

18+

Сергей Панов

Руководство по радонотерапии: теоретические основы и практическое применение

Сергей Панов

**Руководство по радонотерапии:
теоретические основы
и практическое применение**

«Издательские решения»

Панов С.

Руководство по радонотерапии: теоретические основы
и практическое применение / С. Панов — «Издательские
решения»,

Книга С. Панова «Руководство по радонотерапии: теоретические основы
и практическое применение» — систематизированный обзор одного
из старейших методов бальнеотерапии. Автор прослеживает эволюцию
представлений о биологическом действии радиации, историю радонотерапии
в России и мире, подробно описывает организацию радонотерапии, вопросы
радиационной безопасности, показания и противопоказания к лечению,
а также новые технологии и устройства.

© Панов С.

© Издательские решения

Содержание

Список сокращений	7
Введение	8
1.	10
Первое знакомство	11
«Радийная эра»	12
Радиофобия	15
LNT — Модель	17
Радиационный гормезис	19
2	22
Природный радиационный фон и эволюция	22
Внешнее и внутреннее облучение человека	24
Что же такое радонотерапия по существу?	26
3	30
Радонотерапия до открытия радона	30
Открытие радона	32
Радонотерапия в первые годы после открытия радона	33
История радонотерапии в СССР и России	35
Радонотерапия сегодня	37
Радонотерапия в Западной Европе	37
Конец ознакомительного фрагмента.	39

Руководство по радонотерапии: теоретические основы и практическое применение

Сергей Панов

© Сергей Панов, 2026

ISBN 978-5-0071-4566-4

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero



Панов Сергей Валерьевич — кандидат медицинских наук, ведущий радонотерапевт страны. Ученик академика А. Н. Разумова и профессора И. И. Гусарова построил санаторий «Радон», в котором сегодня применяются все известные виды радонолечения. Автор 14 изобретений, в том числе первых в мире управляемого радонового эманатория и радонариума и монографий «Практическая радонотерапия», «Новые технологии радонотерапии»

Благодарен профессору, д.м. н. Игорю Ивановичу Гусарову — по его работам и в личном общении я осваивал радонотерапию.

Также признателен академику РАН профессору, д.м. н. Александру Николаевичу Разумову: он был соавтором ряда наших исследований, и во многом благодаря его поддержке многие изобретения удалось внедрить в практику.

Отдельное спасибо моему научному руководителю профессору, д.м. н. Александру Михайловичу Шутову за его поддержку и наставничество.

Искренне благодарен также к. м. н. А.В. Дубовскому, А. Ю. Беленичеву, к.т. н. Т.В. Люлькиной, к.м. н. И.Э. Халлиулову, А. В. Аристову и О. М. Панкратовой за помощь в издании этой работы.

#

#

#

#

#

#

#

#

#

ИНФОРМАЦИЯ В ДАННОЙ КНИГЕ НЕ ПРИЗВАНА ЗАМЕНИТЬ УСЛУГИ ВРАЧЕЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ. ВСЕ УТВЕРЖДЕНИЯ НОСЯТ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ХАРАКТЕР. НАСТОЯТЕЛЬНО РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРОКОНСУЛЬТИРОВАТЬСЯ СО СВОИМ ЛЕЧАЩИМ ВРАЧОМ. ЕСТЬ ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ. ТРЕБУЕТСЯ КОНСУЛЬТАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТА.

Список сокращений

АЛПРРР — Автоматическая линия приготовления рабочих растворов радона
АЭС — Атомные электростанции
ДНК — Дезоксирибонуклеиновая кислота
ДПР — Дочерние продукты распада
ЖКТ — Желудочно-кишечный тракт
ЖЦТ — Жизненный цикл товара
ИИ — Ионизирующие излучения
КВК — Кавказские Минеральные Воды
МЛСОР — Многоуровневая логистическая система обеспечения радоном
ООН — Организация Объединенных Наций
ОР — отделение радонотерапии
ПЗРО — Пункт захоронения радиационных отходов
ПРП — Передаточно — распределительный пункт
ПРФ — Природный радиационный фон
ПЭД — Поглощенная эффективная доза
РЛ — Радоновые лаборатории
СЭС — Санитарно-эпидемиологическая станция
УРР — Установка для розлива радона
ЕРА — Environmental Protection Agency
(Агентство по защите окружающей среды)
SCEAR — Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
(Научный комитет по действию атомной радиации)
ICRP — International Commission on Radiological Protection
(Международная комиссия по радиационной защите)
JCAE — Joint Committee on Atomic Energy
(Объединённый комитет по атомной энергии)
FRC — Federal Radiation Council
(Федеральный радиационный совет)
LNT — Linear no-threshold model
(Линейная беспороговая модель)

Введение

Эта книга посвящена радонотерапии — прекрасному методу оздоровления, используемому человечеством на протяжении веков.

Радонотерапия — вид бальнеотерапии, в котором главным лечебным фактором являются излучения радона и его дочерних продуктов. Радиоактивный газ радон, продукт распада радия, окружает человека с самого рождения. Он содержится в воздухе, которым мы дышим, и в воде, которую мы пьем. Человечество эмпирически пользуется радонотерапией уже тысячелетия и лишь совсем недавно (чуть более 100 лет назад) узнало своего лекаря «в лицо»: радон был открыт в 1904 году, и уже через несколько лет обнаружен на многих известных мировых курортах.

Во второй половине XX века в СССР была создана лучшая в мире система организации радонотерапии. Основанная на получении радона вне курортов в радоновых лабораториях, она позволяла создать центр радонолечения в любом населенном пункте и охватить радонотерапией огромное количество населения.

Это стало возможным благодаря изобретению способа получения радона из препаратов радия и созданию генераторов радона, разработке санитарно-гигиенических норм и правил, позволяющих безопасно проводить работы по приготовлению и отпуску радоновых процедур, научным исследованиям по изучению показаний и противопоказаний, а также разработке эффективных методик по применению радонотерапии для лечения различных заболеваний. В 1975 году в СССР функционировало более 250 радоновых лабораторий, содержащих более 600 генераторов радона [45]. Создание кустовых радоновых лабораторий позволило открывать отделения радонолечения в тысячах медицинских учреждений, не имеющих своих лабораторий. В год в стране отпускалось более 10 миллионов радоновых процедур, лечение получали более миллиона пациентов [45].

К сожалению, в начале XXI века эта уникальная система оказалась практически разрушена. В настоящее время на территории РФ функционирует не более 30 радоновых лабораторий, из которых только 3 кустовые (и лаборатории продолжают закрываться); технологиями радонолечения владеют и применяют их в своей практике не более сотни учреждений здравоохранения; лечение получают лишь несколько десятков тысяч человек в год.

Одной из причин нынешнего упадка радонотерапии в России явилась дезинтеграция экономического пространства на территории бывшего СССР после его распада. В Советском Союзе все генераторы радона изготавливались в поселке Улугбек Узбекской ССР. После распада СССР и становления Узбекистана как самостоятельного государства изготовление препаратов радия и, соответственно, поставки их в Россию прекратились (сейчас в некоторых лабораториях еще используются барботеры с жидкой солью радия, изготовленные в Узбекистане до 1990 года). В начале 1990-х годов в Санкт-Петербургском радиовом институте им. В. Г. Хлопина был изобретен твердофазный генератор радона [105]. Несколько десятков таких генераторов было изготовлено для нужд геологии и медицины. Позже несколько аналогичных генераторов произвели и на Красноярском горно-химическом комбинате. Срок их эксплуатации давно истек, новых генераторов в стране в настоящее время не производится.

Другой причиной явилось неумение медицинских учреждений перейти на рыночные отношения. В советские времена генераторы радона поставлялись бесплатно; все вопросы санитарно-гигиенического обеспечения (радиационный контроль, дезактивация, захоронение радиоактивных отходов и пр.) также решались бесплатно; лицензирования деятельности не требовалось. В новых условиях резко возросли расходы на организацию и обеспечение функционирования радонотерапии.

Еще одной проблемой сегодняшней радонотерапии является кадровый дефицит. Для многих руководителей медицинских учреждений радонотерапия — это нечто страшное и непонятное. Персонала, обученного навыкам работы в отделениях радонотерапии, не хватает.

Цель данной работы — систематизировать накопленные научные знания, доказать безопасность и перспективность метода, а также поделиться уникальным практическим опытом по возрождению и модернизации радонотерапии.

В книге последовательно изложены:

- Эволюция научных представлений о действии малых доз радиации и история развития метода;
- Вопросы обеспечения радиационной безопасности персонала и пациентов Центров радонотерапии;
- Современные принципы организации радонотерапии и стандарты лечебного применения;
- Новые технологии, технические устройства и методики лечения, разработанные и введенные автором.

Книга обобщает 20-летний практический опыт компании «Новые технологии», которая построила санаторий «Радон» в г. Ульяновске, две радоновых лаборатории, организовала радонотерапию в 35-ти медицинских учреждениях в 12 регионах страны.

1.

Эволюция представлений о биологическом действии радиации

Первое знакомство

«Радийная эра»

Радиофобия

LNT — Модель

Радиационный гормезис

Человеческое сознание не терпит противоречий. Из имеющихся клочков знаний, не связанных между собой событий, случайных догадок и наблюдений оно выстраивает целостную картину мира, в которой нет противоречий. Сканирование мира и тестирование имеющегося в голове «генерального плана» мироустройства идет в сознании непрерывно. При поступлении новой порции «знаний», противоречащих прежней парадигме, происходит ее переосмысливание и выстраивание новой парадигмы, которая бы объясняла только что полученные «новые знания». Это свойство человеческого сознания в полной мере проявилось в эволюции представлений людей об ионизирующих излучениях и их влиянии на человеческий организм. Здесь были и мистические трактовки невидимых сил («Лучи Бога»), и безудержная экзальтация «радийной эры», и, наконец, иррациональные страхи эпохи радиофобии.

Первое знакомство

Задолго до того, как ионизирующее излучение обрело физическое имя и стало предметом лабораторных исследований, человеческое сознание уже сталкивалось с его эмпирическими проявлениями. Лишенные рецепторного аппарата для непосредственного восприятия радиации, древние люди не могли ее осязать или видеть, однако последствия ее воздействия — необъяснимые исцеления в одних местах и таинственные недомогания в других — были замечены. Стремясь устранить это противоречие, сознание достраивало картину мира, наделяя эти зоны действием сверхъестественных сил — духов, божественных энергий или «лучей».

Священные источники и термальные купальни. Еще в доисторическую эпоху люди замечали целебный эффект некоторых минеральных вод. С развитием цивилизаций эти места становились центрами культов. Римляне, унаследовавшие знания этрусков и греков, строили свои знаменитые термы на выходах термальных вод. Ярчайший пример — курорт Баден-Баден в Германии, основанный на месте римских бань *Civitas Aurelia Aquensis*. Современная геофизика показывает, что многие из этих «священных» источников выходят на тектонических разломах и обладают повышенной концентрацией радона. Древние врачеватели не знали о радоне, но они ощущали мощный терапевтический эффект этих вод при кожных и суставных болезнях. Поскольку наука не давала объяснений, это воспринималось как прямое проявление божественного провидения. Паломничества к таким источникам были актом не столько гигиены, сколько религиозного поклонения — ритуалом очищения «божественной влагой».

Пещеры как «места силы» и обители духов. В каменном веке пещеры активно использовались для ритуалов и захоронений. Сегодня установлено, что многие пещеры в горных массивах характеризуются естественной радиационной аномалией из-за выделения радона из стен и трещин. В замкнутых гротах его концентрация может временно возрасти до уровней, значительно превышающих обычный фон. Находясь в таких полостях, древние люди могли испытывать необъяснимые изменения самочувствия — от легкой эйфории до прилива бодрости. В условиях дефицита знаний этот эффект интерпретировался как «посещение» духов или нахождение в сакральном «месте силы». Устойчивый культ пещер как врат в иной мир, возможно, имеет в своей основе и эту неосознанную реакцию организма на малые дозы ионизирующего облучения.

Тысячелетняя традиция Востока. Наиболее продолжительный и непрерывный опыт эмпирического использования радиоактивных вод демонстрирует Япония. Так, в районе Мисаса целебные источники, эффективность которых сегодня связывают именно с действием радона, почитались и использовались на протяжении около 800 лет. Здесь поклонение не приняло формы агрессивного культа, но стало уважаемой медицинской и духовной традицией, где вода воспринималась как дар природы, восстанавливающий жизненную энергию.

Таким образом, в восприятии радиации человеческая цивилизация прошла путь от благоговейно-религиозного осмысления к научно-рациональному. Изначально эта невидимая сила трактовалась как проявление воли высших существ — карающей или целительной. Однако с развитием науки прежняя парадигма дала трещину: сакральное уступило место физическому. Сознание, избавившись от религиозных догм, тут же впало в другую крайность: раньше поклонялись духам, теперь начали поклоняться самому веществу. Наступила эпоха, которую называют «радийной эрой», и маятник общественного восприятия качнулся от священного трепета к восторгу безудержного потребления.

«Радийная эра»

Сразу скажем, что радонотерапия не имеет никакого отношения к популярному между 1910 и 1940 годами, главным образом, в Европе и США, увлечению применением препаратов радия (именно ему приписывалась целебная сила). После открытия радиоактивности и ее оздоровительных и лечебных эффектов человечеством овладела мода на радиацию. Эксплуатируя сумасшедший спрос, некоторые предприниматели, воспользовавшись ситуацией, выбрасывали на рынок радиоактивные изделия, не заботясь об их эффективности и не изучая возможные риски их применения.

В те годы радий применялся в самых разных сферах (изготовление краски, светящейся в темноте, обогащение удобрений для растений и их семян, приманок для рыб, корма для скота и т.д.). Мы остановимся только на изделиях, имеющих медицинское назначение.

Все продукты, представленные на рынке в эту «радийную¹ эру», можно разделить на три группы:

1. Радиевые и ториевые препараты.
2. Радоновые и тороновые препараты.
3. Псевдо радиоактивные препараты.

Применение изделий **первой группы** было чрезвычайно опасно, так как долгоживущие изотопы, главным образом, радий и торий, попадая в организм, вызывали радиационные поражения и лучевую болезнь.

Применение продуктов **второй группы** с целью оздоровления было оправдано, но, к сожалению, низкое качество изготовления продукции допускало попадание в организм долгоживущих радиоактивных изотопов.

Изделия **третьей группы** были абсолютно бесполезны, так как уровень излучения едва превосходил природный радиационный фон.

Радием импрегнировали одежду, шерстяные изделия для детей и взрослых, постельные принадлежности: подушки, матрасы, одеяла, простыни. В рекламе сообщалось, что это положительно стимулирует клетки кожи.

Продукты питания насыщали радиоактивными изотопами. Мороженое с ураном или радиевый шоколад, «способствующие омоложению», произведенные фабрикой Burk & Braun, можно было приобрести по всей Германии с 1931 по 1936 год. Фирма Hippman-Blach bakery's Radium Bread, расположенная в Санкт-Йоахимстале, выпускала хлеб и крекеры с использованием радиевой воды [219]. Радий добавляли также в чай и кофе [161].

В период с 1918 по 1928 года было известно лекарство «Радитор» («Radithor», производитель Bailey Radium Laboratories, Нью-Джерси, США). «Радитор» — это изотопы радия ^{226}Ra и ^{228}Ra , растворенные в дистиллированной воде. Активность одной порции — 1 микрокюри. Лекарство использовалось в медицинских целях для лечения артрита, ревматизма, рака желудка, психических расстройств и импотенции. Врачи с удовольствием назначали, а аптекари продавали «Радитор», потому, что получали по 17% от стоимости препарата. Продано было, по меньшей мере, 400 000 бутылок по цене 1 доллар каждая, рентабельность бизнеса составляла 400% [206]. Лекарство рекламировали как «Вечное счастье» пока его репутация не была испорчена историей с Эбеном Байерсом. Известный американский промышленник и спортсмен, начал принимать «Радитор» для ускорения заживления перелома руки. Начиная с декабря 1927 года, Байерс в среднем принимал три бутылки в день в течение следующих двух лет. Чувствуя бодрость и тонус, он восхвалял Радитор среди своих друзей, коллег по бизнесу и

¹ Термин взят из книги Rowland R. E. Radium in Humans: A Review of U.S. Studies, 1994 г. p.233.

поил им своих скаковых лошадей. В общей сложности он выпил 1400 бутылок. Умер Байерс в 1932 году от рака нижней челюсти. Его смерть получила широкое освещение в национальной прессе, и вынудило американское правительство ужесточить нормы применения радиоактивных веществ в медицине.

Соли для ванн с эманацией² радия, выпускаемые Дэнвер Радий Сервис (Denver Radium Service) в 1930-е годы, применялись при нервных расстройствах, бессоннице, общей слабости, артрите и ревматизме. В инструкции по приготовлению указывалось: «Высыпьте содержимое в литр горячей воды. Через несколько секунд добавьте к обычному раствору для ванны. Оставайтесь в ванне 45 минут, накрыв ее крышкой. После выхода из ванны расслабьтесь в постели в течение одного часа». Активность соли составляла 4,8 нКи радия ^{226}Ra на грамм. Дэнвер Радий Сервис в 1940-х годах выпускала широкий спектр «этических препаратов радия»: радий-активная эманационная ванна, офтальмологический раствор с хлорадием, внутренний раствор хлорадия, вагинальное желе из хлорадия, хлорадиевые суппозитории, «радиевый прибор», «генератор активатора радия» и мазь Нарада (Narada). Однако фирменным продуктом компании была керамическая банка с расположенным внутри эманатором для производства «оздоровительной воды, заряженной газом радием, в офисе, гостинице, дома или во время путешествия» [206].

Керамические сосуды и кувшины с «Радиевой водой» выпускали в те времена многие компании, например, Радий Хелф Продукт (Radium Health Products), которая имела многочисленные филиалы в США и Канаде. Источником радиоактивности являлся «активатор радия», который был изготовлен путем смешивания урановой руды с цементом. Этот тип активатора (он же эманатор) обычно хранился внутри сосуда, но иногда и поставлялся отдельно. Активность данного активатора невысокая — 14 мкР/час [206].

Компания Ревигатор Радий Ор (Revigator Radium Ore) выпускала несколько версий своего эманатора — Revigator. В корпус Ревигатора добавлялась урановая руда. Мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 фут была от 15 до 80 мкР/час [206].

Радиоактивные суппозитории американской компании Хоум Продукт (Home Products) обещали мужчинам магическое превращение в «настоящего мачо, переполненного радостной жизненной энергией». Суппозитории изготавливали из кокосового масла с добавлением радия. Их вводили в прямую кишку для стимуляции «ослабленных органов, нуждающихся в оживляющей помощи» [206].

Компания Радий Ремедис (Radium Remedies) из Питтсбурга (Пенсильвания, США) с 1920 года выпускала таблетки Radio-X, которые лечили проблемы пищеварения. Каждая таблетка содержала радий с активностью примерно 30 Бк. Кроме того, Радий Ремедис изготавливала «суппозитории, мыло для лица, мазь, крем, заживляющие прокладки, подушечки для лечения зоба и легких, шейные накладочки, наглазники, стельки, стоматологические трубки» под общим брендом Radio-X и трубки для воды Emanation Radio-X [206]. Примерно с 1920 по 1922 год фирма Радий Ремедис управляла санаторием Radio-X, в котором применяли все эти технологии.

Радиоактивная зубная паста Дорамед (Doramad) выпускалась во время Второй мировой войны компанией Ауергеселшафт (AuerGesellschaft) в Берлине. В рекламном сообщении ука-

² Эманация — первый термин, используемый для названия радона (от лат. emanatio — «истечение, распространение»). Эманация — истечение чего-либо откуда-либо, появление чего-либо в результате выделения из чего-либо более сложного. В 1899 году Э. Резерфорд заметил, что радиоактивность препаратов тория колеблется во времени. Он предположил, что торий кроме альфа-частиц испускает какое-то неизвестное радиоактивное вещество, предложил назвать его эманацией и дать ему символ Em. Позже обнаружилось, что и препараты радия, и препараты актиния испускают некие эманации. Эманацию тория называли торонем, эманацию радия — радоном, а эманацию актиния — актиноном. В дальнейшем было доказано, что все эманации представляют собой изотопы нового элемента — инертного газа с атомным номером 86. Выделившие его в чистом виде в 1908 году У. Рамзай и Р. Уитлоу-Грей предложили назвать его нитон («свещающийся»). В 1923 году элемент получил свое окончательное название «радон» и символ Em был заменен на Rn.

зывалось, что радиоактивность пасты «Дорамед» — это «...блеск и сияние ваших зубов. Ее радиоактивное излучение повышает защитные силы зубов и десен. Клетки заряжаются новой жизненной энергией, разрушающее действие бактерий тормозится. Это объясняет отличную профилактику и процесс заживления при заболеваниях десен. Паста мягко полирует зубную эмаль, так что она становится белой и блестящей. Предотвращает образование зубного камня». Гамма-спектрометрический анализ действительно выявил следовые количества тория в пасте, но уровни слишком низкие, чтобы можно было ожидать какого-то действия [206].

Ярким примером использования радиоактивных компонентов в косметологии является французская компания «То-Радиа» (Tho-Radia). Как следует из названия, главными ингредиентами продукции были радиоактивные радий и торий. Компания выпускала широкую линейку продуктов: крема, лосьоны, пудру, мыло, румяна, губную помаду. В 1932 году крем «Tho-Radia» содержал 0,233 мкг бромида радия и 0,5 г хлорида тория; в состав пудры «Tho-Radia» входили 0,01 мкг бромида радия, 0,1 г сульфата тория, 4 г оксида титана. Многие другие продукты «Tho-Radia» содержали торий и не содержали радий [206]. В 1937 году, когда французское правительство ввело значительные ограничения на продажу продуктов, содержащих торий и радий, компания прекратила использование этих ингредиентов. Однако, хотя продукция компании было дорогой, она по-прежнему пользовалась большим спросом вплоть до конца 1950-х. Жертв облучения продуктами «Tho-Radia» не выявлено.

Кроме наружного и внутреннего (питье) применения использовались и внутривенные инфузии радиоактивных препаратов. Известна история «самого радиоактивного человека» Альберта Стивенса. Весной 1945 года у 59-летнего маляра из Калифорнии диагностировали запущенный рак желудка. Ему сделали инъекцию смеси изотопов плутония (0,2 микрограммов ^{238}Pu и 0,75 микрограммов ^{239}Pu); доза облучения многократно превышала смертельную для человека. К удивлению, ученых, Стивенс не умер ни в первые часы после эксперимента, ни в первые дни. Он умер через 20 лет в возрасте 79 лет от сердечного приступа. В своем теле он накопил дозу 6400 бэр (64 Зиверта); допустимая ежегодная доза для населения в настоящее время 0,005 Зв [134].

Использование для лечения инъекций растворов радия, мезотория, тория X, питье радиевой воды, применение радийсодержащих ванн вскоре было прекращено в связи с обнаружением высокой токсичности этих радиоактивных изотопов [45, 131].

Трагические смерти Эбена Байерса, девушек, занятых на производствах часов³ и другие жертвы «радийной эры» не остановили спрос на все радиоактивное и не отпугнули потребителей и производителей этих товаров. Лишь после бомбардировок Хиросимы и Нагасаки и обнародования их последствий это безумное увлечение прекратилось. А после аварии на Чернобыльской АЭС маятник общественного мнения качнулся в противоположную сторону — появился страх перед радиацией.

³ «Радиевыми девушками» (Radium Girls) называли женщин, работавших в американской корпорации United States Radium Corporation в Нью-Джерси. Они окрашивали стрелки циферблатов часов радиолюминисцентной краской. Не предупрежденные руководством компании о вредности радия, содержащегося в краске, девушки облизывали кончики кистей для восстановления их формы. Ради забавы они также красили ногти, губы и зубы светящимся в темноте веществом. Многие из работниц фабрики стали позже страдать от анемии, частых переломов костей и некроза нижней челюсти. В результате судебного процесса и его широкого освещения СМИ в США, а затем и в других странах были приняты стандарты, регулирующие охрану труда в сферах опасного производства.

Радиофобия

С самого начала изучения радиоактивности исследователи столкнулись с ее отрицательными эффектами. В 1895 году помощник Рентгена В. Груббе получил радиационный ожог рук при работе с рентгеновскими лучами, а открывший радиоактивность французский ученый А. Беккерель получил сильный ожог кожи от излучения радия. М. Кюри, которая долгие годы работала без защиты с препаратами радия, погибла от апластической анемии. По мере изучения свойств радиоактивных изотопов накапливались данные о повреждающих эффектах высоких доз радиации. Атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки в 1945 году вызвали у людей шок масштабами разрушений и числом жертв, а случившиеся позже аварии на Чернобыльской (1986 г.) и Фукусимской (2011 г.) атомных электростанциях, усилили страх перед радиацией.

Человек, как и другие живые существа на Земле, лишен рецепторного аппарата, реагирующего на ионизирующие излучения. Отсутствие соответствующего органа чувств приводит к тому, что человек не может контролировать этот природный фактор, гипертрофирует возможную опасность и переживает экзистенциальные страхи.

Однако, радиофобия — преувеличенная боязнь радиоактивного поражения [82] — поразившая общество, несопоставима с реальными фактами воздействия ионизирующих излучений на организм человека. Распространению радиофобии, напоминающей истерию, современное общество обязано недобросовестным ученым, деятельности антиядерных и, разного рода, экоактивистов, «зеленых», а также СМИ, ориентированным на всякого рода сенсации. Клаус Беккер называет радиофобию серьезным, но излечимым психическим расстройством [160].

Приведем несколько реальных фактов воздействия ионизирующих излучений на человека. Как отмечено в докладе Научного комитета по действию атомной радиации ООН в 2000 году, ни одного случая острой лучевой болезни среди ликвидаторов в Чернобыле, то есть тех людей, которые участвовали в ликвидации аварии в течение двух лет (1986—1987 гг.), и населения, проживающего в так называемой чернобыльской зоне, — зафиксировано не было [18].

По данным МАГАТЭ за период с 1945 по 2011 год произошло 99 крупных аварий на ядерных объектах; общее число жертв составляет порядка 340 человек, в том числе в Чернобыле — 31 человек, в Фукусиме — 3 человека. Крупнейшими же по количеству жертв являются Каштымская («Маяк», Челябинск-40, СССР), 200 погибших, и Селлафилдская (Камбрия, Англия), 240 погибших, аварии [217].

Это несопоставимо с жертвами других техногенных катастроф. Так, взрыв на химзаводе американской компании «Юнион Карбид» (Union Carbide) в Бхопале (Индия) в декабре 1984 года унёс жизни 160 тысяч человек, трагедия на дамбе Баньцяо (Китай) в августе 1975 года — 171 тысяча погибших.

Ежегодно во всем мире погибает около 12 тысяч шахтеров [222], а в автоавариях на дорогах мира — порядка 1,4 млн человек [218]. Однако ионизирующие излучения вызывают у людей больший страх, чем автобусы или грузовики.

Если в период «радийной эры» человечество поплатилось за свою беспечность в увлечении неизученным до конца физическим фактором, то и радиофобия имеет серьезные последствия для общества: отказ ряда стран от безопасной и экономичной ядерной энергии, траты на ненужные и очень дорогие программы защиты жилых и промышленных зданий от радона, отказ тяжелобольных пациентов от методов лучевой диагностики и лечения, часто приводящий их к преждевременной смерти. Страх общества перед радиацией поощряет террористов к созданию и последующему шантажу «грязными бомбами» (боеприпасами, основным поражающим элементом которого являются радиоактивные вещества, приводящие к заражению местности и облучению людей).

Радиофобия навредила и радонотерапии: необоснованный страх перед радиацией привел к снижению приверженности пациентов радонолечению, падению спроса и, связанному с этим, закрытию части радонолечебниц и радоновых лабораторий.

Современные представления о влиянии на живые организмы малых доз радиоактивного излучения

В современной радиобиологии сосуществуют два принципиально противоположных подхода в оценке влияния на биоту малых доз радиации: линейная беспороговая модель и концепция радиационного гормезиса. Согласно первому — проблемы малых доз не существует и все закономерности больших доз можно экстраполировать на малые. Согласно второму — малые дозы по эффекту принципиально отличаются от больших.

Все биологические эффекты и последствия действия ионизирующих излучений на человека разделяют на два класса: детерминированные и стохастические. (Разделение это, на наш взгляд, искусственное, и обусловлено недостатком накопленных и обобщенных наблюдений. С ростом их числа отдельные стохастические эффекты будут переходить в разряд детерминированных: для каждого повреждения будет определена, вызывающая его доза облучения).

Детерминированные эффекты — это явные, клинически значимые поражения: острая или хроническая лучевая болезнь, лучевые ожоги, катаракта хрусталика, нарушения кроветворения и др. Эти эффекты возникают при кратковременном действии больших доз радиации. Например, при взрывах в Хиросиме и Нагасаки поражающая доза гамма — облучения людей в несколько Грей (Гр), была реализована в течение миллионных долей секунды. Главным свойством детерминированных эффектов является их пороговый характер, т.е., для возникновения той или иной болезни необходимо достижение определенной пороговой дозы, ниже которой эта болезнь не состоится. Степень тяжести детерминированных эффектов зависит от поглощенной дозы: чем больше доза, тем более выражены повреждения. Например, при местном облучении для развития кожной эритемы достаточно облучения 3 — 5 Гр, а для гибели клеток дермы и развития некроза кожи необходимо 50 Гр.

При общем гамма — облучении человека в дозе 1 Гр — острая лучевая болезнь не наступит и смертельные исходы исключены. При дозах 3—5 Гр наступит повреждение стволовых клеток костного мозга, кроветворная функция будет нарушена и половина облученных людей погибнет в течение 60 суток. При дозах 5—15 Гр возникает «кишечная форма» острой лучевой болезни (из-за гибели стволовых клеток ЖКТ) и 50% людей погибнет через 10—20 суток. При дозах свыше 15 Гр наступает «церебральная форма» острой лучевой болезни, и летальный исход всех облученных наступает в течение 5 суток [70].

Второй класс последствий радиационного воздействия — **стохастические** (случайные) эффекты. В отличие от детерминированных эффектов, для которых доказан дозовый порог, для стохастических последствий облучения дозовый порог не доказан. К стохастическим эффектам относят, например, возникновение злокачественных опухолей или развитие генных мутаций. Концепция (точнее, рабочая гипотеза) беспорогового действия ионизирующих излучений постулирует линейную зависимость биологических эффектов от дозы облучения [70]. Согласно этой гипотезе, реализация стохастических эффектов теоретически возможна при сколь угодно малой дозе облучения вплоть до значений, практически не отличающихся от нуля; и вероятность события тем меньше, чем меньше полученная доза.

LNT — Модель

Линейная зависимость эффекта от дозы (Модель LNT) была принята в качестве рабочей гипотезы Научным комитетом по действию атомной радиации ООН (UN SCEAR) и Международной комиссией по радиационной защите (ICRP) для обоснования принципов и методов регламентации малых доз облучения. В 1958 году UN SCEAR провел оценку модели LNT и отметил трудность получения «надежной информации о корреляции между малыми дозами и их воздействием на отдельных людей и большие группы населения». Объединенный комитет США по атомной энергии (JCAE) также не установил, есть ли «порог» или «безопасный уровень» радиации для человека и ввел понятие о «разумно достижимом низком уровне» (ALARA), который станет в будущем фундаментальным принципом радиационной защиты. В 1959 году Федеральный радиационный совет США (FRC) в своем первом отчете поддержал экстраполяцию LNT в области малых доз. Отмечалось, что, «несмотря на то, что зависимость доза-эффект для рентгеновских и гамма-лучей не может быть линейной функцией, **использование линейной экстраполяции может быть оправдано с прагматической точки зрения**, как основа для оценки риска». К 1970 году модель LNT стала стандартом радиационной защиты для большинства стран и организаций.

Как уже указывалось выше, эта модель считает правомерной экстраполяцию эффектов от действия больших доз ионизирующего излучения на живые организмы на малые дозы. При расчетах рисков развития тех или иных последствий облучений используется понятие коллективной дозы. Пример таких расчетов приводят Ильин Л. А. и др. [70]. Одна группа людей численностью 1 млн. человек облучена в средней эффективной индивидуальной дозе 0,001 Зв, а другая группа, численностью 10000 в дозе 0,1 Зв. Коллективные дозы в обоих случаях окажутся одинаковыми (1000 чел.-Зв), а, следовательно, как утверждает беспороговая гипотеза, одинаковым окажется и количество индуцированных излучением случаев рака. Следовательно, в рамках этой концепции конечный демографический прогноз заболеваемости будет абсолютно идентичным для обеих групп, вопреки очевидной разнице в реальных биологических рисках для каждого конкретного человека.

Модель LNT всегда оспаривалась рядом ученых. Многие исследователи считают, что для всех стохастических эффектов существует свой порог. Вредное действие ионизирующего излучения начинает проявляться после его превышения. Для обоснования концепции выдвигаются не только теоретические соображения, но и материалы эпидемиологических наблюдений и экспериментальных исследований.

Так, Г. М. Матаноский (G. M. Matanoski) [163, 167] сравнил коэффициенты смертности среди работников судостроительных верфей, получивших за время работы дозы порядка 50 мЗв, и работников, не подвергшихся повышенному облучению. В группе облучившихся частота смертности от всех смертей была значительно ниже (0,76 против 1,00 в контрольной группе). Аналогичные результаты получены при мониторинге работников ядерных производств США. Коэффициент их смертности составил 0,68 от среднего по США. По этим исследованиям видно, что тотальное внешнее облучение человека в низких дозах снижает смертность и увеличивает среднюю продолжительность жизни.

Более 100 тысяч мужчин и женщин, переживших атомную бомбардировку в Хиросиме и Нагасаки и облученных в дозах 31—40 сантигрей (сГр), обнаружили значительно меньшую смертность, чем необлученные. У мужчин этот показатель составлял 0,62, у женщин — 0,85 (в контрольной группе — 1,00) [201]. При анализе частоты смертности от всех видов рака у людей, переживших атомную бомбардировку, было обнаружено достоверное уменьшение смертности при малых дозах облучения от рака прямой кишки, рака легкого, рака молочной железы и от лейкемии [187].

Еще более убедительные данные о мощном антиканцерогенном действии хронического тотального облучения получены при наблюдении за 1000 жителями Тайваня [193]. Люди жили в домах, при строительстве которых были использованы детали металлических конструкций, содержащие радиоактивный кобальт Co_{60} (гамма-излучатель), и получили в среднем 33 сЗв (330мЗв) за 10—16 лет. Число всех злокачественных новообразований у них составило 5% по сравнению с контрольной популяцией, то есть было в 20 раз меньше.

Представленные данные и множество других исследований свидетельствуют о явном благоприятном действии низких уровней однократного и хронического радиоактивного облучения. Лучевое воздействие на млекопитающих и человека в дозах, превышающих уровни природного излучения в десятки — тысячи раз, не вызвало вредных последствий. «Точная оценка величины доз, вызывающих только благоприятные эффекты, вероятно, выше, чем 10 сГр, и ниже, чем 250 сГр суммарно за жизнь. Эти величины можно считать порогом, хотя в ряде случаев пожизненные дозы с благоприятным эффектом достигали 1000 сГр...» [30]. Профессор ядерной медицины из Калифорнийского университета в Лос-Анжелесе Кэрол Маркус прямо называет модель LNT «научной чепухой».

Одним из первых Линейную беспороговую модель поддержал Герман Джозеф Мюллер (Herman Joseph Muller), получивший Нобелевскую премию 1946 г. за открытие мутагенеза дрозофил под действием рентгеновского излучения. Эдвард Калабрезе (Edward J Calabrese) в статье «Нобелевская лекция Мюллера: когда идеология возобладаала над наукой» [172] обвиняет Германа Мюллера в том, что он «сознательно сделал вводящие в заблуждение комментарии, касающиеся реакции... на дозу». «Поддерживая точку зрения линейности, Мюллер заявил, что „нет никакого порога“, в то время как уже был знаком с результатами недавнего исследования Эрнста Каспари и Курта Стерна, противоречащими этой концепции» [172]. «Эти выводы имеют историческое и практическое значение, — продолжает Э. Калабрезе, — поскольку комментарии Мюллера были заметным фактором, изменившим способ оценки рисков для канцерогенов (то есть переход от пороговой к линейной модели) на протяжении всего XX-го века до настоящего времени». Распространение модели LNT усилило в обществе иррациональный страх перед радиацией.

Радиационный гормезис

Противоположный подход предлагает концепция радиационного гормезиса. Термин «гормезис» был введен в употребление С. Зонтманом и

Д. Эрлихом в 1943 году [209]. Гормезис (от греч. *hórmēsis* — *быстрое движение, стремление*) — стимуляция какой-либо системы организма внешними факторами, имеющими силу, недостаточную для проявления вредного действия. Стимулирующие гормезис факторы инициируют адаптивную стресс-реакцию, формирующую устойчивость клетки и организма в целом к высоким дозам того же фактора (которые в обычных условиях были бы губительны).

В основе гормезиса лежит основной биологический закон Арндта-Шульца — закономерность отклика живых систем на раздражители различной силы. Слабые раздражители стимулируют работу живых систем (клеток, тканей, органов и организмов в целом), средние — поддерживают, сильные — тормозят, очень сильные — разрушают. В СССР этот же принцип был сформулирован в «Научном открытии №158» от 3 октября 1969 г. «Закономерность развития общих неспецифических адаптационных реакций организма» (Авторы Гаркави Л. Х., Уколова М. А., Квакина Е. Б.) [38].

Характерным примером гормезиса является, например, ишемическое прекондиционирование — ситуация, когда кратковременные эпизоды ишемии защищают сердце и мозг от последующего более сильного и продолжительного снижения поступления кислорода и питательных веществ [198].

Термин **радиационный гормезис** был предложен в 1980 году

Т. Д. Лакки [195] и означает благоприятное воздействие ультрамалых доз облучения. Малые дозы ионизирующего излучения не вызывают гибель отдельной клетки или всего организма, не способствуют злокачественному перерождению клеток и росту опухолей, а, наоборот, снижают риск развития опухолей, ведут к увеличению продолжительности жизни и плодовитости живых существ.

Гормезис — эволюционно сформированный механизм, присущий всему живому. В течение своей жизни организмы постоянно подвергаются воздействию различных повреждающих факторов физической, химической и биологической природы. Это ультрафиолетовое, электромагнитное и ионизирующее излучения, химические вещества, перепады температуры, акустические удары, агрессивные воздействия других живых организмов. Кроме того, в процессе жизнедеятельности организма в его внутренней среде постоянно образуются токсические продукты метаболизма. Несмотря на разный характер, все эти воздействия приводят, в конечном итоге, к образованию в клетках свободных радикалов, повреждающих клеточные структуры.

В обычных условиях жизнедеятельности, то есть, в условиях постоянного влияния переносимых факторов внешней и внутренней среды, в каждой клетке должно образовываться в среднем 1.000.000.000 свободных радикалов [26, 30]. Каждый из них может вызвать повреждение ДНК. Учитывая, что диплоидный геном млекопитающих содержит не более $6 \times 1.000.000.000$ нуклеотидов [40], через неделю все гены каждой клетки должны были бы быть повреждены. На самом деле у клетки есть много механизмов защиты, выработанных в процессе эволюции. Антиоксидантный щит организма (совокупность ферментов, витаминов и микроэлементов) подавляет часть образовавшихся радикалов, в результате их ежедневное количество снижается в тысячи раз, примерно до 1.000.000. Репаративные процессы в клетке устраняют большинство образовавшихся повреждений так, что их число снижается до 100 на одну клетку в день. Клетки, ДНК которых не поддались репарации, подвергаются элиминации (уничтожению) посредством апоптоза (самоустранение поврежденной клетки) или иммунитета. В результате, по оценкам исследователей [26, 30], количество реальных повреждений снижается, до одного на клетку в день.

Все эти сложные многоуровневые защитные системы работают в живом организме постоянно, однако при некоторых условиях способны резко активизироваться.

Предложено несколько моделей, объясняющих механизм радиационного гормезиса. Одной из них, опубликованной в 2003 году, является модель М. Полякова и Л. Финидегана (Pollycove M., Feinendegen L.E.) [203]. Согласно этой модели, система гормезиса обеспечивается четырьмя основными элементами.

1. Стимуляция системы клеточной детоксикации (удаление токсических продуктов из клеток).

В сложную **антиоксидантную систему организма** входят ферменты, витамины и низкомолекулярные соединения. К основным ферментам, обеспечивающим антиоксидантную защиту, относятся: супероксиддисмутаза, каталаза и пероксидаза. С их помощью организм человека связывает и расщепляет молекулы перекиси водорода и молекулярного кислорода. Витамины А, Е, С и бета-каротин, а также некоторые олигоэлементы (цинк, селен) способны вмешиваться в механизмы защиты от метаболитов активного кислорода. Кроме того, антиоксидантной активностью обладают стероидные гормоны, билирубин, церрулоплазмин, трансферин, альбумин и некоторые другие белки.

2. Активация систем репарации ДНК, защищающих геном от хромосомных aberrаций.

Репарация — способность клеток исправлять химические повреждения и разрывы в молекулах ДНК. **Прямая репарация** — наиболее простой путь устранения повреждений в ДНК, в котором обычно задействованы специфические ферменты, способные быстро (как правило, в одну стадию) устранять соответствующее повреждение, восстанавливая исходную структуру нуклеотидов. **Эксцизионная репарация** (англ. excision — вырезание) включает удаление поврежденных азотистых оснований из ДНК и последующее восстановление нормальной структуры молекулы. **Пострепликативная репарация** — тип репарации, происходящей, когда процесс эксцизионной репарации недостаточен для полного исправления повреждения и образуемые бреши заполняются при помощи особого белка RecA. Существуют и другие системы репарации ДНК.

3. Активация иммунитета (путем возрастания числа лимфоцитов) и уничтожение критически поврежденных клеток извне.

Иммунитет (лат. *Immunitas* — освобождение, избавление от чего-либо) — невосприимчивость, сопротивляемость организма к инфекциям и инвазиям чужеродных организмов (в том числе болезнетворных микробов), а также воздействию чужеродных веществ, обладающих антигенными свойствами. Иммунные реакции возникают и на собственные клетки организма, измененные в антигенном отношении. Иммунитет обеспечивает гомеостаз (постоянство) организма на клеточном и молекулярном уровне организации. Реализуется иммунной системой.

4. Апоптоз (самоуничтожение) критически поврежденных клеток и замена их здоровыми.

Апоптоз (по древнегреч. — опадание листьев) — программируемая клеточная смерть, регулируемый процесс самоликвидации на клеточном уровне, в результате которого клетка фрагментируется на отдельные тельца. Фрагменты погибшей клетки обычно очень быстро (в среднем за 90 мин фагоцитируются (захватываются и перевариваются) другими клетками. Одной из основных функций апоптоза является уничтожение дефектных (поврежденных, мутантных, инфицированных) клеток. Апоптоз наблюдается как у одноклеточных простейших, так и у высших организмов. Термин «апоптоз» был впервые употреблен в 1972 году в работе британских ученых Дж. Керра, Э. Уайли и А. Керри [184].

В организме среднестатистического взрослого человека в результате апоптоза погибает ежедневно порядка 50—70 миллиардов клеток. Суммарная масса клеток, которые на протяжении 1 года жизни подвергаются разрушению, эквивалентна массе тела человека. При этом

восполнение утраченных клеток обеспечивается за счет пролиферации — увеличения клеточной популяции путем деления.

2

Что такое радонотерапия? *Природный радиационный фон и эволюция* *Внешнее и внутреннее облучение человека* **Что такое радонотерапия?**

Природный радиационный фон и эволюция

Мы живем в радиоактивном мире. Почти все химические элементы, из которых строится Вселенная, имеют радиоактивные изотопы. Их атомные ядра слишком тяжелые для стабильности и распадаются, испуская элементарные частицы и электромагнитные излучения. Интенсивность распада разных элементов значительно различается: от долей микросекунд до миллиардов лет⁴. В любой точке планеты каждое живое существо всю свою жизнь находится под воздействием радиации. Радиоактивно все, что нас окружает: вода, еда, воздух, да и само наше тело радиоактивно. Доза облучения от природных источников носит название **природного, или естественного, радиационного фона**. Основоположником учения о Природном радиационном фоне (ПРФ) был В. И. Вернадский. Радиоактивные элементы возникли на Земле задолго до появления на ней живых существ. Все организмы, включая человека, с самого их зарождения непрерывно подвергались воздействию природного радиационного фона и, поэтому, на протяжении своего длительного развития сумели приспособиться к воздействию радиации в определенном диапазоне доз. Ионизирующие излучения оказывали и оказывают прямое влияние на эволюцию живых организмов. Природный радиационный фон на планете меняется с течением времени и за 4,5 миллиарда лет существования Земли снизился примерно в 10 раз [144]. Но этот процесс не был равномерным. Как установил С. Г. Неручев⁵, тектонические и геологические циклы Земли порождали целые эпохи аномального обогащения ураном суши и вод Мирового океана [121]. Такие всплески радиоактивности резко меняли привычный ход эволюции: они провоцировали лавинообразный рост мутаций у живых организмов, выступая одновременно и как фактор массового вымирания, и как мощнейший катализатор видообразования.

Небольшие дозы радиации оказывают стимулирующее действие на размножение и развитие простейших организмов, поэтому начало эпохи уранонакопления знаменовалось усиленным размножением фито- и зоопланктона, увеличением биомассы Океана [79]. Неравномерные периоды роста радиоактивного фона на Земле приводили к неравномерности развития органического мира. Меняющийся радиоактивный фон нашей планеты влиял на возникновение новых форм жизни, на интенсификацию процессов видообразования фауны и флоры. Дли-

⁴ Одной из основных характеристик радиоактивного нуклида является период полураспада — промежуток времени, в течение которого распадается половина ядер радионуклида (измеряется только период полураспада, т.к. полного распада не происходит). Этот показатель разный у разных изотопов. Период полураспада одного из изотопов Лития (Li_5) настолько мал ($4,4 \times 10^{-22}$ секунды), что не все ученые признают его существование; период полураспада Теллура (Te_{128}) — $2,2 \times 10^{24}$ лет, в сотни миллиардов раз больше времени, чем существует Вселенная.

⁵ Профессор Сергей Георгиевич Неручев (советский и российский геолог) разработал концепцию «**урановой катастрофы**». Он доказал, что эпохи максимального накопления урана в осадочных породах (например, на рубеже кембрия и ордовика, перми и триаса) удивительным образом совпадают с глобальными экологическими кризисами и вымиранием фауны. Высокая радиация в эти периоды заставляла живые организмы мутировать с бешеной скоростью, что определяло дальнейшие этапы развития жизни на Земле.

тельное нахождение организмов в среде с повышенной радиоактивностью приводило к появлению новых радиоустойчивых форм жизни [69, 76]. В периоды повышенной радиоактивности происходило массовое вымирание радиочувствительных видов и их замещение радиоустойчивыми видами, которые постепенно завоевывали новые ареалы жизнеобитания. ПРФ внес весомый вклад в эволюции биосферы Земли [80, 149].

Внешнее и внутреннее облучение человека

Природный радиационный фон обусловлен источниками облучения, находящимися как вне, так и внутри человека [19]. **Источниками внешнего облучения человека** являются космические лучи и радиоактивные вещества, содержащиеся в воздухе, воде, почве, горных породах, строительных материалах. Эти радиоактивные вещества испускают три основных вида радиоактивных излучений: альфа-, бета- и гамма. Главную роль во внешнем облучении играет гамма-излучение, т.к. альфа- и бета-излучения обладают малой проникающей способностью и, большей частью, поглощаются воздухом, одеждой, стенами жилищ. География местонахождения и время года имеют значение: над уровнем моря радиации меньше, над горными породами — больше; зимой — меньше, чем летом (слой снега в 30 см снижает интенсивность гамма-излучения вдвое) [95]. За счет космических лучей для местности, расположенной в средних широтах, доза радиации составляет около 0,5 мЗв в год на уровне моря, значительно возрастая с высотой. На высоте 1 км над уровнем моря она возрастает до 0,9 мЗв в год, а на высоте 5 км — 8 мЗв в год [68, 133].

Источниками внутреннего облучения являются радиоактивные изотопы, входящие в состав нашего тела: Углерод-14, равномерно распределенный по организму, Калий-40, содержащийся, в основном, в нервной и мышечной ткани, Радий-226 и Торий-232, откладывающиеся в костной ткани, а также, незначительно, Уран-235, Уран-238, Рубидий-87, Полоний-210. Однако, наибольший вклад в мощность дозы внутреннего облучения (около 60%) дает вдыхаемый радон-222 и продукты его распада, накапливающиеся в дыхательных путях.

Как радионуклиды попадают в наш организм?

Радон и его ДПР, как уже сказано, попадают в организм при дыхании. Калий-40 из почвы через корневую систему поступает в растения и затем с растительной пищей попадает в организм животных и человека. Рубидий-87, накапливается в некоторых растениях (1 л виноградного сока содержит 1 мг рубидия). Полоний-210 и свинец-210 кроме корневой системы попадают в растения через листья с дождевой влагой. Свинец-210 наиболее сильно аккумулируется лишайниками (содержание в 50 раз выше, чем в высших растениях) и мхами (в 20—30 раз выше); мясо оленей отличается высокой концентрацией этих радионуклидов [121]. В организме коренных жителей районов Крайнего Севера РФ, Скандинавии, США и Канады концентрация свинца-210 и полония-210 в 2—12 раз выше, чем у жителей Западной Европы [124, 154]. При возрастании доли морепродуктов в рационе питания (как, например, в Японии) поступление свинца и полония в организм человека также существенно повышается [118]. Лучшими аккумуляторами урана среди растений являются мхи. Население Западной Австралии, проживающее в районах с повышенной концентрацией урана и питающееся мясом овец и кенгуру, получает дозы, в 75 раз превосходящие средний уровень [118, 154].

Вклад внутреннего облучения организма (1,34 мЗв/год) в мощность общей эффективной эквивалентной дозы примерно в 2 раза превышает вклад внешнего облучения (0,65 мЗв/год).

Для населения умеренных широт годовая эффективная эквивалентная доза равна примерно **2,2 мЗв/год**. Но на Земле есть области, где уровень естественной радиации существенно превышает средние значения. Так, жители бразильского города Гуапари получают 175 мЗв/год, а жители бразильского же Посус-ди-Калдас — 250 мЗв/год. В Иране, близ города Рамсер, уровни радиации достигают 400 мЗв/год [121]. Известны места с аномально высоким уровнем ионизирующего излучения во Франции, Нигерии, России, на Мадагаскаре [80, 81].

Итак, все живые организмы всю свою жизнь постоянно подвергаются радиоактивному облучению. Радиация оказывает на живую материю повреждающее действие. Атомы и молекулы вещества, при прохождении через них радиации, ионизируются: образуются положительно и отрицательно заряженные ионы, и свободные электроны. Клетки на 70—90% состоят

из воды, поэтому косвенное действие (поражение биологических структур продуктами радиолиза воды) более весомо, чем прямое действие (непосредственное повреждение клеточных структур ионизирующими излучениями).

Организмы, находясь в процессе своей эволюции под постоянным воздействием ионизирующих излучений (ИИ), выработали многоуровневую систему защиты, основными элементами которой являются **детоксикация** (удаление токсических продуктов из клеток), **репарация** (восстановление поврежденных клеточных структур), **иммунитет** (уничтожение критически поврежденных клеток клетками иммунной системы), **апоптоз** (самоуничтожение критически поврежденных клеток). Эта система защиты активируется при значимом превышении природного радиационного фона над привычным для данного организма уровнем.

Что же такое радонотерапия по существу?

Радонотерапией называют методы физиобальнеолечения, при которых лечебный эффект достигается за счет воздействия на организм излучений радона и его дочерних продуктов. Это совокупность различных процедур с разной концентрацией радона и разной экспозицией.

Среди радоновых процедур выделяют водные и воздушные радоновые ванны, радоновые ингаляции, различные орошения, местные аппликации и прием раствора радона внутрь. При этом, при различных процедурах преимущественному облучению подвергаются разные ткани организма, а их радиочувствительность неодинакова. Концентрация (активность) радона в лечебных средах различается в широких пределах и зависит от его концентрации в природных факторах курорта (если это курортная радонотерапия) или применяющимся в данном медицинском учреждении методикам (если это радонотерапия вне курорта). Время процедуры также различно.

Разберем все эти факторы подробнее.

1. Ионизирующие излучения, выделяющиеся при распаде радона и его дочерних продуктов.

На рис. 1 представлена схема распада радона и его дочерних продуктов.

Процедура радонотерапии длится от 15 минут до 60 минут (кроме аппликаций, которые могут накладываться на 3 часа), поэтому, кроме самого радона, нас интересует распад еще четырех его дочерних продуктов: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi и ^{214}Po , чей период полураспада составляет 3 мин, 27 мин, 19,7 мин и 164 мсек, соответственно. Период полураспада свинца ^{210}Pb составляет 19,4 года, и его дочерние продукты практически не влияют на облучение организма при радонотерапевтической процедуре.

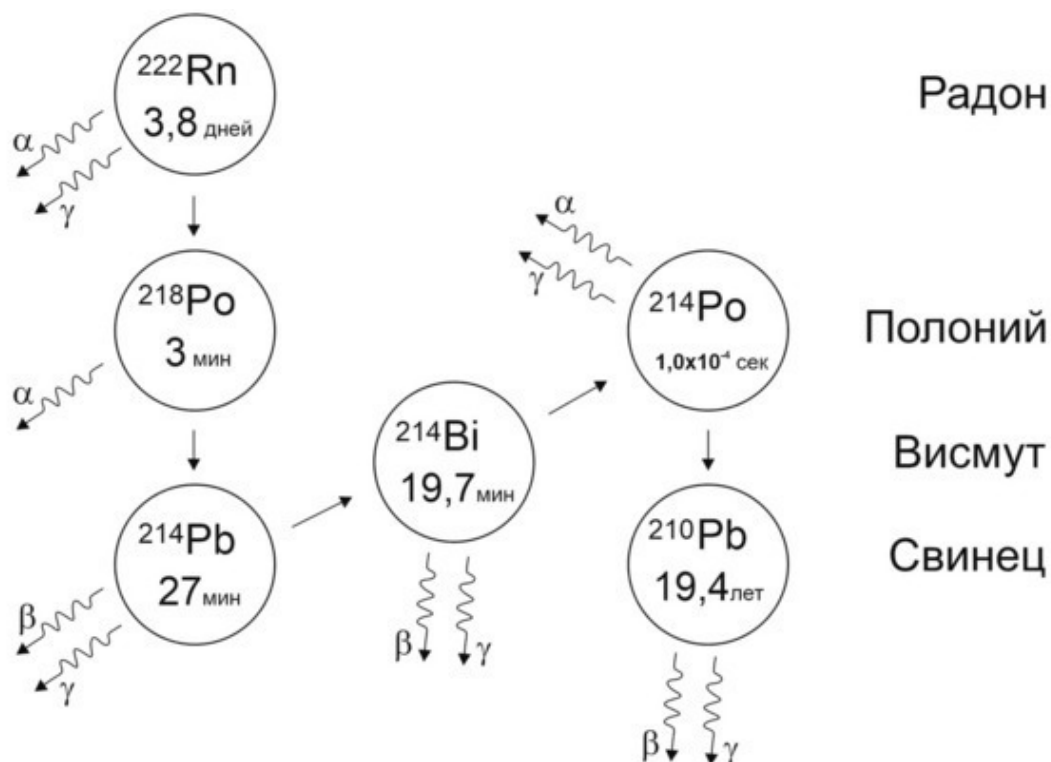


Рис. 1. Схема радиоактивного распада радона и его ДПР.

Как видим, распад сопровождается альфа-, бета- и гамма-излучением.

Все эти излучения относятся к **ионизирующим**, т.к. они меняют физическое состояние атомов, превращая их в электрически заряженные ионы. Чем выше способность частицы вызывать ионизацию, тем больше частица теряет энергии, при прохождении через вещество, и тем меньшее расстояние она проходит. Т.е., чем больше ионизирующая способность излучения, тем меньше его проникающая способность.

Альфа-излучение — корпускулярное излучение, состоящее из положительно заряженных альфа-частиц (ядер гелия ^4He). Длина пробега альфа-частицы в воде или в мягких тканях животных и человека — сотые доли миллиметра.

Бета-излучение — корпускулярное излучение, состоящее из отрицательно заряженных электронов (бета-частицы). Плотность ионизации на единицу пробега у них в сотни раз ниже, чем у альфа-частиц, пробег в биологической мягкой ткани равен 10—12 мм.

Гамма-излучение — фотонное излучение гамма-квантов, обладает высокой проникающей способностью, но низкой способностью к ионизации вещества.

Количественно ионизирующее действие излучения характеризуют удельной ионизацией. Удельная ионизация гамма-излучения, в 50.000 раз меньше удельной ионизации альфа-частиц и в 50 раз меньше удельной ионизации бета-частиц такой же энергии [22].

2. Радиочувствительность облучаемых тканей организма.

При разных видах радонотерапии преимущественному облучению подвергаются разные ткани организма. При водных и воздушных радоновых процедурах — кожа, при питье радоновой воды — эпителий желудка и кишечника, при микроклизмах и радоновых свечах — эпителий прямой кишки, при гинекологических орошениях — эпителий влагалища, при ингаляциях — мерцательный эпителий дыхательных путей. При радоновых ингаляциях и приеме препаратов радона внутрь — часть радона преодолевает эпителиальные покровы, попадает в кровь, разносится по всему организму, облучая многие клетки разных органов и тканей. При посещениях радоновых и парорадоновых эманаториев имеет место комплексное воздействие — на кожу, эпителий дыхательных путей и внутреннее облучение.

Радиочувствительность клеток к облучению неодинакова. Согласно правилу Берг-Трибондо, клетки тем чувствительнее к облучению, чем быстрее они размножаются и менее дифференцированы (специализированы). К наиболее чувствительным тканям (I группа) относятся гонады, красный и белый костный мозг. Эпителий желудочно-кишечного тракта, легкие, влагалищный эпителий относятся ко II группе, кожа — к III-ей.

3. Доза и время экспозиции.

Содержание радона в воде и воздухе на **природных радоновых курортах** сильно различается. Так, концентрация (активность) радона в воде источников курорта Белокуриха — 0,037—0,07 кБк/л, а воды источника А-49 в Masutomi (Япония) до 130 кБк/л. В Белокурихе пациенты принимают водные ванны продолжительностью 15—20 минут; в онсэне Masutomi время пребывания в воде не нормируется, и может составлять и 30 минут, и 60 минут и более. Поглощенная пациентом за процедуру эффективная доза (ПЭД) в Белокурихе составляет в среднем **0,008 мЗв**, ПЭД за 15 минут купания в воде источника А-49 составит **15,66 мЗв**, т.е., в 1958 раз выше.

Активность радона в парорадоновой смеси на курорте Ходжа-Оби-Гарм (Таджикистан) — 0,05 кБк/л, в воздухе эманатория Бад-Гаштейна — 0,15 кБк/л; время лечения в Ходжа-Оби-Гарме 5—10 минут, в Бад-Гаштейне — 60 минут. Поглощенная эффективная доза в Ходжа-Оби-Гарме составляет **0,0033 мЗв**, в Бад-Гаштейне — **0,6 мЗв**, т.е., в 180 раз выше.

Таким образом, одним термином «радонотерапия» объединяются радиационные воздействия разной мощности и продолжительности на разные по радиочувствительности ткани орга-

низма человека. Тем не менее, показания к применению этих методов одни и те же, а их клиническая эффективность, согласно научным исследованиям, вполне сопоставима.

В традиционной фармакотерапии при лечении конкретной патологии дозирование лекарственных средств осуществляется строго с учетом возраста и массы тела пациента. Трудно представить, чтобы при одном и том же диагнозе врач назначил двум пациентам дозировку лекарства, разнящуюся в 2000 раз, и рассчитывал на идентичный терапевтический эффект. Однако в радонотерапии наблюдается именно такой парадокс.

В отличие от радоновых курортов, где используются естественные природные концентрации радона, во **внекурортной радонотерапии** применяемые дозировки стандартизированы. В абсолютном большинстве медицинских учреждений используются водные радоновые ванны активностью 1,5—4,5 кБк/л и воздушные ванны — 0,375—1,5 кБк/л. Искусственные эманатории, пароэманатории и радонариумы стали применяться совсем недавно.

Поглощенная пациентом эффективная доза (ПЭД) за курс радонотерапии из десяти процедур составляет обычно от 2 мЗв до 5 мЗв⁶ [108, 136] и сравнима с годовой дозой, получаемой от Природного радиационного фона. Но ПРФ распределяется равномерно в течение года, а ионизирующие излучения при прохождении радонотерапии оказывают воздействие на организм в течение 10—20 дней курса лечения, поэтому правильно сравнивать ПЭД от одной процедуры с ПЭД ежедневной от ПРФ. Ежедневная поглощенная эффективная доза от ПРФ составляет 0,005—0,007 мЗв. ПЭД от одной радоновой процедуры от 0,18 до 0,5 мЗв. Таким образом, воздействие от радоновой процедуры, в среднем, в 50 раз больше привычного ежедневного воздействия ПРФ. В этом и состоит суть радонотерапии.

Радонотерапия представляет собой кратковременное управляемое воздействие на организм ионизирующими излучениями, в десятки раз превосходящее естественный природный радиационный фон.

Мощности этого кратковременного (от 1 до 20 дней) воздействия недостаточно для того, чтобы нанести ощутимые повреждения живой материи, но достаточно, чтобы запустить ответные саногенетические реакции организма. Можно получить такое же воздействие и другим способом, например, посредством употребления пищи с высоким содержанием природных радионуклидов. Одними из самых радиоактивных природных продуктов питания являются бананы (⁴⁰K, содержащийся в одном банане даст 0,1 мкЗв ПЭД). Для поглощения той же эффективной дозы, что и при прохождении курса радонотерапии необходимо съесть примерно 30.000 бананов.

Вспомним закон Арндта-Шульца: «Каждый физический фактор в зависимости от его силы действует на биоту нейтрально, стимулирующе, угнетающе или уничтожающе». У каждого физического фактора имеется свой интервал значений величины мощности, вызывающей те или иные биологические эффекты. У ионизирующих излучений, по-видимому, такой диапазон значений:

Нейтральное действие — дозы, сопоставимые с постоянно действующим на организм, природным радиационным фоном.

Стимулирующее действие — дозы, в десятки и сотни раз превосходящие ПРФ.

Угнетающее действие — дозы, вызывающие повреждения в органах и тканях, ту или иную степень лучевой болезни — около 1 грея (в миллионы раз больше ПРФ)

Уничтожающее действие — дозы, приводящие к смерти; для человека — от 3 Грей и выше. Летальная доза для всех млекопитающих — 20 Грей (20 Зивертов) [121].

⁶ Поглощенная пациентом эффективная доза после одной водной радоновой ванны (активность 1,5 кБк/л, 15 мин.) — 0,18 мЗв, ПЭД после воздушной ванны (активность 0,75 кБк/л, 15 мин.) — 0,38 мЗв, после одного посещения эманатория (активность 0,15 кБк/л) — 0,4 мЗв, радонариума — 0,49 мЗв [105].

Умело воздействуя на организм человека ионизирующими излучениями радона и его ДПР в дозировках, находящихся в пределах стимулирующего диапазона (в десятки-сотни раз выше, чем постоянно действующий на организм ПРФ), радонотерапевт вызывает у пациента реакции тренировки, спокойной активации или повышенной активации⁷, приводящие к положительным терапевтическим эффектам.

⁷ «Реакции тренировки», «спокойной активации» и «повышенной активации» — эволюционно выработанные неспецифические адаптационные реакции организма на внешние воздействия слабой и средней интенсивности как реакции антистрессорной защиты организма [37].

3

История радонотерапии

Радонотерапия до открытия радона

Открытие радона

Радонотерапия в первые годы после открытия радона

История радонотерапии в СССР и России

Радонотерапия в Западной Европе

Радонотерапия в Японии

Радонотерапия в США

Радонотерапия в Российской Федерации

Радонотерапия до открытия радона

Радонотерапия имеет тысячелетнюю историю. Люди эмпирически использовали ее оздоровительные эффекты задолго до открытия радона, и открытия самого явления радиоактивности. Первые достоверные сведения относятся к острову Искья (Ischia) [204]. Заселенный греками приблизительно 2500 лет назад, этот итальянский остров вулканического происхождения близ Неаполя имеет паровые источники и термальные водоемы, содержащие радон в высоких концентрациях. Первые описания оздоровительных эффектов радона на Искья (Ischia), сделаны Джулио Джасолино (Gulio Jasolino) в 1559 году [161]. Чеваллей де Риваз (J.E.Chvalley de Rivaz) в 1835 году опубликовал книгу «Природная терапия на острове Искья». Мария Кюри в 1917 году обнаружила радиоактивность источников близ Лако Амено (Lasso Ameno), маленького городка на севере острова (позже в них определили высокое содержание радона) [161]. Сейчас в этом месте функционирует термальный парк «Сады Негомбо». В дальнейшем источники Искья изучались учеными институтов гидрологии Римского и Неапольского университетов, исследованы все писцины и определены концентрации радона в других термальных парках острова.

Более 2000 лет назад римские легионеры залечивали свои раны в Мерано (Merano) и Лурисиа (Lurisia), расположенных в альпийском регионе северной Италии, ставших позднее курортами. Кроме того, они использовали радоновые источники в северных долинах Альп (Гаштейн-Австрия) [177]. Археологические находки в долине Гаштейн указывают, что в доисторические времена древние люди пользовались здесь радоновыми источниками еще до римлян. В средние века знаменитый врач Ф. фон Гогенхейм, более известный как Парацельс, лечил местными водами больных сердечно-сосудистыми заболеваниями. В своей книге об источниках здоровья, написанной в 1525—1527 годах, он посвятил Гаштейну целую главу, а в 1780 году Гаштейнские Термы стали уже предметом диссертации [161].

Кроме Искья, Мерано и Гаштейна существует еще много мест на Земле, где использовались радоновые эффекты задолго до того, как стало известно о радиации и радоне. Так, в трудах Аристотеля упоминается источник Адеис в Греции [44]; целебные термы Цхалтубо в Грузии известны с XII столетия [45]; воины Чингисхана залечивали раны в водах Белокурихи [22]; в Японии, на курорте Мисаса (Misasa), эффекты применения радона использовались эмпирически в течение многих столетий [159].

В Средние века шахтеры, добывающие серебро в Южной Саксонии (Германия) и Богемии (Чехия), работая в невероятно тяжелых и вредных для здоровья условиях, часто умирали от болезней легких. Но при этом «они реже страдали болезнями суставов, подагрическими и подобными болезнями» [161]. Они носили одежду с остатками руды, содержащей уран, пили воду шахтного происхождения, а местное население использовало пакеты с урановой смолкой (уранитом) для лечения воспалительных заболеваний [208].

На «странные свойства» радонового источника Стебен (Steben, Германия) было впервые указано в 1473 году, а в 1690 году уже подробно описаны «медицинские свойства» этого источника [159].

К. Брушиус (С. Bruschiус) в 1548 году отмечал в описании местности Фихтельгебирге (Fichtelgebirge, Германия): «Здесь люди живут до глубокой старости, и если заболевают — выздоравливают быстро». Позднее в Фихтельгебирге было обнаружено высокое содержание радона в воде и воздухе [161].

Примечательно, что радоновые источники были популярны среди представителей совершенно различных культур задолго до открытия радона. Людям было также известно, что вода из этих источников, разлитая по бутылкам и использовавшаяся позже, не имела оздоровительных эффектов «свежей» воды, что указывало на наличие в ней быстрораспадающегося фактора [159].

Открытие радона

Слава открытия радона принадлежит сразу нескольким исследователям. В 1899 году М. Кюри обнаружила, что различные тела, находясь вблизи радия, становятся радиоактивными и некоторое время после удаления радия сохраняют радиоактивные свойства. Она назвала это явление индуцированной активностью. Э. Резерфорд объяснял это явление тем, что радий образует некое радиоактивное истечение или эманацию (от лат. *emanare* — истекать), пропитывающее окружающие тела. Вскоре Э. Резерфорду и Ф. Содди удалось доказать, что эманация⁷ — это газообразное вещество, которое подчиняется закону Бойля и при охлаждении переходит в жидкое состояние. Оказалось, что это явление свойственно не только препаратам радия, но и тория и актиния.

В 1900 году Э. Резерфорд и Р. Оуэнс открывают эманацию тория — торон (Tn), являющегося изотопом радона ^{220}Rn . В этом же году Ф. Дорн и почти одновременно с ним А. Дебьерн открыли основной изотоп радона ^{222}Rn . А в 1903 году А. Дебьерн обнаружил еще один изотоп радона — актинон ^{219}Rn (An). Выделен радон в чистом виде был в 1908 году Р. Рамзаем и Ф. Содди. А свое окончательное название он получил в 1923 г.

Радонотерапия в первые годы после открытия радона

После открытия радона развитие радонотерапии шло стремительно. Уже в 1900 году на конгрессе в Лиссабоне ученые Х. Бошар, П. Кюри и В. Балтазар представили доклад о первом использовании радоновых процедур для лечения больных [161]. В 1903 году Ф. Содди в Англии предлагает лечить излучениями emanации тория больных туберкулезом. В 1904 году начинается изучение влияния радона на человеческий организм и в Германии [158], появляются публикации Г. Махе (Mache) о термальных источниках радона в Гаштейне (Австрия). Он предложил первую единицу измерения концентрации (активности) радона, которую в последствие называли его именем (Mache-Einheit, МЕ); ей пользовались в Германии и Австрии, а в англоязычных странах ученые применяли «Кюри», как единицу измерения, принятую в 1910 году на Первом Международном Радиологическом Конгрессе [159].

В России первую научную работу о физиологическом и патологическом действии emanации радия написал Е. С. Лондон в 1904 году. В этом же году Neusser и Dautwitz проводят первые эксперименты по радонолечению в Вене: они применяли наружные аппликации урано-содержащих препаратов, а также использовали песок, содержащий уран, для получения радонной воды. В 1906 году Sieveking публикует данные о содержании радона более чем в 30 источниках на 11 курортах Австрии, Богемии, Германии и Италии [161].

Лечение естественной радоновой водой проводилось в Санкт-Йехимстале (St. Joachimsthal) в Богемии. Первый опыт описан в 1906 году. Лечение проводилось 43 пациентам. Почти все они страдали хроническим ревматизмом и невралгическими заболеваниями. Результаты лечения были признаны «чрезвычайно успешными». В 1910 году проведено лечение уже 373, а в 1913 году — 2.476 пациентам [188].

Примерно в то же самое время врач Левенталь (Loewenthal) в Брауншвейге (Германия), изучавший использование радоновой воды, полученной из препаратов радия, писал: «Малые концентрации излучения вызывают постоянные ответные реакции человеческого организма». После демонстрации экспериментами на себе и животных безвредности этого лечения он лечил пациентов с хроническим ревматизмом, и заметил, что ответные реакции их организма были весьма подобны таковым на курортах [159]. В 1912 году Левенталь написал первую книгу по лечению радием (хотя, на самом деле он имел дело с радонотерапией) [161]. Годом позже немецкий ученый Лазарус (Lazarus) опубликовал свою книгу по биологии и терапии радием. Большинство из этих ранних исследований были посвящены купанию в радоновой воде, которую получали, погружая на длительное время в емкости с водой остатки руды, обернутые тканью и герметично закрытые воздухо непроницаемой крышкой.

Недалеко от Санкт-Йехимстала (сейчас это г. Яхимов, Чехия), на немецкой стороне границы в Бад-Брамбахе (Bad-Brambach), в 1910 году был обнаружен самый сильный, по данным на тот период, источник с содержанием радона (30 кБк/л). Стремительно росло число пациентов и на другом новом радоновом курорте Обершлема («Radiumbad Obershlema»), в 1943 году на курорте пролечилось свыше 17000 человек [159].

Между 1910 и 1912 годами в Санкт-Йехимстале был построен всемирно известный отель «Дворец Радия» («Radium Palace»), который функционирует и сейчас [161].

Радоновые ингаляции впервые начали применять в Бад-Крейцнахе (Bad-Kreuznach, Германия). «Радоновый ингаляторий» был открыт К. Ашоффом (Aschoff) 18 мая 1912 года. Он располагался на открытой местности, куда воздушно-радоновая смесь подавалась из подземных шахт [156]. Ингаляторий был разрушен во время Второй мировой войны и вновь начал работать в 1974 году. Много подобных мест для радоновых ингаляций было позже оборудовано во Франции. Лечение в шахтах с повышенным содержанием радона началось в Австрии и Германии с 1912 года.

На радоновом курорте Теплиц (Teplitz) в Богемии (теперь Чешская Республика) в 1930 году был издан обширный сборник статей и опытов практикующих врачей со всего мира о применении радона. Один из авторов, П. Пархоменко (P.Parchomenko) пишет, что «как было установлено, слабые лучи вызывают характерные биологические эффекты и являются одними из важнейших оздоровительных факторов в природе... Эффект от слабых излучений значительно отличается от такового при воздействии сильных излучений» [159].

Таким образом, радонолечение в Европе в первой половине XX века осуществлялось в виде ингаляций радона на природных источниках (в шахтах и пещерах) или в виде купания в радоносодержащей воде. Питье радоновой воды стало со временем менее популярным.

История радонотерапии в СССР и России

Радиоактивные явления начали изучать в России сразу же после их открытия А. Беккерелем. С самого начала исследования естественной радиоактивности природных объектов проводились в двух направлениях:

- 1) выявление радиоактивных минеральных источников и грязей для лечебных целей;
- 2) поиск радиоактивных минералов.

Как следствие работ в первом направлении явилось зарождение радиобальнеологии; результаты работы во втором направлении — нахождение на территории страны месторождений урана и радия.

Первые исследования радиоактивности природных объектов проводились на базе лабораторий Московского, Санкт-Петербургского и Томского университетов, Рижского политехнического института, Управления Кавказских Минеральных Вод. С 1910 года создаются специализированные радиологические лаборатории [148]. Объектами их исследований были минеральные источники, целебные грязи, почвы и воздух лечебных местностей.

Инженером-технологом химической лаборатории Кавказских Минеральных Вод Э. Э. Карстенсом в 1907 году начаты исследования минеральных источников КМВ. Он изучал Пятигорские, Кисловодские, Железноводские и Ессентукские источники. Его исследования отличались тем, что проводились в полевых условиях непосредственно на местах, а не в лабораториях спустя некоторое время. На заседании Русского бальнеологического общества в Пятигорске 2 декабря 1908 года Э. Э. Карстенс доложил результаты. Им была определена радиоактивность 26 источников и составлена таблица активностей минеральных источников по группам [148].

Одним из первых ученых, начавших изучение радиоактивности природных объектов, был профессор московского университета А. П. Соколов. В 1913 году в воде лечебных источников, питавших ванное здание на улице Теплосерной в Пятигорске, им был обнаружен радон. Отсутствие в воде лечебницы сероводорода долгое время не позволяло ученым объяснять ее терапевтическую эффективность.

Почти одновременно с исследованиями А.П.Соколова изучение радиоактивности минеральных источников и грязей развернулось в других регионах России. В Санкт-Петербургском университете исследованием радиоактивности природных объектов занимался физик И. И. Боргман. В 1904—1909 г.г. он со своим учеником А. П. Афанасьевым исследовал радиоактивность минеральных грязей крымских и кавказских курортов. В 1907—1908 г.г. лаборант Томского технологического института В.С.Титов и студент В.П.Марков исследовали радиоактивность Белокуринских теплых источников. Было определено, что радиоактивность воды и газа Белокуринских терм в 9,4 раза больше радиоактивности воды и газа Нарзана.

Минеральные источники Забайкалья изучал И.А.Богашев. В 1905 году он описал характеристики 165 источников, в том числе их радиоактивность. Радиоактивность природных объектов Крыма и Кавказа изучал В. И. Спицын.

В 1910 году по инициативе В. И. Вернадского предпринимаются поиски месторождений урана и радия на территории России. В 1912 году в Санкт-Петербурге им была создана Минералогическая лаборатория, на базе которой в 1922 году основан Радиевый институт. Первые препараты радия из отечественной урановой руды были получены В.Г.Хлопиным в конце 1921 года [148]. Начались работы по искусственному приготовлению радиоактивных вод, грязей, медикаментов, содержащих радий, торий, мезоторий, актиний, радон, торон и их дочерних продуктов распада (ДПР), и изучению их лечебного действия. Использование для лечения инъекций растворов радия, мезотория, тория, применение радийсодержащих ванн вскоре было прекращено, так как была обнаружена их высокая токсичность [131].

В связи с тем, что территория страны относительно бедна радоновыми месторождениями и большинство из них находятся далеко от основных мест проживания населения, в СССР пошли по пути создания радоновых лабораторий для получения растворов радона, что позволяло проводить радоновые процедуры во всех городах страны. Вначале строились большие лаборатории и создавались эманационные установки для получения больших количеств радона из радия. Первая такая установка была создана В. В. Мысовским в 1922 г. в Радиовом институте Петрограда, вторая — В. И. Барановым в 1928 г. в радиевой лаборатории Московского института рентгенологии и радиологии. Лаборатории снабжали радоном лечебные учреждения Москвы, Петрограда и других городов. Однако этот способ оказался малопригодным для внедрения в практику здравоохранения из соображений радиационной безопасности. [45].

В 1949 году Е. С. Щепотьева предложила простой способ приготовления растворов радона для медицинских целей из препаратов радия невысокой активности, которые можно было размещать непосредственно в лечебных учреждениях. Она использовала специальный стеклянный сосуд — барботер⁸, в который помещалось 30 мг бромида радия (^{226}Ra). Прокачкой воздуха через жидкую соль радон переводился из барботера в бутылку с водой и распределялся затем по порционным склянкам. Несовершенство первых генераторов радона, отсутствие единых представлений о безопасной планировке, составе помещений и оборудовании лаборатории допускало радиационные аварии и переоблучение персонала. После того, как были созданы и оснащены дозиметрической аппаратурой радиологические отделения Санитарно-эпидемиологических станций (СЭС), из 600 радоновых лабораторий СССР 450 были закрыты [131].

В 60-е годы были разработаны и внедрены в практику специальные санитарно-технические устройства (защитные шкафы, экраны, контейнеры, дозаторы и т.д.), а также разработаны требования к вентиляции, планировке, отделке и оборудованию радоновых лабораторий и радонолечебниц, обеспечивающих радиационную безопасность обслуживающего персонала, занятого приготовлением и отпуском радоновых процедур [131]. Были построены кустовые радоновые лаборатории в Москве, Подмосковье, Калининграде, Сочи, каждая из которых обеспечивала радоном несколько десятков лечебных учреждений. Таким образом, была создана материально-техническая база для внедрения радонотерапии в медицинскую практику лечебно-профилактических учреждений по всей стране.

Многочисленными исследованиями определены основные показания и противопоказания для радонотерапии [2, 4, 23, 24, 31, 32 и др.], наиболее эффективные дозировки [16, 87, 92, 93 и др.], формы и методы [65, 39, 78, 88 и др.] радонолечения при различных патологиях.

Все это способствовало широкому распространению радонотерапии в стране. В конце 70-х — начале 80-х годов в СССР использовалось около 30 радоновых курортов, работало 250 ординарных и несколько кустовых радоновых лабораторий, на которых было сосредоточено около 300 барботеров с радием. Это обеспечивало радонотерапевтическими процедурами порядка миллиона пациентов в год [45].

⁸ Барботер — устройство для пропускания газа через слой жидкости.

Радонотерапия сегодня

Радонотерапия в Западной Европе

Радонотерапия по-прежнему чрезвычайно популярна в Европе. После «радийной эры», после безумного увлечения людей массой самых разных радиоактивных препаратов (в т.ч., радоновых) для личного пользования в домашних условиях, радонотерапия вернулась на курорты. Известные радоновые курорты Австрии, Германии, Чехии, Италии, Греции имеют вековые истории.

В **Австрии** большой популярностью пользуется курорт **Бад-Гаштейн**, расположенный к югу от Зальцбурга в долине реки Гайстнер-Ахе. Радоновые азотсодержащие воды 18 источников применяют для ванн, купаний, питья и ингаляций. В лечебных целях используют и старые штольни, активность радона в воздухе которых составляет 0,15 кБк/л, температура воздуха +35⁰С. Пациенты находятся в штольне в течение часа, получая сразу две радоновых процедуры: воздушные радоновые ванны и радоновые ингаляции. Рекомендованный курс лечения — 10—12 сеансов.

В **Германии** несколько радоновых курортов. Самая высокая концентрация (активность) радона в источниках курорта **Бад-Брамбах**, расположенного в Саксонии в долине реки Ретенбах у подножия горы Эльстер. Концентрация радона в воде источника Веттинквелле достигает 30 кБк/л. Это один из наиболее радиоактивных источников мира. В воде источников Шиллерквелле и Гренцквелле того же месторождения концентрация радона колеблется от 6,0 до 6,9 кБк/л. В источниках Айзенквелле, Визенквелле и Безехуазквелле концентрация радона 1,95 — 2,7 кБк/л. Кроме отпуска ванн, воду радоновых источников применяют для питьевого лечения, для ингаляций, орошений и кишечных промываний.

В **Баден-Бадене** используется свыше 20 термальных радиоактивных источников, о целебных свойствах которых знали еще римляне в I веке нашей эры. Они построили на источниках *Civitas Anurelia Aquensis* (так тогда назывался Баден-Баден) большие купальные сооружения для легионеров, а в 214 г. н.э. — императорские купальни — Термы Каракалла. Содержание радона в воде 1,3 — 1,7 кБк/л. Воду этих источников используют в виде ванн, для купания в бассейнах, а также в виде различных душей, ингаляций и питьевого лечения.

Один из самых старых курортных городов Германии — **Бад-Кройцнах** расположен в 75 км к юго-западу от Франкфурта-на-Майне. Целебные источники известны со времен кельтов и древних римлян. Еще в 1817 г. врач Цохан Пригер начал использовать местные минеральные источники в медицинских целях. В 1904 году Карл Ашофф обнаружил радиоактивность источников, а мае 1912 года открыл первый в мире радоновый ингаляторий. Свое открытие К. Ашофф описывает следующим образом: «В результате опытов было определено... непрерывное выделение из расщелин штольни воздуха с высоким содержанием эманации. Этот весьма благоприятный факт побудил... создать некое учреждение, которое занималось бы использованием естественной эманации в лечебных целях. В Курпарке у входа в штольню был построен радиевый ингаляторий... Он представляет собой элегантное строение..., в которое выходят три соляных источника, вода которых содержит эманацию... Посередине потолка установлено отверстие... для поступления содержащего эманацию воздуха из штольни...» [216]. Радоновый ингаляторий принимал пациентов до 1945 года, когда он был разрушен в завершающей фазе второй мировой войны. В 1974 году был оборудован радоновый тоннель.

Бад-Наугейм, расположенный в 38 км от Франкфурта-на-Майне, имеет несколько минеральных слаборадиоактивных источников. Этот курорт часто называют «купальницей трех императриц» в честь русской императрицы Александры, императрицы Австрии Елизаветы

(Sissi) и немецкой императрицы Августины Виктории. Кроме них на курорте лечились Отто фон Бисмарк, А. Эйнштейн, Элвис Пресли, Рихард Штраус и другие знаменитости. Концентрация радона в воде до 0,38 кБк/л. На курорте располагается градирня с крупнейшим в Германии ингалятором.

До Второй мировой войны курорт **Шлема** (первое название «Radiumbad Obershlema») был одним из самых посещаемых курортов Германии. В 1943 году там пролечилось свыше 17000 человек. В конце войны лечение на курорте было остановлено, и область стала одним из мировых лидеров по добыче урана, поставив до 1989 года приблизительно 240.000 тонн урана для советской ядерной программы [161]. Только по окончании Холодной войны курорт Шлема (Schlema) был успешно восстановлен в 1998 году. Мощность радоновых источников значительно снизилась после извлечения из земных недр тысяч тонн урана. В настоящее время пациенты курорта принимают ванны активностью 3 кБк/л [159].

На другом старейшем бальнеологическом курорте **Висбаден** уже в древнеримские времена были открыты 26 термальных источников, а с 1366 года известен самый крупный из них по дебиту — «Кипящий колодец». Кроме лечебных бассейнов, ванн и орошений тут имеется радиоэманаторий.

На курорте **Киссинген** в Баварии используется 7 холодных минеральных источников с низкой концентрацией радона (до 0,15 кБк/л). Здесь для лечения также используют ингаляции воздушно-радоновой смеси, полученной при распылении радоновой воды в градирнях.

Радоновые источники обнаружены также на курортах **Бад-Шмидеберг, Бад-Штебен, Силленбад, Бад-Мюнстер-ам-Штайн-Ебернбург** [141].

Чешский курорт Яхимов (прежнее название St. Joachimsthal), один из первых радоновых курортов в Европе, расположен на склоне Рудных гор, в Богемии. В 1864 году при добыче руды в шахте Сворность (Согласие) на полукилометровой глубине ударил сильный источник, затопивший всю шахту. О лечебной силе воды начали говорить шахтеры, которые убедились, что вода помогает заживлять мелкие ссадины и раны. На первом частном «курорте пекаря Куна» начали массово использовать радоновую воду для лечения в 1906 году [125]. В 1911 году был построен первый санаторий «Агрикола», однако он не справлялся с потоком желающих и в 1912 году был построен знаменитый «Radium Palace» (Дворец Радия). В 1960 году, после того как была прекращена добыча урана, Яхимов приобрел статус курортного города. Сегодня курорт Яхимов — общепризнанный центр современной бальнеологии. Концентрация радона в воде источников — от 5 кБк/л до 20 кБк/л.

Специфической для курорта Яхимов является **брахирадиумтерапия** или лечение «яхимовскими коробочками» (запатентовано в 1910 г.). Радиоактивная соль в специальном футляре закрепляется на теле пациента над источником боли (сустав, участок позвоночника) на расстоянии 2 см от кожи, чтобы не вызвать радиационного ожога. Процедура проводится 1 раз за курс лечения в течение 6 часов в специальном кабинете. Эффект последствия (снижение болевого синдрома) длится 6 — 8 месяцев. По сути, «яхимовские коробочки» не имеют никакого отношения к радонотерапии, а представляют собой мощные гамма-аппликаторы (альфа- и бета-излучения не преодолевают стенки футляра).

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.