек. Медико-биологические данные. Доклад рабочей группы 2 МКРЗ по условному человеку: Публикация 23 МКРЗ; [пер. с англ.] / Под ред. А.А. Моисеева. М.: Медицина, 1977. 496 с.
183. *Чернов А.З.* Практическое руководство по клинической электрокардиографии. М.: Медицина, 1971. 208 с.
184. *Черняк С.И., Жильев Е.Г., Алферов А.П.* Радиационные факторы, воздействующие на людей при авариях на атомных энергетических установках // Воен.-мед. журн. 1992. № 2. С. 52–55.
185. *Чумак А.А., Базыка Д.А., Талько В.В. и др.* Иммунологические показатели у работников 30-км зоны Чернобыльской АЭС // Вестн. АМН СССР. 1991в. № 11. С. 46–47.
186. *Чучалин А.Г.* Аэрозольные радионуклидные пневмонии // Пульмонология. 1993. № 4. С. 6–9.
187. *Шантырь И.И., Романович И.К., Макарова Н.В., Деряпа Л.Н., Сайгина Е.Б.* Гигиенический анализ доз облучения участников ликвидации последствий аварий на Чернобыльской АЭС (по данным всеармейского регистра) // Воен.-мед. журн. 1995. № 3. С. 58–63.
188. *Шишмарев Ю.Н., Алексеев Г.И., Никифоров А.М., Ларченко Г.К., Криворучко А.А., Пронин М.А., Иванов И.А.* Клинические аспекты последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиобиология. 1992. Т. 32, вып. 3. С. 323–332.
189. *Шубик В.М.* Радиобиологические аспекты «горячих» частиц: обзор // Гигиена и санитария. 1989. № 1. С. 25–28.
190. *Шубик В.М.* Иммунитет и неспецифическая защита у людей, работающих в условиях хронического воздействия малых доз ионизирующих излучений (обзор литературы) // Гигиена труда и проф. заболевания. 1991. № 7. С. 29–31.
191. *Щабленко С.М.* Влияние нагревающего микроклимата горячих цехов на иммунную реактивность рабочих современного металлургического производства: Дисс.... докт. мед. наук. Кривой Рог, 1986. 480 с.
192. *Юдин Б.Г.* О понятии философской экспертизы. // Ценностные основания научного познания / Отв. ред. Г.Л. Белкина; Ред.-сост. М.И. Фролова. М.: ЛЕНАНД, 2017. С. 45–56.
193. *Юдин Б.Г., Пронин М.А.* Философия как экспертиза // Анатомия философии: как работает текст. Цикл реплики / Под ред. Ю.В. Синеокой. М.: Издательство ЯСК, 2021. С. 267–290.

194. Юдин Б.Г., Пронин М.А., Синеокая Ю.В. «Философия как экспертиза» // Проект Института философии РАН и библиотеки им. Ф.М. Достоевского «Анатомия философии: как работает текст». Цикл философских бесед: «Реплики»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://iphgas.ru/12\\_59.htm](https://iphgas.ru/12_59.htm). Дата доступа: 01.02.2022;
195. Яковлев А.Ю. Биоматематические подходы к проблемам радиационной биологии и медицины // Мед. радиол., 1988. №11. С. 13–16.
196. Ярилин А.А. Клеточные основы действия радиации на иммунитет // Современные проблемы радиобиологии. М., 1983.
197. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа. 1988. 424 с.
198. Andersen K., Shephard R.S., Denolin H. et al. Fundamentals of exercise testing / WHO. Geneva, 1971. 135 p.
199. Anderson R.E., Warner N.L. Ionizing radiation and the immune response // Immunol. 1976. V. 31. P. 215–335.
200. Armstrong W.D., Caster W.O. Changes in cardiovascular system following total body x-irradiation // Feder. Proceed. 1956. V. 15, № 1. P. 5.
201. Balance militar 1988–1989 // Ejercito. 1989. №590. 378 p.
202. Berk K.N. A review of manuals for BMDP and SAS // JASA. 1978. V. 73, №361. P. 81–93.
203. Bertollini R., Dilallo D., Mastroiacow P., Perussi C.A. Reduction of births in Italy after the Chernobyl accident // Scand. J. Work. Environ. and Health. 1990. V. 16, № 2. P. 91–101.
204. Engelman L., Frane J.W., Jennrich R.I BMDP-77. Biomedical Computer Programs. P-series / Ed. M.B. Brown. Berkeley: University of California Press, 1977. 880 p.
205. BMDP user's digest. A condensed guide to the BMDP computer programs / Ed. M.A. Hill. Los Angeles: BMDP Statistical Software Inc., 1987. 185 p.
206. Champion H.R., Sacco W.J., Hunt T.K. Trauma severity scoring to predict mortality // World J. Surg. 1983. V. 7, № 1. P. 4–11.
207. Champion H.R., Gainer P., Jackee E. A progress report on the Trauma Score in predicting a fatal outcome // J. Trauma. 1986. V. 26, № 10. P. 927–932.
208. Clancey W. Classification problem solving // Proc. Nac. Conf. Artif. Intelling.; AAAI, Univ. Texas. Austin, 1984. P. 49–55.
209. Data analysis and information / Ed.; Proc. 5th Intern. Symp. Amsterdam, 1988. 514 p.
210. Desarbo W.S. // Psychometric. 1982. V. 17, № 4. P. 449–475.

- 
211. *Feinendegen L.E., Muhlensiepen H., Bond V.P., Sondhaus C.A.* Intracellular stimulation of biochemical control mechanisms by low-dose, low-let irradiation // *Health Phys.* 1987. V. 52, № 6. P. 663–669.
212. *Flavin C.* Nuclear safety after Chernobyl // *Environment Science and Technology.* 1987. V. 21, № 7. P. 624–625.
213. *Forsslund T., Welin M.-G., Laasonen L.* Peripheral blood lymphocyte subsets in radiologists exposed to ionizing radiation // *Acta radiol. oncol.* 1985. V. 24, № 5. P. 415–417.
214. *Gander T.J.* Nuclear, Biological & Chemical Warfar. London: Ian Allan Ltd., 1987. 128 p.
215. *Gu Tao, Julin T. Tou.* A new criterion for optimal classification // *Proc. Inf. Conf. Pattern Recogn.* // N.J. 1982. V. 2. P. 1063–1065.
216. *Gualde N., Goodwin J.S.* Effect of irradiation on human T-cell proliferation: low dose irradiation stimulates mitogen-induced proliferation and function of the suppressor/cytotoxic T-cell subset // *Cell. Immunol.* 1984. V. 84, № 2. P. 439–445.
217. *Hollingsworth J.W.* Radiation effects // *Science.* 1981. V. 236, № 4797. 99 p.
218. *Loewe W., Mendelsohn E.* Revised dose estimates at Hiroshima and Nagasaki // *Helth. Phys.* 1981. V. 41. P. 663–666.
219. *Makinodan T., James S.J.* T-cell potentiation by low dose ionizing radiation: possible mechanisms // *Health Phys.* 1990. V. 59, № 1. P. 29–34.
220. *Miln R.* Nuclear industry considers tougher standards // *New Scientist.* 1987. V. 115, № 1576. 25 p.
221. *Miln R.* Radiation watchdog seeks lower dose limits // *New Scientist.* 1987. V. 116, № 1587. 26 p.
222. *Moer J., Raufman W., Juhuke I.* Diagnostic classification of medical history data // *Lekt. Notes Med. Inf.* 1981. V. 9. P. 214–231.
223. *Pochin E.* The evolution of radiation protection criteria // *Nucl. Energy.* 1986. V. 5, № 1. P. 19–27.
224. *Roberts L.* Atomic bomb doses reassessed // *Science.* 1987. V. 238, № 4834. P. 1649–1651.
225. *Rotblat J.* A tale of two cities // *New Scientist.* 1988. V. 117, № 1594. P. 46–50.
226. *Sinclair W., Failla P.* The dosimetry of atomic bomb survivors // *Radiat. Res.* 1983. V. 83. P. 437–447.

- 
227. SIPRI yearbook 1988. World Armament and Disarmament. Stockholm Intern. Peace Research Institute. New York: Oxford University Press, 1989. 538 p.
228. SIPRI yearbook 1989. World Armament and Disarmament. Stockholm Intern. Peace Research Institute. New York: Oxford University Press, 1990. 556 p.
229. Soviet subs in trouble: one more mishap in long series // *Time*. 1989. July, 10. P. 8–9.
230. *Spielberger C.D.* Conceptual and methodological issues in theory and research // *Anxiety current trend in theory and research*. New York, 1972. P. 100–109.
231. *Trabalka J.R., Eyman L.D., Auerbach S.I.* Analysis of lie 1957-1958 Soviet nuclear accident // *Science*. 1980. V. 209, № 4454. P. 345–353.
232. *Trichopoulos D. et al.* The victims of Chernobyl in Creece: induced abortions after the accident // *Brit. Med. J.* 1987. V. 295. P. 1100.
233. *Wagner V., Andrlíkova V., Palek V.* The levels of immunoglobulins (IgG, IgA, IgM) under the effect of age and exposure to the mining environment in uranium industry // *Strahlentherapie*. 1978. Bd.154, H. 6. S. 406–412.
234. World defence almanac: The balance of military power 1988–1989 // *Military technology*. 1989. № 1. 320 p.

## Сведения об авторах



**Пронин Михаил Анатольевич.** Исследователь в области философской, гуманитарной и биоэтической экспертизы последствий применения особо опасных технологий. Специалист в области радиационной медицины, с апреля 1986 г. лично участвует в обследованиях вертолетчиков — ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Разработчик государственной программы ликвидации химического оружия в СССР и России.

Кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник. Майор медицинской службы в запасе. Автор и соавтор более 150 научных трудов, 4 монографий и учебных пособий.

В настоящее время работает в Институте философии РАН в секторе гуманитарных экспертиз и биоэтики, разрабатывает проблематику исследования последствий применения технологий виртуальной реальности и других природоподобных технологий.



**Солдатов Сергей Константинович.** Ученый в области авиакосмической и радиационной медицины, медицины труда специалистов опасных профессий. Доктор медицинских наук, профессор, врач высшей квалификационной категории. Полковник медицинской службы в запасе. Лауреат премии им. Ф.Г. Кроткова Российской академии медицинских наук (2005). Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники (2012).

В разные годы своей научно-практической деятельности занимался проблемами разработки средств, способов и технологий защиты человека от сочетанного воздействия потенциально опасных физических факторов, организации клинико-эпидемиологического наблюдения за состоянием здоровья и медико-социального мониторинга летного состава, участвовавшего в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Автор и соавтор более 200 научных трудов, 4 монографий. В настоящее время работает в Научно-исследовательском испытательном центре авиационно-космической медицины и военной эргономики ЦНИИ ВВС Минобороны России.



Научное издание

*ПРОНИН Михаил Анатольевич  
СОЛДАТОВ Сергей Константинович*

**МАЛЫЕ ДОЗЫ РАДИАЦИИ И ЗДОРОВЬЕ ЛЁТЧИКОВ**

Редактор *Е.И. Ворошилова*  
Оригинал-макет: *И.Г. Андреева*  
Оформление переплета: *А.В. Андросов*

Подписано в печать 17.01.2023. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 16. Тираж 300 экз.  
Заказ №

Издательская фирма «Физико-математическая литература»  
«Наука/Интерпериодика»  
117342, г. Москва, ул. Бултерова, д. 17 Б  
E-mail: [porsova@fml.ru](mailto:porsova@fml.ru), [sale@fml.ru](mailto:sale@fml.ru)  
Сайт: <http://www.fml.ru>  
Интернет-магазин: <http://www.fmllib.ru>

Отпечатано с электронных носителей издательства  
в АО «Первая Образцовая типография»  
Филиал «Чеховский Печатный Двор»  
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1  
Сайт: [www.chpd.ru](http://www.chpd.ru). E-mail: [sales@chpd.ru](mailto:sales@chpd.ru), тел.: 8 (499) 270-73-59

## **ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОЙ И КОСМИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ**



**В монографии представлены новые научные данные по ближайшим и отдаленным воздействиям малых доз радиации на здоровье вертолётчиков – ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции.**