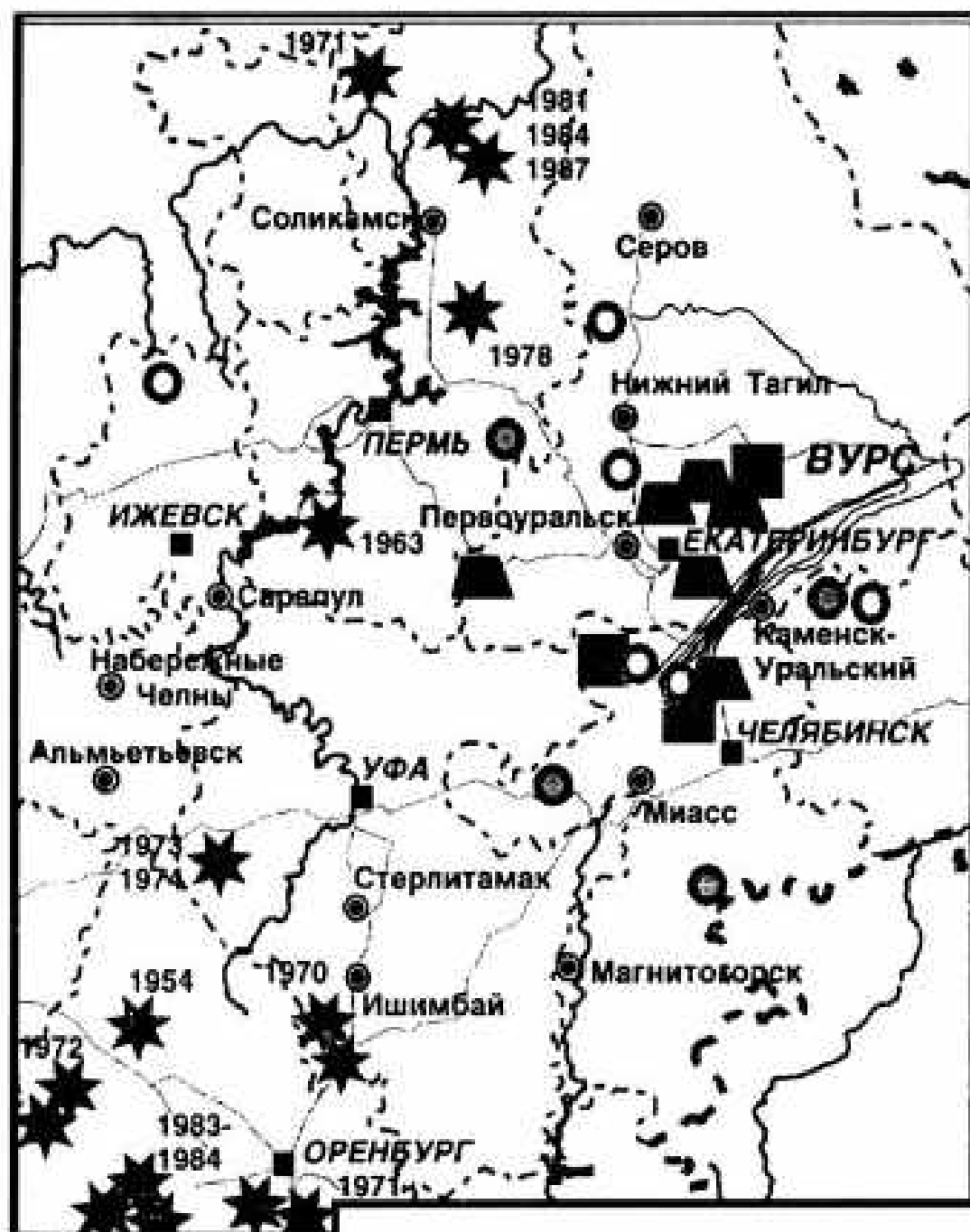




РАДИОАКТИВНЫЕ БЕДЫ УРАЛА

ЕКАТЕРИНБУРГ
2000

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ
ЕКАТЕРИНБУРГСКИЙ СОЮЗ НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ**

РАДИОАКТИВНЫЕ БЕДЫ УРАЛА

**В.И. УТКИН
М.Я. ЧЕБОТИНА
А.В. ЕВСТИГНЕЕВ
А.А. ЕКИДИН
Е.Н. РЫБАКОВ
А.В. ТРАПЕЗНИКОВ
В.А. ЩАЛОВ
А.К. ЮРКОВ**

**Екатеринбург
2000**

ББК 31.4
О81
УДК 574.3:575.17

Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнесс и др.
Екатеринбург, УрО РАН, 2000.

В книге обобщены результаты работ как лично авторов книги, так и других исследователей, изучавших проблему радиоактивного загрязнения Урала в связи с мощным развитием в этой области страны атомной промышленности и использования ядерных технологий (размещение предприятий ядерно-топливного цикла, крупнейшая в мире ядерная авария, ядерные взрывы, утилизация радиоактивных отходов). Приведены фактические данные о содержании различных радионуклидов в компонентах природной среды (воде, растениях, животных), их биологического действия на организм, доз облучения населения. Рассматривается проблема влияния геолого-геофизических особенностей региона на процессы переноса и переотложения радиоактивных загрязнений.

Книга представляет интерес для широкого круга читателей, которым не безразличны экологические проблемы Урала, а также для преподавателей и студентов экологических специальностей.

Ответственный редактор профессор, д.т.н. В.И. Уткин
Редактор д.т.н. М.Я. Чеботина
Рецензент д.г.-м.н. А.Г. Талалай

Монография издана при финансовой поддержке
Международного Фонда ИСАР

ISBN 5-7691-1127-5

Р $\frac{192(00)}{8П6(03)1998}$ БО

© Авторы, 2000.

ПОСВЯЩАЕТСЯ

100 - летию со дня рождения

НИКОЛАЯ ВЛАДИМИРОВИЧА

ТИМОФЕЕВА-РЕСОВСКОГО,

**стоявшего у истоков радиэкологической
науки на Урале**

ПРЕДИСЛОВИЕ

В результате интенсивного развития атомной промышленности с начала пятидесятих годов текущего столетия постепенно возрастает радиационный фон биосферы Земли за счет поступления в нее техногенных радионуклидов. Наиболее ощутимый вклад в загрязнение биосферы вносят такие ее отрасли, как добыча и переработка ядерного топлива, атомная энергетика и реакторостроение (включая аварийные ситуации), ядерные взрывы мирного и военного характера, захоронение радиоактивных отходов и др. Развитие указанных технологий привело к тому, что к настоящему времени ионизирующая радиация превратилась в постоянно усиливающийся фактор внешней среды, загрязняющий биосферу в глобальном масштабе и воздействующий на всё живое на нашей планете.

Радионуклиды, поступающие в окружающую среду в допустимых с технологической точки зрения количествах, ввиду особенностей живых организмов могут накапливаться в них в таких концентрациях, которые во много раз превышают их содержание в среде обитания. Они переносятся с воздушными и водными потоками на большие расстояния от источника и, оседая на новых местах, создают зоны радиоактивного загрязнения. Интенсивное развитие ядерных технологий в середине нашего века привело к нескольким крупным авариям, в результате которых радионуклидами были загрязнены огромные территории.

Особенностью радиоактивного загрязнения является тот факт, что химическим путем его невозможно ликвидировать. Единственным фактором, позволяющим снизить уровень загрязнения, является время, то есть естественный распад радиоактивных элементов. К сожалению, в связи с разработкой оружия массового поражения, все, что было связано с радиоактивным загрязнением окружающей среды, долгое время было засекречено и только в последние годы завесы секретности сняты. Это дало импульс к бурному развитию радиэкологии - науки, изучающей закономерности миграции, накопления и биологического действия искусственных и естественных радионуклидов в компонентах биосферы.

Государственной Думой РФ от 5 декабря 1995 года был принят, а Президентом России 9 января 1996 года утвержден Закон РФ "О радиационной безопасности населения России". Это первый закон в нашей стране, который направлен на защиту населения от негативного влияния радиации. Впервые было установлено государственное нормирование в сфере обеспечения радиационной безопасности не только для людей, профессионально работающих в этой области, но и всего населения. На основе этого закона разработаны, утверждены и введены в действие "Нормы радиационной безопасности", полностью соответствующие последним рекомендациям Международной комиссии по радиологической защите. Согласно этим документам, граждане России и общественные ор-

ганизации имеют право на получение объективной информации о радиационной ситуации в регионе и принимаемых мерах по совершенствованию системы радиационной защиты. В связи с этим возникла необходимость описать радиационную обстановку, возникшую в Уральском регионе за последние 50 лет в связи с функционированием здесь большого количества предприятий, использующих ядерные технологии.

Комитет радиационной безопасности Екатеринбургского Союза научных и инженерных организаций, объединяющий известных специалистов в области радиэкологии, много лет занимается исследованием радиационной ситуации на Урале. Анализ обширного материала, полученного членами комитета, дает возможность оценить радиационную обстановку, которая обусловлена как естественными условиями региона, так и техногенными факторами, связанными с испытаниями ядерного оружия, промышленными ядерными взрывами, нормальным функционированием и аварийными ситуациями на предприятиях ядерно-топливного цикла. Настоящая работа не претендует на полноту освещения данного вопроса, поскольку некоторые районы Урала до сих пор недостаточно изучены, но основные бедь, основные источники радиоактивного загрязнения и вызываемые ими поражения живых организмов, по мнению авторов, представлены достаточно полно.

При подготовке книги использованы работы сотрудников Института экологии растений и животных УрО РАН, Института промышленной экологии УрО РАН, Института геофизики УрО РАН, Уральской государственной медицинской академии, Опытной научно-исследовательской станции (ОНИС) ПО МАЯК, Спецкомбината "Радон", Комитета природных ресурсов по Свердловской области, Зеленогорской экспедиции, Всесоюзного института разведочной геофизики и многих других организаций, занимающихся проблемами радиэкологии на Урале. Часть данных взята из докладов, прочитанных на Уральских экологических форумах, посвященных радиационной безопасности населения Урала. Читателям, желающим более детально ознакомиться с данной проблемой, можно порекомендовать внимательно прочесть указанную в конце книги литературу.

При подготовке книги большую помощь оказали заинтересованные в этом издании коллеги. Мы благодарим за творческую и практическую поддержку Екатеринбургский Союз научных и инженерных организаций, его председателя доктора технических наук А.Н.Лебедева и исполнительного директора В.И.Быстрых и доктора технических наук Л.И.Пискунова за постановку задачи по созданию книги.

Авторы приносят особую благодарность Международному Фонду ИСАР, без финансовой поддержки которого подготовка и публикация книги были бы невозможны.

Авторский коллектив

ГЛАВА 1. РАДИАЦИЯ И ЖИЗНЬ

1.1. Радиоактивность как явление природы

Радиоактивность и связанные с ней ионизирующие излучения всегда существовали в космическом пространстве, на Земле и других планетах. Радиация заполняет всю Вселенную, и радиоактивные вещества вошли в состав Земли с самого ее зарождения. Они находятся в горных породах, воде, растениях и животных. Даже человек слегка радиоактивен.

Всем известно, что атом похож на Солнечную систему в миниатюре. Вокруг крошечного по размерам ядра (Солнца) движутся по орбитам электроны (планеты). Размеры ядра в 100000 раз меньше размера атома, но плотность его так велика, что фактически масса атома сосредоточена в его ядре.

Ядро состоит из более мелких частиц - положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Число протонов определяет, к какому химическому элементу относится данный атом: ядро атома водорода содержит только один протон (атомный номер равен единице), атома кислорода - 8, атома стронция - 38, атома урана - 92. Если ядра атомов одного и того же элемента содержат одинаковое количество протонов, то число нейтронов может различаться. Атомы, имеющие ядра с одинаковым количеством протонов, но с различным числом нейтронов, относятся к различным модификациям одного и того же химического элемента и называются *изотопами*. Чтобы отличить изотопы друг от друга, к символу элемента приписывают число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Так, стронций-90 содержит 38 протонов и 52 нейтрона, цезий-137 - 55 протонов и 82 нейтрона, уран-238 - 92 протона и 146 нейтронов. Различные изотопы одного и того же химического элемента называют общим словом - *нуклиды*.

Многие нуклиды стабильны. Это означает, что их ядра в обычных условиях не претерпевают никаких превращений.

Большая же часть нуклидов нестабильна - они без всякого внешнего воздействия (спонтанно) излучают энергию и превращаются в другие нуклиды. Процесс распада ядер идет до тех пор, пока в результате многоэтапных преобразований не возникнут стабильные нуклиды.

При каждом акте распада высвобождается энергия в виде радиоактивного излучения. Существует три различных типа излучений: альфа-излучение (поток атомов гелия), бета-излучение (поток электронов) и гамма-излучение (поток жесткого электромагнитного излучения). Весь процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида называется *радиоактивным распадом*, а излучающий нуклид - *радионуклидом*. Скорость радиоактивного распада у разных радионуклидов также различна - одни распадаются быстрее, другие медленнее. Время, за которое распадается примерно половина от общего количества радионуклида, называется *периодом полураспада*. Таким образом, в течение одного периода полураспада из 100 атомов радионуклида остаются только 50. За следующий такой же период из этих 50 атомов остаются лишь 25 и так далее. Снижение концентрации радионуклида во времени в результате процесса распада подчиняется *экспоненциальной*

ГЛАВА 1. РАДИАЦИЯ И ЖИЗНЬ

1.1. Радиоактивность как явление природы

Радиоактивность и связанные с ней ионизирующие излучения всегда существовали в космическом пространстве, на Земле и других планетах. Радиация заполняет всю Вселенную, и радиоактивные вещества вошли в состав Земли с самого ее зарождения. Они находятся в горных породах, воде, растениях и животных. Даже человек слегка радиоактивен.

Всем известно, что атом похож на Солнечную систему в миниатюре. Вокруг крошечного по размерам ядра (Солнца) движутся по орбитам электроны (планеты). Размеры ядра в 100000 раз меньше размера атома, но плотность его так велика, что фактически масса атома сосредоточена в его ядре.

Ядро состоит из более мелких частиц - положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Число протонов определяет, к какому химическому элементу относится данный атом: ядро атома водорода содержит только один протон (атомный номер равен единице), атома кислорода - 8, атома стронция - 38, атома урана - 92. Если ядра атомов одного и того же элемента содержат одинаковое количество протонов, то число нейтронов может различаться. Атомы, имеющие ядра с одинаковым количеством протонов, но с различным числом нейтронов, относятся к различным модификациям одного и того же химического элемента и называются *изотопами*. Чтобы отличить изотопы друг от друга, к символу элемента приписывают число, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Так, стронций-90 содержит 38 протонов и 52 нейтрона, цезий-137 - 55 протонов и 82 нейтрона, уран-238 - 92 протона и 146 нейтронов. Различные изотопы одного и того же химического элемента называют общим словом - *нуклиды*.

Многие нуклиды стабильны. Это означает, что их ядра в обычных условиях не претерпевают никаких превращений.

Большая же часть нуклидов нестабильна - они без всякого внешнего воздействия (спонтанно) излучают энергию и превращаются в другие нуклиды. Процесс распада ядер идет до тех пор, пока в результате многоэтапных преобразований не возникнут стабильные нуклиды.

При каждом акте распада высвобождается энергия в виде радиоактивного излучения. Существует три различных типа излучений: альфа-излучение (поток атомов гелия), бета-излучение (поток электронов) и гамма-излучение (поток жесткого электромагнитного излучения). Весь процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида называется *радиоактивным распадом*, а излучающий нуклид - *радионуклидом*. Скорость радиоактивного распада у разных радионуклидов также различна - одни распадаются быстрее, другие медленнее. Время, за которое распадается примерно половина от общего количества радионуклида, называется *периодом полураспада*. Таким образом, в течение одного периода полураспада из 100 атомов радионуклида остаются только 50. За следующий такой же период из этих 50 атомов остаются лишь 25 и так далее. Снижение концентрации радионуклида во времени в результате процесса распада подчиняется *экспоненциальной*

легко задерживаются тонким слоем металла. Наибольшее поражение бета-излучение наносит при попадании радионуклида внутрь организма.

Проникающая способность гамма - квантов, которые представляют собой жесткое электромагнитное излучение и распространяются со скоростью света, существенно больше. Полностью остановить гамма-излучение может лишь толстая бетонная или свинцовая плита. Гамма-излучение является основным поражающим фактором для организма при воздействии на него излучения от внешних источников.

Повреждений, вызванных излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям. Количество энергии, переданное организму, называется *дозой*. Дозу облучения можно получить от любого радионуклида или от их смеси, независимо от того, находятся они вне организма или внутри его в результате попадания с пищей, водой или воздухом. Дозы рассчитываются по-разному, с учетом того, каков размер облученного участка и где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей и в течение какого времени это происходило.

Количество энергии, поглощенное единицей массы облучаемого организма, называется *поглощенной дозой* и измеряется в системе СИ в *греях* (*Гр*). Размерность *грея* - джоуль, деленный на килограмм массы (*Дж/кг*). Однако эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе альфа-излучение гораздо опаснее, чем бета- или гамма-излучение. Если принять во внимание этот факт, то для того, чтобы более точно оценить степень поражения организма, величину поглощенной дозы надо увеличить на некоторый коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать биологические объекты. Альфа-излучение считается в 20 раз опаснее, чем бета- или гамма-излучение. Пересчитанную таким образом дозу называют *эквивалентной дозой*, которая в системе СИ измеряется в *зивертах* (*Зв*). Размерность *зиверта* та же, что и у *грея* - *Дж/кг*. Доза, полученная за единицу времени, классифицируется в системе СИ как *мощность дозы* и имеет размерность *Гр/с* или *Зв/с*. В системе СИ допустимо применение внесистемных единиц измерения времени, таких как *час*, *сутки*, *год*, поэтому при расчете доз применяются такие размерности, как *Зв/ч*, *Зв/сут*, *Зв/год*.

До сих пор в геофизике, геологии и частично в радиэкологии применяется внесистемная единица дозы - *рентген*. Эта величина была введена в употребление еще на заре атомной эры (в 1928г.) и использовалась для измерения величины экспозиционной дозы. *Рентген* равен такой дозе гамма - излучения, которая создает в одном кубическом сантиметре сухого воздуха общий заряд ионов, равный одной единице электрического заряда. При измерении в воздухе экспозиционной дозы гамма-излучения используются следующие соотношения между *рентгеном* и *греем*: $1\text{ Р} = 8,77\text{ мДж/кг}$ или $8,77\text{ мГр}$. Соответственно $1\text{ Гр} = 114\text{ Р}$.

В дозиметрии сохранилась еще одна внесистемная единица - *рад*, равная поглощенной дозе облучения, при которой 1 кг облучаемого вещества поглощает энергию, равную $0,01\text{ Дж}$. Соответственно $1\text{ рад} = 100\text{ эрг/г} = 0,01\text{ Гр}$. В настоящее время эта единица изымается из употребления, но поскольку в научной литературе по дозиметрии указанные внесистемные единицы встречаются достаточно часто, в приложении 3 приведены соотношения между *рентгеном* и *зивертом*.

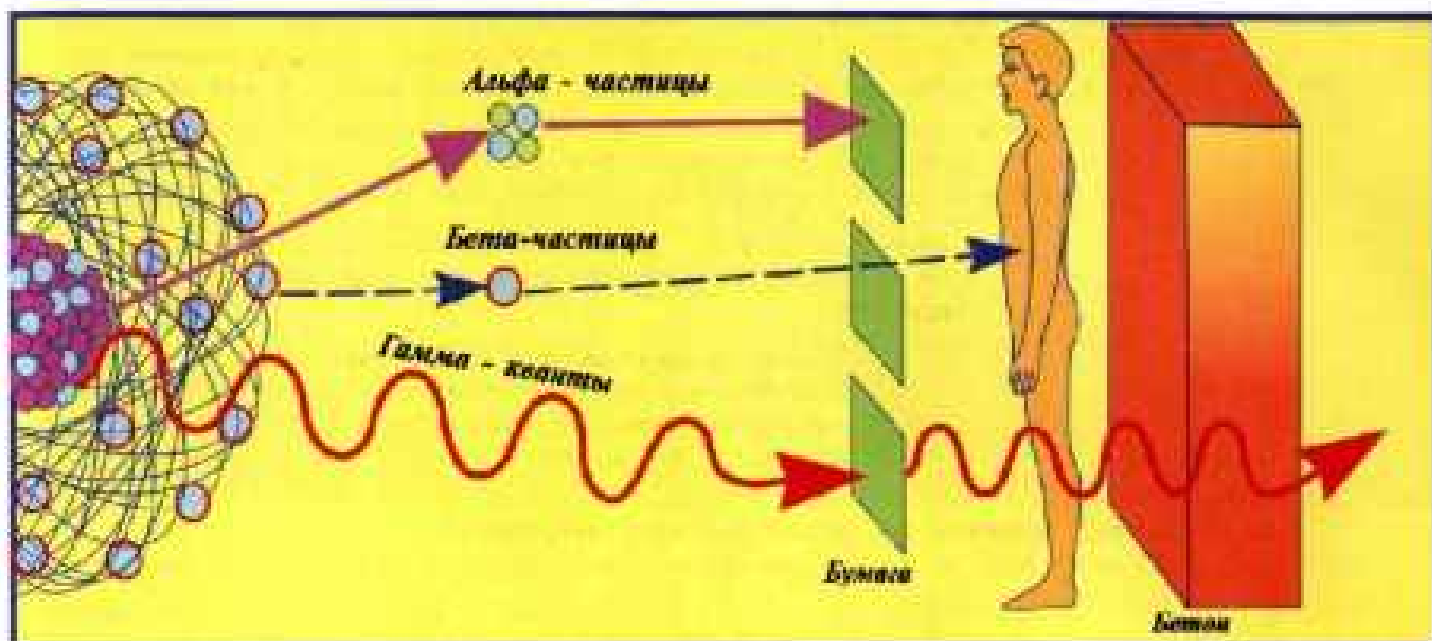


Рис.1. Три вида радиоактивных излучений и их проникающая способность



Рис.2. Рекомендованные Международной комиссией по радиационной защите коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела

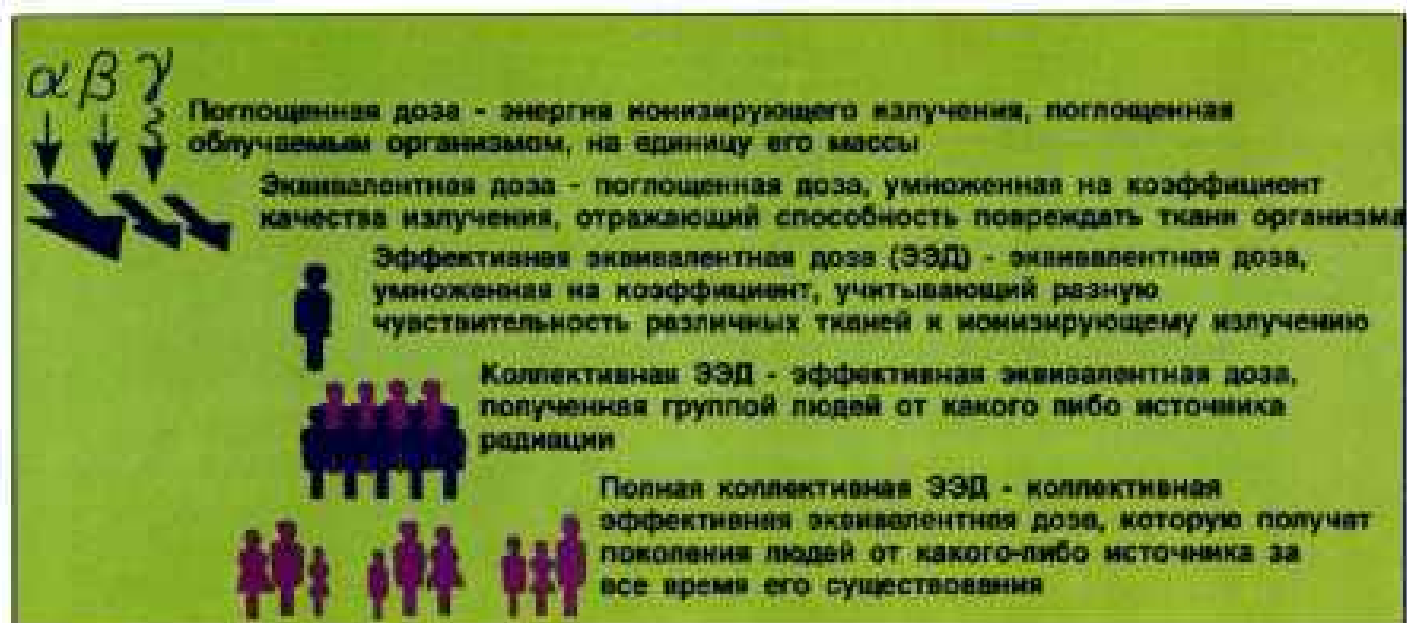


Рис.3. Система понятий доз радиационного облучения.

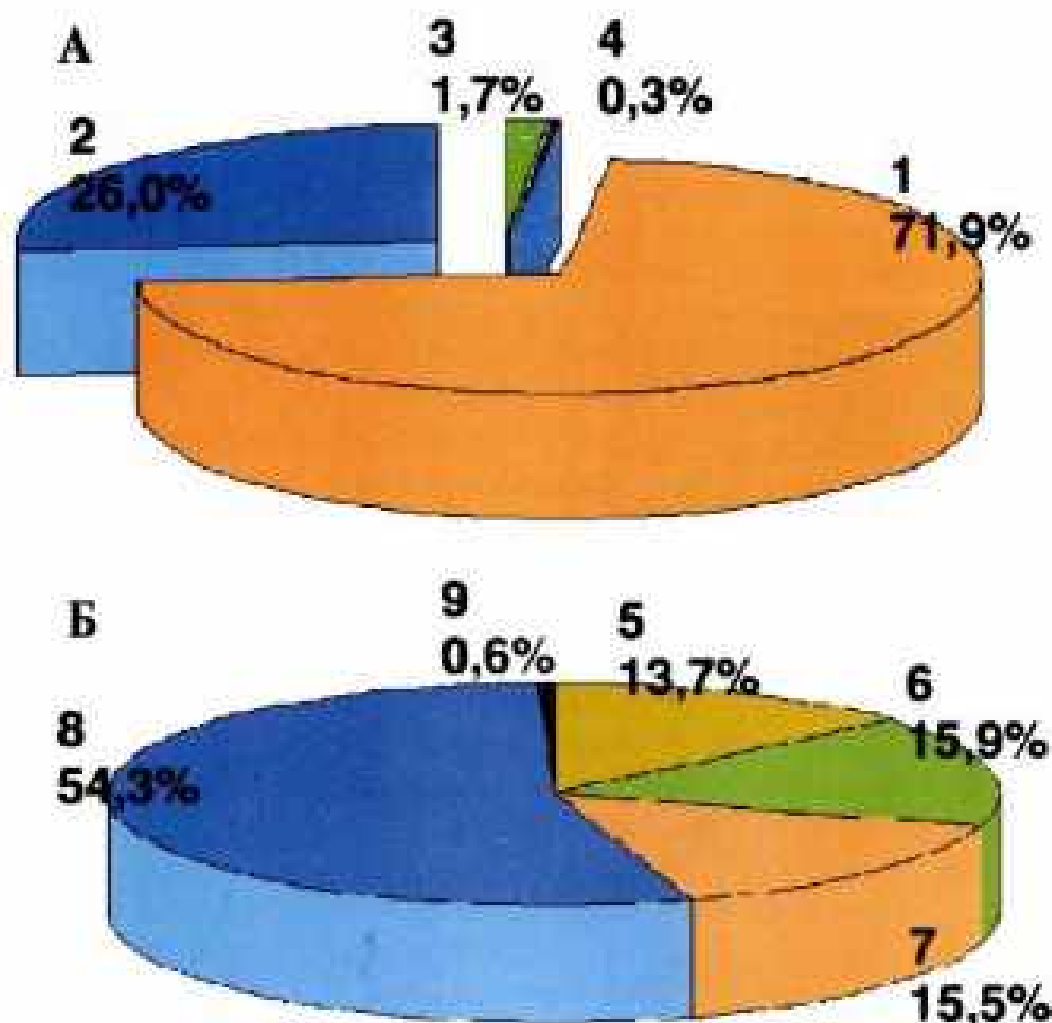


Рис. 4. Вклад различных источников ионизирующего излучения в общую дозовую нагрузку населения: а) от всех источников: 1-естественные источники; 2-медицинские процедуры; 3-радиоактивные осадки, последствия ядерных взрывов в атмосфере; 4- атомная энергетика; б) только от естественных источников: 5-космическое излучение; 6-излучение горных пород и материалов; 7-излучение продуктов питания и напитков; 8-радон и продукты его распада; 9-прочие источники.

При расчете доз, получаемых организмом, следует учитывать, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к облучению, чем другие. В частности, при одинаковой эквивалентной дозе поражение легких более вероятно, чем, например, щитовидной железы. Поэтому дозы облучения органов и биологических тканей следует учитывать с разными коэффициентами (рис.2). После умножения величины эквивалентной дозы для данного органа на соответствующий коэффициент и суммирования ее по всем органам и тканям получают *эффективную эквивалентную дозу*, отражающую суммарный эффект от облучения на организм. Эта доза также измеряется в *зивертах*.

Рассмотренные выше понятия дозы описывают только индивидуально получаемые дозы. При необходимости изучения эффектов действия радиации на большую группу людей вводится понятие *коллективной эффективной эквивалентной дозы*, которая равна сумме индивидуальных эффективных эквивалентных доз и измеряется в *человеко-зивертах (чел-Зв)*.

Поскольку многие, особенно естественные, радионуклиды распадаются очень медленно и будут действовать на население в отдаленном будущем, коллективную эффективную эквивалентную дозу от подобных источников радиации будут получать еще многие поколения людей, живущих на планете. В связи с этим было введено понятие *ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозы*, которая позволяет прогнозировать поражение группы людей от действия постоянных источников радиации.

Рассмотренные дозиметрические понятия на первый взгляд могут показаться слишком сложными, но они представляют собой логически последовательную систему, которая позволяет рассчитывать согласующиеся или сопоставимые друг с другом дозы облучения. Наглядно данная система понятий представлена на рис.3.

1.3. Радиация, которая нас окружает

Несомненно, для современного человека радиация представляет собой действительно опасный фактор окружающей среды. При больших дозах она может вызвать опасные поражения тканей, а при очень больших – даже привести к смерти. Относительно малые дозы менее опасны, но они в определенных пределах могут индуцировать генетические эффекты, аллергические заболевания, связанные с поражением иммунной системы, и многие другие болезни. Однако для основной массы населения опасные источники радиации вовсе не те, о которых больше всего говорят. Наибольшие дозы человек получает от естественных источников радиации и так называемого техногенно измененного радиационного фона, связанного с последствиями ядерных испытаний, распространением радиоактивных отходов атомной промышленности, аварий на атомных предприятиях. Кроме того, такая повседневная деятельность, как радиационная медицинская диагностика, приводит в целом к достаточно большим радиационным нагрузкам на население. Анализ вклада различных радиационных факторов в облучение населения приведен на рис.4, где в виде круговой диаграммы показано соотношение дозовых нагрузок на все население в зависимости от происхождения радиации. Из диаграммы видно, что в настоящее

время основная часть дозовой нагрузки на население формируется за счет двух факторов – естественных источников ионизирующей радиации (72%) и медицинских процедур (26%). При этом более 50% дозы от естественных источников оно получает от радиоактивного газа радона и продуктов его распада, которые попадают в организм человека с вдыхаемым воздухом. Остальная нагрузка связана приблизительно в равной мере с тремя источниками излучения: 1 - космической радиацией (13,7%); 2 - наружным (или внешним) облучением от почвы, горных пород, воды, стройматериалов и т.п. (15,9%), 3 - внутренним облучением, связанным с употреблением продуктов питания и воды, содержащих радионуклиды.

Доля облучения населения за счет атомной энергетики невелика (рис.4), однако в настоящее время она постоянно возрастает. На рис.5 представлена более подробная динамика изменения эффективной эквивалентной дозы облучения населения от таких источников радиации, как ядерная энергетика, ядерные взрывы в атмосфере, использование излучения в медицине по сравнению с естественным радиационным фоном Земли. Видно, что дозы, полученные при облучении в диагностических целях, остаются на уровне 20% от величины естественного фона. Дозы облучения от тропосферных выпадений в результате ядерных взрывов в атмосфере, достигавшие максимального значения 7% в начале 60-х годов, после заключения Договора об ограничении испытаний ядерного оружия снизились до 0,8 % от уровня естественного фона, хотя небольшое временное увеличение дозы наблюдалось в 1986г. как следствие Чернобыльской аварии. В противоположность этим тенденциям, дозы облучения, связанные с развитием ядерной энергетики, непрерывно возрастают от 0,001 % в 1965 году до 0,035 % в 1980 году. Простейший расчет показывает, что при существующем темпе роста производства энергии за счет ядерной энергетики и при отсутствии принципиально новых решений, которые обеспечили бы радиационную безопасность АЭС, вклад ее через 100 лет может сравниться с вкладом в облучение от медицинских процедур. Поэтому в настоящее время уделяется все больше внимания проблемам экологической безопасности окружающей среды и населения, связанным с развитием атомной энергетики.

Интересно рассмотреть вклад различных источников радиации в облучение населения Уральского региона. Развитие предприятий ядерно-топливного цикла на Урале привело к изменению естественного фона на огромных площадях за счет техногенного радиоактивного загрязнения. Это вызывает дополнительную радиационную нагрузку на население, иногда сопоставимую, а порой превышающую естественное облучение.

Если посмотреть на карту нашей страны, на которой отмечены предприятия атомного цикла (рис.6), то сразу видно, какую огромную радиационную нагрузку несет Урал. Детальная карта Уральского региона (рис.7.) показывает, что на этой территории проводились массовые подземные технологические ядерные взрывы (Пермская и Оренбургская области, Башкирская республика), наземные и подземные испытания ядерного оружия (Оренбургская область), производятся ядерные боеприпасы (Челябинская и Свердловская области), перерабатывается ядерное горючее (Челябинская и Свердловская области, Удмуртская республика), производится добыча и первичная переработка урана и

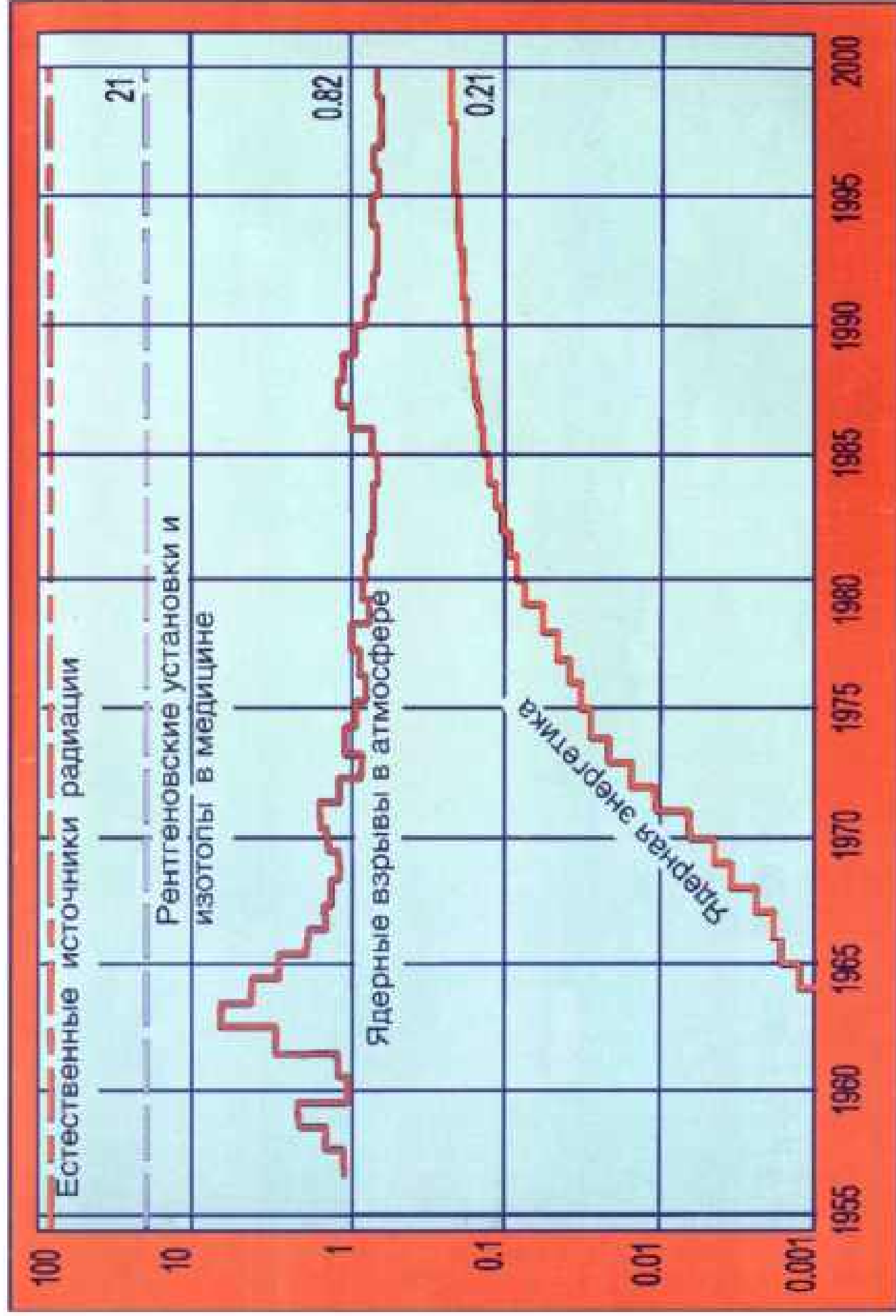


Рис.5. Изменение относительного вклада различных источников ионизирующей радиации в годовую эквивалентную дозу облучения населения. За 100 % принята доза от естественных источников радиации



Рис. 6. Схема расположения предприятий атомной промышленности на территории страны: 1-добыча и переработка ядерного сырья; 2-атомные электростанции; 3- атомные реакторы; 4- производство и уничтожение ядерного оружия; 5- ядерные полигоны; 6-испытание ядерного оружия вне полигонов; 7-базы, места расположения атомных подводных лодок и судов с атомными двигателями; 8-пункты захоронения атомных отходов

тория (Свердловская и Курганская области) и другие технологические процессы с использованием источников радиоактивного загрязнения.

В 1996г. мировая наука отметила столетие с момента открытия радиоактивности как фундаментального явления природы. Однако основные "достижения" исследований в области атомного ядра были подведены раньше. В 1945г. прогремел взрыв первой атомной бомбы, а в 1956г. дала электроэнергию первая атомная электростанция. Началась атомная эра человечества. Развитие атомной промышленности, испытания ядерного оружия, развитие ядерной энергетики вызывает много вопросов о воздействии радиации на человека и окружающую среду. К сожалению, достоверная научная информация по данному вопросу очень часто не доходит до населения, которое зачастую пользуется лишь всевозможными слухами. Поэтому, с одной стороны, аргументация противников атомной энергетики часто опирается на чувства и эмоции, а с другой - выступления сторонников развития атомной промышленности сводятся к мало обоснованным успокоительным заявлениям. В связи с этим представляется весьма интересным объективно рассмотреть сегодняшнюю ситуацию, которая имеет место в таком горно-промышленном регионе, каким является Урал.

При оценке радиационной обстановки любого региона обычно руководствуются следующими факторами:

- космической радиацией;
- природным радиационным фоном, создаваемым естественными радионуклидами (ЕРН);
- глобальными выпадениями радионуклидов из атмосферы;
- техногенно измененным радиационным фоном, обусловленным возведением зданий на территориях с повышенным уровнем радоновыделения и использованием в строительстве, производственной деятельности и быту материалов с повышенным содержанием ЕРН;
- деятельностью на территории региона предприятий ядерно-энергетического комплекса и атомной промышленности;
- наличием на территории региона пунктов временного хранения радиоактивных материалов и пунктов захоронения радиоактивных отходов;
- последствиями радиоактивного загрязнения территории в результате подземных ядерных взрывов, испытаний ядерного оружия, радиационных аварий и деятельностью предприятий по обогащению и переработке минерального сырья с высоким содержанием ЕРН.

Кроме того, важнейшими источниками воздействия ионизирующих излучений на человека по-прежнему остаются медицинские диагностические и лечебные рентгено-радиологические процедуры. Несмотря на большой вклад этого фактора в облучение, влияние его в настоящей книге не рассматривается, поскольку он, с одной стороны, находится под контролем медицинских организаций, а с другой – использование радионуклидов и ионизирующих излучений в медицине пока необходимо для поддержания и сохранения здоровья людей.

Рассмотрим последовательно все указанные выше факторы применительно к Уральскому региону.

ГЛАВА 2. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА УРАЛЕ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ПРИРОДНЫМ ФОНОМ

2.1. Эколого-радиогеохимические зоны Урала

Урал представляет собой геологически четко выраженную линейную складчатую систему, разделяющую две крупные структуры Земли: Восточно-Европейскую платформу и Западно-Сибирскую плиту. В пределах этой системы с запада на восток выделяются следующие основные тектонические структуры: Западно-Уральская внешняя зона складчатости, Центрально-Уральское краевое поднятие, Главный (Тагиль-Магнитогорский) прогиб, Восточно-Уральское поднятие, Восточно-Уральский прогиб, Зауральское поднятие. Естественная радиоактивность почв и горных пород Уральского региона связана с особенностями строения и составом указанных тектонических структур.

Естественный радиационный фон в пределах Урала обусловлен геолого-геофизическими особенностями указанных зон и определяется природными минералами и горными породами, содержащими в том или ином количестве естественные радиоактивные элементы (ЕРН). Это уран-238 и торий-232 с дочерними продуктами распада и калий-40. Последний содержится в природном калии в виде радиоактивной добавки в количестве 0,012%. Естественный радиационный фон Уральского региона достаточно мозаичен. Эта мозаичность обусловлена наличием на территории Урала эколого-радиогеохимических зон, каждая из которых имеет свое специфическое геологическое строение, свои особые породные комплексы, обогащенные естественными радионуклидами, характерные скопления радиоактивной минерализации.¹ В пределах каждой из этих зон выделяются площади с повышенной радиоактивностью почв и горных пород, участки с повышенным радононаделением. Выделение таких площадей и участков производилось по критерию концентраций урана-238 и тория-232 в горных породах, радона-222 и радона-224 в почвенном воздухе и воде и связанной с этим величине радиационного фона. На аномальных участках концентрация радия превышала 3 г/т, радона в почвенном воздухе - 30-40 кБк/м³, радона в воде - 60 Бк/л, а величина радиационного фона превышала 0,15 мкЗв/ч. Кроме того, для Урала характерно распространение многочисленных гранитных интрузий, зон разломов и участков их пересечения, которые характеризуются повышенной проницаемостью и, как следствие, наличием локальных скоплений радионуклидов в горных породах. Все это в совокупности позволило провести эколого-радиогеохимическое районирование Уральского региона с выделением соответствующих зон.

Карта-схема эколого-радиогеохимического районирования для наиболее заселенной части Уральского региона представлена на рис.8.

Висимская зона (I) начинается западнее Качканара, продолжается на юг, проходит через Первоуральск, Михайловск, Нязепетровск и плавно переходит в Верхнеуфалейско-Златоустовскую зону в Челябинской области.

Радиоэкологический потенциал зоны оценивается как высокий. В ней широко распространены различные по составу горные породы, характеризующиеся

¹ Впервые понятие "эколого-радиогеохимических" зон было введено и сформулировано В.Д.Ильиным в 1991г при анализе материалов радиоэкологических исследований по Уралу

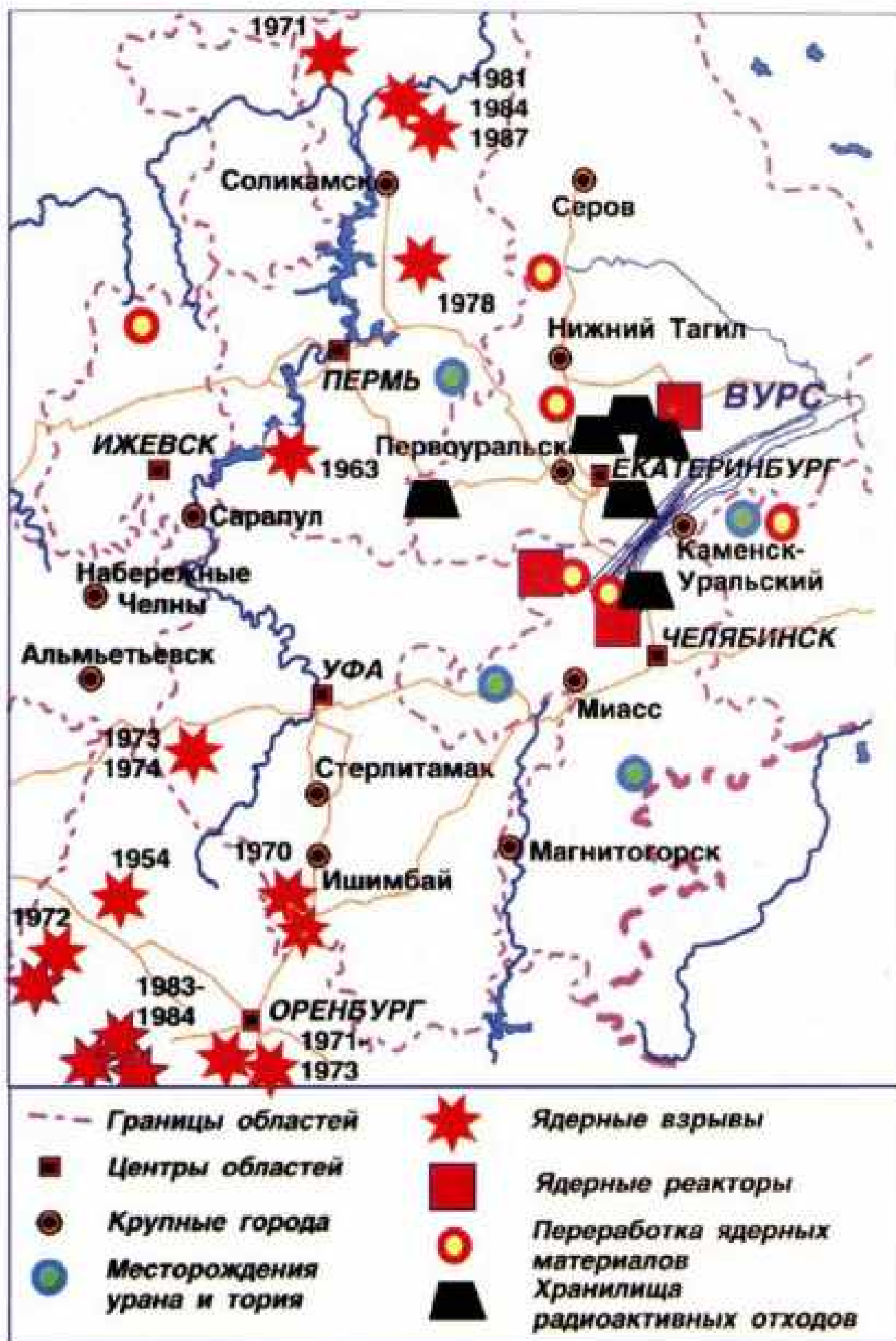
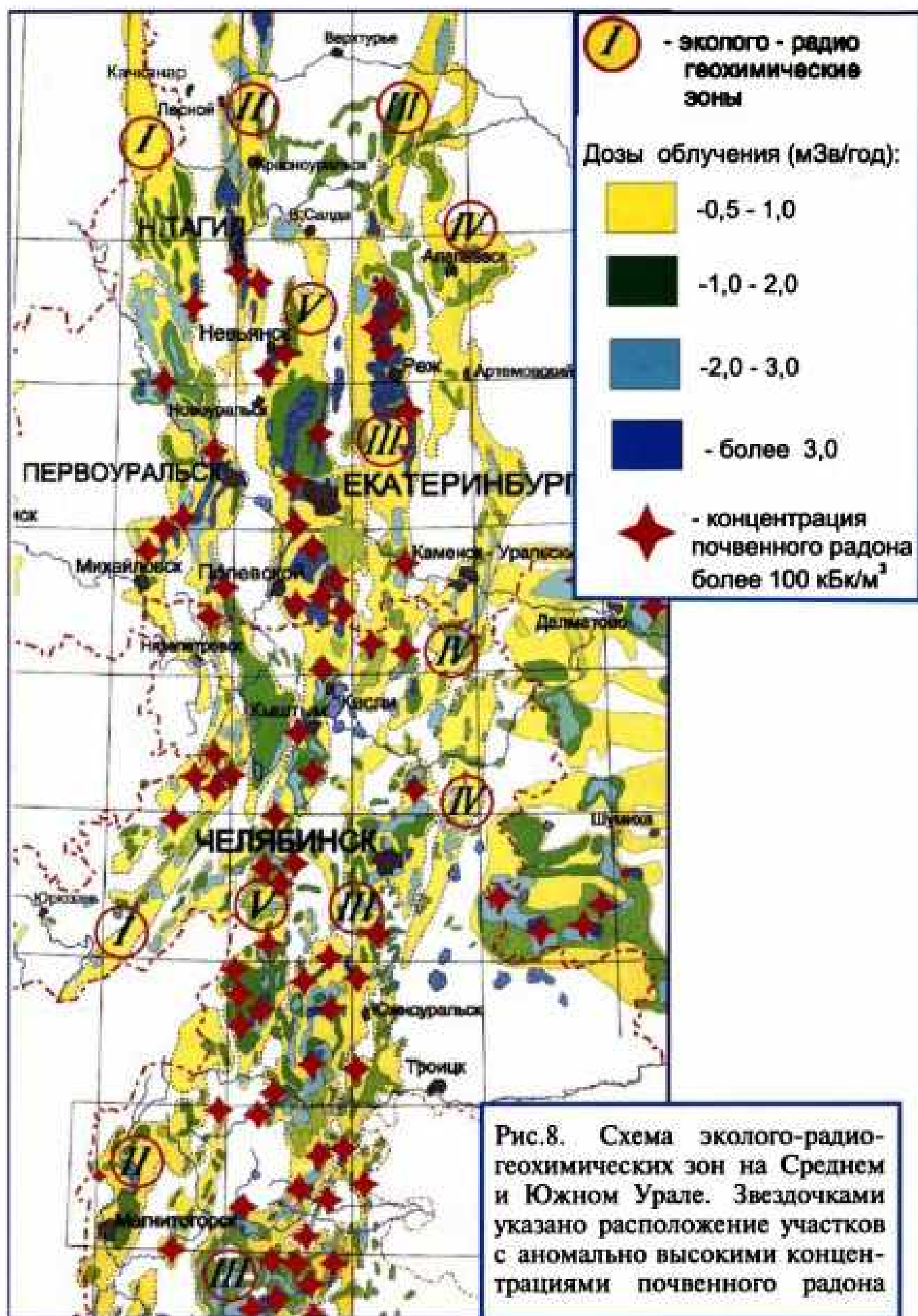


Рис.7. Схема расположения предприятий ядерно-топливного цикла в Уральском регионе



высоким содержанием радиоактивных элементов. По данным аэрофотосъемки и наземных радиометрических работ, зона характеризуется повышенным гамма-фоном и приуроченностью к ней многочисленных аномалий. В её пределах обнаружено 35 локальных радоноопасных участков. Отчетливо фиксируются аномальные участки, связанные с развитием тектоники (Южно-Билимбаевский и Верхне-Сергинский). Концентрация радона в почвенном воздухе здесь колеблется от 30 до 1480 кБк/м³ при уровне фона 5-10 кБк/м³. В пределах зоны отмечены многочисленные проявления радоновых вод. Максимальные концентрации радона в воде составляют 360, 260, 260, 550, 100, 120, 850, 185 Бк/л соответственно в Кедровском, Алшкинском, Висимо-Уткинском, Висимском, Тановском, Билимбаевском и Ильненском ареалах.

Потенциальная экологическая опасность Висимской зоны в основном касается населенных пунктов Билимбай, Первоуральск, Ревда, Верхние Серги и связана с Северо-Билимбаевским, Южно-Билимбаевским, Шайтанским, Первоуральско-Ревдинским, Верхне-Сергинским радоноопасными участками.

Тагильская зона (II) приурочена к Главному (Тагито-Магнитогорскому) прогибу. Повышение радиационного фона и уровня радоноразделения здесь связано с известной урановой и уран-ториевой минерализацией, которая ассоциируется с железной рудой. Рейтинг радонового потенциала зоны оценивается как высокий.

В пределах Тагильской зоны оговорено 32 локальных радоноопасных участка. Их потенциальная опасность подтверждается измерениями концентрации радона в почвенном воздухе: Турьинский - до 35, Лялинский - до 133, Ясьвинский - до 445 кБк/м³. В районе Кушвы (Вапучевское железорудное месторождение) были выявлены концентрации радона в почвенном воздухе до 375, вблизи п. Лая - до 200, в районе Нижнего Тагила - до 500 кБк/м³.

По данным радиогидрогеологических исследований в Тагильской зоне выделено несколько ареалов подземных вод с повышенными концентрациями радона. Наиболее высокое содержание радона обнаружено в Краснотурьинском (300), Турьинском (104), Лялинском (420), Волковском (145), Лайском (185), Нижнетагильском (844) и Салдинском (166 Бк/л) ареалах.

Потенциальная экологическая опасность от радона в почвенном воздухе и подземных водах существует для жителей Нижнего Тагила, Кушвы, Краснотурьинска, Волчанска, Красноуральска и других населенных пунктов, которые расположены в пределах Тагильской зоны.

Мурзинско-Камышевская зона (III) расположена на восточном склоне Уральских гор. Она проходит через центральную часть Урала и на юге замыкается Челябинск-Суудукской зоной. К гранитам этой зоны и их корам выветривания, выделяющимся на общем гамма-поле относительно высоким фоном, пространственно тяготеет множество проявлений радиоактивной минерализации. Повышенное содержание радионуклидов, особенно тория, наблюдаются также в россыпях редкоземельной минерализации, приуроченных к современным речным отложениям. Здесь по совокупности основных факторов радоноразделения оговорено 24 локальных потенциально радоноопасных участка, которые объеди-

находятся в пять потенциально радоноопасных площадей, одна из которых - Карасьевская - находится в Челябинской области.

В пределах Мурзинско-Камышевской зоны, по данным радиогидрологических исследований, выявлено несколько довольно обширных ареалов радоносодержащих вод: Луковский (до 235), Сусанский (до 660), Липовский (до 1900), Южаконский (до 1740), Костоусовский (до 3300), Малышевский (до 28700), Камышевский (до 1300 Бк/л) и др. Высокая потенциальная радоноопасность Мурзинско-Камышевской зоны, особенно в пределах локальных площадей, подтверждается результатами эманационных съемок. Аномальные концентрации радона в почвенном воздухе на Соколовской локальной площади достигают 670, Луковской - 1100, Малышевской - 440, Головыринской - 330 кБк/м³.

Основными населенными пунктами в этой зоне являются Мезенское, Большебруснянское, Марамзино, Камышево, Головырино, Шилово, Пляст и другие. В северной части Мурзинско-Камышевской зоны расположены такие крупные населенные пункты, как Асбест, Реж, а также примыкающие к ним поселки и деревни.

Концентрация радона в воде Липовского месторождения радоновых вод составляет 600-800 Бк/л. Ввиду отсутствия других источников питьевого водоснабжения жители района вынуждены использовать радоносодержащую воду для питья и других хозяйственных нужд. В п. Костоусово концентрация радона в воде артезианских скважин, используемой для питья, колеблется от нескольких сотен до нескольких тысяч Бк/л.

В Восточно-Уральскую (Алапаевско-Копейскую) зону (IV) включены площади на восточной оконечности Урала, где Урал переходит в Западно-Сибирскую платформу. Зона отчетливо выделяется по комплексу признаков. По данным аэро- и наземных гамма-съемок, в ее пределах зафиксировано большое количество локальных аномалий с повышенными концентрациями радионуклидов. Многие из этих аномалий связаны с бокситоносными и лигнитоносными отложениями, в которых обнаружены проявления урановой минерализации.

В пределах Восточно-Уральской зоны отмечено 22 потенциально радоноопасных участка по проявлению двух или более факторов. Один (основной) из этих факторов - повышенное содержание радионуклидов в горных породах, другой - благоприятные для радоновыделения проницаемые структуры.

На территории зоны расположено Первомайское месторождение огнеупорных каолиновых глин (Каменский район между поселками Сипыва и Новый Быт), где в пятнах лигнитоносных глин обнаружено повышенное (более 0,03%) содержание урана. На месторождении выделено 7 ураноносных линз, залегающих на глубине 24-67 м и имеющих площадь 45-60 тыс.м² каждая. Лигнитоносные глины с повышенным содержанием радионуклидов известны и в других частях Каменского района.

Участки таких глин могут быть источниками выделения радона в атмосферный воздух, особенно в местах вскрытия их скважинами, горными выработками и при наличии зон тектонических нарушений. Поэтому локальные, даже слабоинтенсивные аномалии приобретают важное значение при выявлении участков с повы-

шенным уровнем радоновыделения. Это отчетливо зафиксировано на Первомайском месторождении, где в пределах слабоинтенсивной аэрогамма-аномалии в 0,06 мкЗв/ч объемная активность радона в почвенном воздухе равна 233 кБк/м³. Содержание в воде урана здесь достигает $7,8 \cdot 10^{-5}$ г/л, а радона - до 820 Бк/л.

Район п. Кодинка, известный как Кодинская радиогидрологическая аномалия, расположен на левом берегу р.Исеть в 5 км от г.Каменск-Уральского. В Кодинской аномалии при радиогидрологическом обследовании тринадцати родников и восьми колодцев также выявлены повышенные концентрации радона от 270 до 2400 Бк/л. Эманиационной съемкой по трем профилям, расположенным вблизи наиболее радиоактивных источников, установлена концентрация радона в почвенном воздухе до 92 кБк/м³.

Почти все выделенные локальные потенциально радоноопасные районы в пределах рассматриваемой эколого-радиохимической зоны в различной степени заселены. Потенциальная экологическая опасность от радона существует для таких крупных населенных пунктов, как Алапьевск, Каменск-Уральский, Сухой Лог, Богданович, Артемовский, Южноуральск и пр.

Сысертско-Ильменогорская зона (V) начинается севернее Екатеринбурга и заканчивается в пределах Челябинской области. В границах этой зоны выделяют участок радиоактивной минерализации, приуроченный к Верх-Исетской и Шарташской интрузиям гранитов. Здесь же, в осадках современных рек, обнаружены россыпи радиоактивных редкоземельных минералов. Урановая минерализация найдена и на Пышминском медно-кобальтовом месторождении и ряде других рудных месторождений. Отмечаются проявления урана в углеродистокремнистых сланцах, а также в современных озерных отложениях. По сравнению другими эколого-радиохимическими зонами радиозоологический потенциал рассматриваемой зоны оценивается как максимальный.

В северной части зоны выделено 25 локальных потенциально радоноопасных площадей, которые объединены в три крупных района - Верх-Исетский, Свердловский и Березовско-Арамильский. Выявленные аномальные концентрации радона в почвенном воздухе для указанных выше площадей составляют: для Таволгинской П - до 163, Коневской - до 85, Шайтанско-Щитовской - до 90, Свердловской - до 150, Палкинской - до 145, Верх-Исетской - до 160, Верхне-Макаровской - до 180, Северной П - до 260, Шарташской - до 230, Березовской - до 370, Восточно-Полевской - до 80 кБк/м³. В пределах некоторых площадей (Исетская, Шарташская) выявлены ареалы радоносодержащих вод с концентрацией радона в пределах 190 - 220 Бк/л.

Потенциальная экологическая опасность данной зоны распространяется на площади, в пределах которых располагаются Екатеринбург, Верхняя Пышма, Березовский, Среднеуральск, Арамиль, поселки Медный, Верхнемакарово, Сысерть, Кашино, Кадниково, Черданцево. При этом Екатеринбург подвергается воздействию сразу четырех локальных площадей. Из них Верх-Исетская охватывает западную часть города, Свердловская - центральную, Шарташская - восточную, Горнопиттская - южную часть Екатеринбурга.

В пределах юга Сысертско-Ильменогорской зоны выделены четыре потенциально радоноопасные локальные площади, в которых отчетливо проявлены

все основные факторы радоновыделения, в том числе и прямые признаки повышенной эмиссии радона из земли. В наибольшем объеме эманационные измерения проводились в междуречье рек Черной и Сысерти (Верх-Сысертская потенциально радоноопасная локальная площадь), где в урочище Карандашный увал (к северу от п. Верхняя Сысерт) концентрации радона в почвенном воздухе достигают в среднем 1900 кБк/м^3 при максимальном значении 7700 кБк/м^3 . Здесь же выявлен Верх-Сысертский ареал вод с концентрациями радона до 550 Бк/л . В пределах Челябинской области в эту зону попадают такие населенные пункты, как Касли, Кыштым, Чебаркуль и др.

Несмотря на то, что на большей части территории зона мало заселена, потенциальная ее опасность не исчерпывается указанными населенными пунктами. В этой зоне расположено большое количество пунктов отдыха населения Екатеринбурга, Челябинска и других городов, что определяет необходимость оценки радиозоологической обстановки в пределах указанного региона.

2.2. Космическое излучение

Влияние космического излучения испытывают на себе все жители Земли, в том числе и Уральского региона. Считается, что эти лучи приходят на Землю из глубин Вселенной, но некоторая их часть рождается на Солнце во время солнечных вспышек. Космические лучи, состоящие в основном из протонов, взаимодействуют с атмосферой Земли, порождая вторичное космическое излучение и образование различных радионуклидов. Земное магнитное поле отклоняет заряженные космические частицы, поэтому Северный и Южный полюса Земли получают больше космической радиации, чем ее экваториальные области. За счет космического излучения в средних широтах, в частности на Урале, через тело человека пролетает каждую секунду в среднем 10-15 космических частиц. Уровень облучения возрастает с увеличением высоты местности над уровнем моря, так как при этом уменьшается толщина слоя воздуха, играющего роль защитного экрана (рис.9).

Люди, живущие на уровне моря, получают от космических лучей эффективную эквивалентную дозу в среднем около 350 мкЗв/год . Для людей, живущих на высоте 2000 метров над уровнем моря (например, г.Мехико), эта величина в 3,5 раза больше. При подъеме до высоты 4000 метров над уровнем моря величина дозы увеличивается еще более чем в два раза. При полете на авиалайнере (высота 10000 - 12000 метров) уровень облучения за счет космических лучей возрастает еще почти в 15 раз.

При перелете из Нью-Йорка в Париж пассажир обычного турбореактивного самолета получает дозу около 50 мкЗв , а пассажир сверхзвукового лайнера (например, "Конкорда") - на 20 % меньше, хотя подвергается более интенсивному облучению. Это объясняется тем, что во втором случае перелет занимает гораздо меньше времени. Эквивалентная доза облучения летного состава за 4 часа полета по маршруту Екатеринбург - Москва - Екатеринбург составляет около 7 мкЗв . В целом за счет использования воздушного транспорта человечество получает в год коллективную эффективную эквивалентную дозу около 2000 чел-Зв .

Доза облучения, создаваемая космическими лучами, составляет 13-14% от дозы облучения, получаемой населением от естественных источников (рис.4).



Рис.9. Зависимость дозы космического излучения от высоты местности над уровнем моря



Рис.10. Изменение среднегодовых концентраций цезия-137 и стронция-90 в воздухе в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере и Чернобыльской аварии

На Урале вклад космического излучения составляет около 400 мкЗв в год на человека, а коллективная доза, получаемая уральцами в течение года, равна около 1000 чел-Зв.

2.3. Тропосферные выпадения

Наряду с космическими лучами, жители Земли испытывают на себе воздействие тропосферных радиоактивных выпадений, которые являются последствием проведения ядерных взрывов в атмосфере. Максимальное количество выпадений приходилось на два периода (1954-1958 гг. и 1961-1962 гг.), когда на земную поверхность выпадало большое количество искусственных радионуклидов, за счет которых заметно увеличился радиационный фон Земли.

Суммарная мощность ядерных взрывов, проведенных в атмосфере в период с 1954 по 1968 гг., составила около 150 Мт. После каждого взрыва около 50% образующихся радиоактивных продуктов выпадает на земную поверхность в радиусе около 100 километров от эпицентра взрыва. Наиболее мелкие частицы (размером менее 10 мкм) попадают в стратосферу и там задерживаются на высоте 10-50 км на многие месяцы и годы, а затем переходят в тропосферу и медленно выпадают на различных участках земной поверхности. Глобальные выпадения из тропосферы определяются в основном долгоживущими продуктами деления (цезием-137, стронцием-90, тритием, углеродом-14) и остатками ядерного заряда (ураном-235, ураном - 238, плутонием-239). Причем суммарная радиоактивность некоторых из указанных элементов в атмосфере может быть даже выше, чем их природное содержание в земной коре. Например, природное содержание трития на Земле оценивается в $5 \cdot 10^{12}$ Бк, а поступление его в атмосферу в результате ядерных взрывов оценивается в $2,4 \cdot 10^{28}$ Бк. Содержание углерода -14, образовавшегося в атмосфере под воздействием космических лучей, оценивается в 10^{15} Бк, а суммарная активность углерода-14, накопившегося в результате испытаний ядерного оружия, составляет $220 \cdot 10^{15}$ Бк. В атмосфере накопились также огромное количество цезия-137 ($6 \cdot 10^{17}$ Бк) и стронция-90 ($9,6 \cdot 10^{17}$ Бк), хотя эти радионуклиды в естественной природной среде вообще не образуются. Цезий-137 и стронций-90, имеющие периоды полураспада соответственно около 30 и 28 лет, только за счет атмосферных выпадений еще долго будут вносить заметный вклад в облучение жителей Земли. Из рис.10 видно, что эти два радионуклида попали в атмосферу как за счет ядерных испытаний, так и в результате Чернобыльской аварии, а наблюдающийся спад их радиоактивности во времени происходит за счет их естественного распада.

Наряду со стронцием-90 и цезием-137, углерод-14 в отдаленном будущем тоже долго будет оставаться источником внешнего облучения жителей Земли, поскольку его период полураспада (5730 лет) достаточно велик. К 2000г. он потерял только 7% от своего запаса в атмосфере, созданного как естественными причинами (космическими лучами), так и в результате ядерных взрывов. Остальное его количество будет медленно поступать в приземные слои и вместе с другими радионуклидами участвовать в формировании дозы облучения за счет тропосферных выпадений. Суммарная ожидаемая эффективная эквивалентная доза от всех ядерных взрывов в атмосфере и накопленных там к настоящему времени радионуклидов составит $3 \cdot 10^7$ чел-Зв. К 1980 году человечество полу-

чило лишь 12% от этой дозы. Остальную часть оно будет получать еще многие тысячи лет.

В настоящее время уровень облучения за счет тропосферных выпадений снизился по сравнению с уровнем 60-х годов почти на порядок величины и составляет около 10% от той дозовой нагрузки, которую население Земли получает от космического излучения.

2.4. Горные породы и строительные материалы

Внешнее облучение за счет естественного фона определяется в основном окружающими нас горными породами и стройматериалами. Основными радиоактивными изотопами, встречающимися в горных породах Земли, являются калий - 40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало от урана - 238 и тория - 232. Эти изотопы существуют на Земле с самого ее рождения.

Уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином месте земной коры. В местах проживания основной массы населения они примерно одного порядка. Почти 90% населения Урала проживает на территории, где мощность облучения составляет в среднем от 0,3 до 0,6 мЗв в год.

Аномально большие уровни естественного фона давно известны на Земле. Уникальны, например, некоторые курорты Бразилии, где на отдельных пляжах зарегистрирован уровень радиации почти 200 мЗв в год, что в 400 раз выше средних величин для жителей Земли. В Индии известна прибрежная полоса океана с уровнем радиации 18-20 мЗв/год, что в 50 раз выше среднего. На Урале известна такая зона в районе поселков Озерный и Костоусово, где уровень естественной радиации достигает 120-150 мЗв год. Все эти участки земной коры связаны с наличием в ее поверхностном слое песков, богатых торием, которые получили название "монацитовых песков" по названию торийсодержащего минерала - монарита.

Районы многочисленных гранитных интрузий на Урале характеризуются повышенным содержанием урана и тория, где уровень гамма - радиации достигает 2,0 – 2,5 мЗв в год, что в три - четыре раза больше средней мировой величины.

Таблица 2.1. Средняя эквивалентная доза внутри помещений в зависимости от типа домов

№	Тип жилых зданий	Доза, мЗв / год
1	Деревянные	0,4±0,04
2	Плакозаливные и плакоблочные	0,56±0,05
3	Кирпичные старые	0,63±0,05
4	Кирпичные пятиэтажные	0,67±0,04
5	Кирпичные высотные	0,74±0,04
6	Блочные пятиэтажные	0,81±0,03
7	Панельные и крупнопанельные	0,83±0,03

Радиационное воздействие на население за счет строительных материалов существенно зависит от качества материалов, которые используются при возве-

дении жилища. В промышленности стройматериалов традиционно применяют гранит, отходы горноперерабатывающих предприятий, золоотвалы электростанций. До последнего времени контроль за содержанием урана и тория в этих материалах, как правило, не проводился. Анализ уровней радиации в жилых помещениях Свердловской области приведен в таблице 2.1.

Данные таблицы свидетельствуют о существенном (более чем в два раза) превышении дозы облучения людей, живущих в современных домах, по сравнению с деревянными. Это связано в основном с использованием в качестве наполнителя бетона гранитного щебня, имеющего повышенное содержание естественных радиоактивных элементов. Вместе с тем известно, что гранитный щебень различных карьеров заметно различается по содержанию урана. Например, наиболее радиационно безопасными являются граниты Исетского, Курманского, Еланского и Северного месторождений, которые и рекомендуются в основном для использования при строительстве жилых зданий. Для этих гранитов характерна концентрация урана-радия менее 50 Бк/кг, в то время как средняя концентрация этих элементов в гранитах других месторождений достигает 150-400 Бк/кг.

Снижение дозовой нагрузки в жилищах возможно при использовании строительных материалов, содержащих в качестве наполнителя ультраосновные и основные горные породы (перидотиты, серпентиниты, дуниты), которые создают в помещениях наименьшее гамма-поле. Эти типы пород не только содержат минимальное количество естественных радионуклидов (урана, тория, калия-40), но ввиду повышенной плотности обладают ещё и защитными свойствами от внешнего гамма-излучения.

В г.Асбесте были построены экспериментальные здания с применением щебня из Баженовского месторождения асбеста. Состав щебня – серпентинит, плотность которого приблизительно на 10-15% больше плотности гранита, а содержание урана, тория и калия-40 в нем в среднем соответственно в 10, 7 и 4 раза меньше чем в граните. В этих домах мощность дозы гамма-излучения составила в среднем около 0,065 мкЗв/час, что в 2,5 - 4,0 раза меньше, чем в панельных домах, построенных с применением щебенки из гранита, добываемого в Шартапском карьере (0,15-0,25 мкЗв/час).

Проблема снижения радиационного фона в жилых домах за счет применения в качестве наполнителя бетона горных пород не кислого (гранит), а основного состава (серпентинит, дунит), которые в большом количестве имеются на Урале, требует тщательного изучения.

2.5. Продукты питания и питьевая вода

Примерно 15 % эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, создают радионуклиды, поступающие в организм с пищей и водой. К числу таких радионуклидов земного происхождения в первую очередь могут быть отнесены представители радиоактивных рядов урана и тория, а также калий-40, поступающий в организм вместе со стабильными изотопами этого элемента. В среднем человек получает дозу облучения около 0,18 мЗв/год только за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для его жизнедеятельности. Однако значительно большую дозу внут-

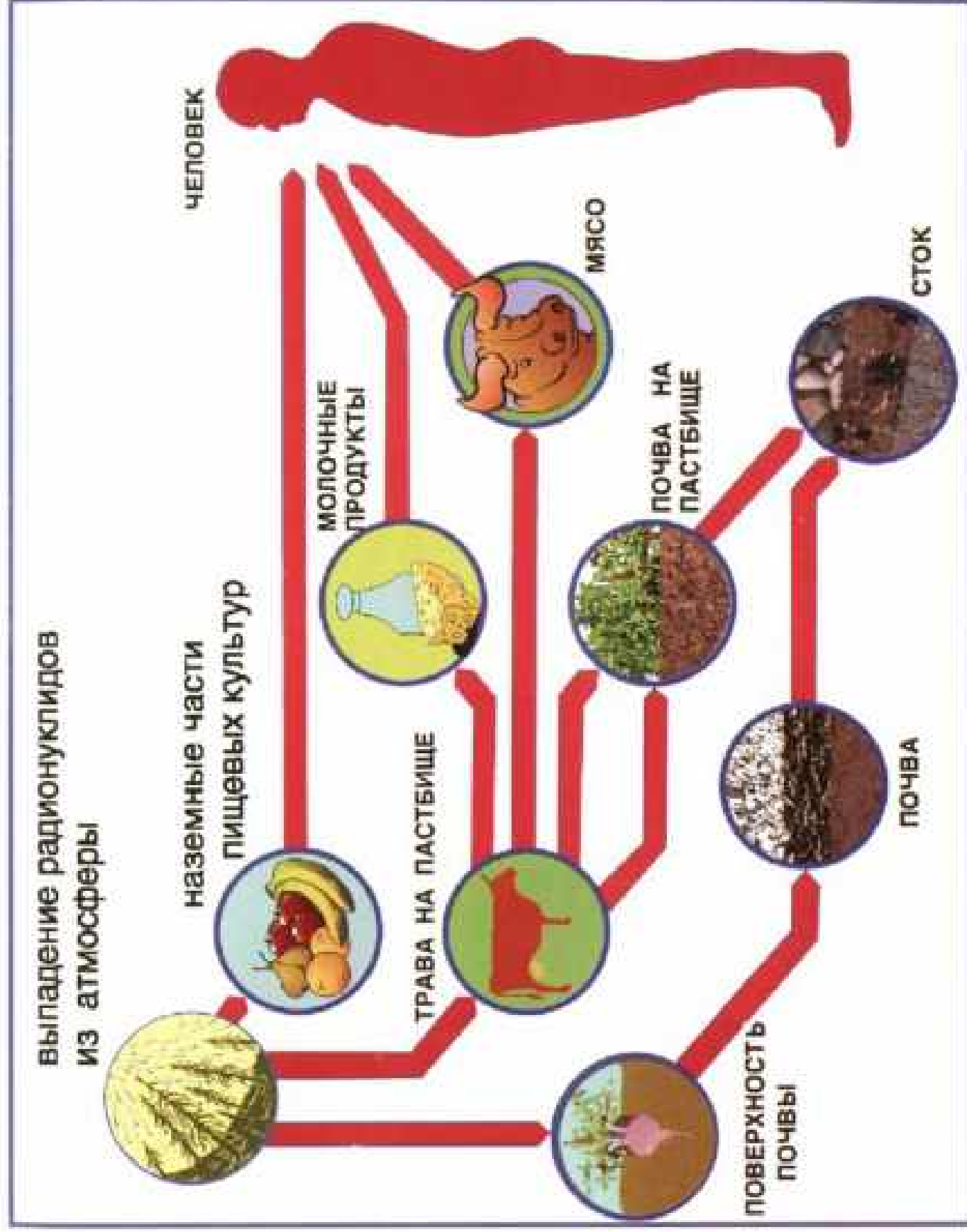


Рис.11. Схема распространения радионуклидов в окружающей среде и поступления их в организм человека

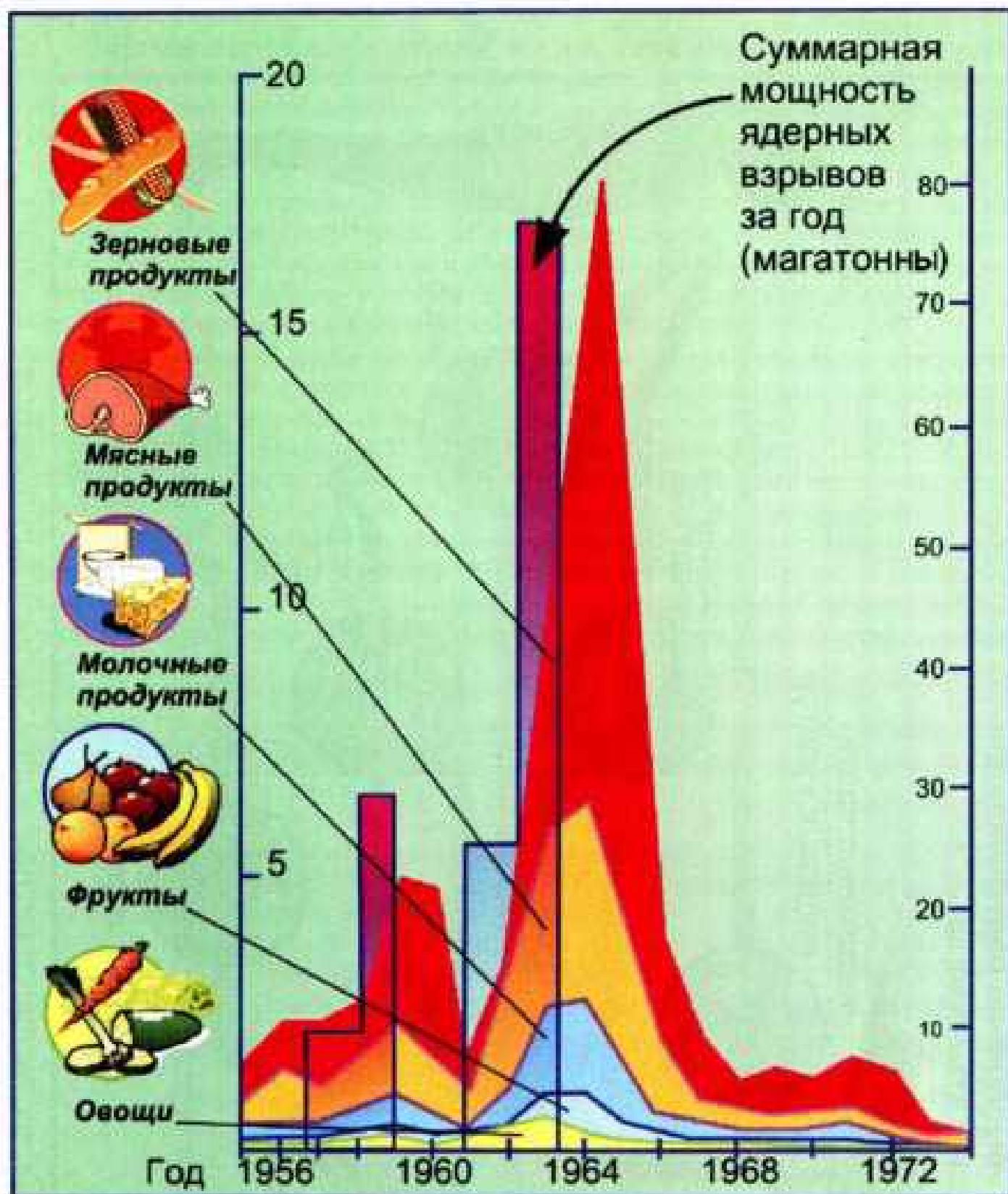


Рис.12. Динамика изменения содержания цезия-137 в различных продуктах питания как следствие испытаний ядерного оружия в атмосфере (Бк на 1г калия)

скольких часов находятся в организме инертные газы: радон, торон, ксенон, криптон.

Одни радиоактивные вещества распределяются в организме более или менее равномерно, другие концентрируются в определенных органах и тканях (табл. 2.2).

Таким образом, в пищу попадают все естественные радиоактивные элементы, однако их состав и получаемая от них доза облучения сильно зависят от радиохимической обстановки, в которой проживает человек. Внутреннее облучение каждого конкретного организма отражает радиационную ситуацию региона проживания. Колебания концентраций естественных радионуклидов, содержащихся в продуктах питания на Урале, не влияют существенным образом на дозу внутреннего облучения человека. Однако для жителей Уральского региона эта доза несколько выше, чем средняя в мире и составляет около 0,45 мЗв/год.

2.6. Радон и радоновая проблема на Урале

Проблема радона стала в последние годы одной из главных в радиационной гигиене, поскольку излучение этого радионуклида обеспечивает больше половины годовой индивидуальной дозы облучения населения от естественных источников (рис.4). Эта проблема еще более важна для Уральского региона, радиохимическая ситуация в котором отягощена наличием большого количества участков коры с урановой и ториевой минерализацией (рис.8).

Как уже отмечалось, земная кора с самого начального момента своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, которые формируют естественный радиационный фон. Это радиоактивные изотопы калий-40, рубидий-87 и члены трех радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238, урана-235 и тория-232. Считается, что эти материнские нуклиды имеют возраст Земли, им около 4,5 млрд. лет. Они и сохранились только потому, что периоды полураспада основателей радиоактивных семейств очень велики и составляют для урана-238 – $4,5 \cdot 10^9$ лет, урана-235 – $0,7 \cdot 10^9$ лет, тория – $14 \cdot 10^9$ лет, калия-40 – $1,48 \cdot 10^9$ лет.

Члены радиоактивных семейств жестко связаны между собой. Каждое звено радиоактивного ряда образуется со скоростью, определяемой периодом полураспада предыдущего нуклида, а распадается в соответствии с собственным периодом полураспада. Таким образом, через некоторое время в радиоактивных цепочках устанавливается равновесие, это означает - сколько дочерних элементов распадается, столько же и рождается в соответствии с периодами полураспада материнских нуклидов. Преобразование каждого радионуклида сопровождается несколькими видами излучения (альфа-, бета-, гамма-излучение). После длинной цепи радиоактивных превращений остаются лишь стабильные изотопы свинца. Схемы распада для уранового и ториевого семейств от радия до свинца представлены на рис.13. Единственным газообразным продуктом, который рождается в процессе распада этих семейств, является радон. Наибольший вклад в газовую составляющую естественных радиоактивных элементов вносят радиоактивные семейства урана-238 и тория-232, в процессе распада которых образуются радон-222 и радон-220 (последний очень часто называют «тороном» по имени исходного материнского нуклида).

Радон - это инертный газ без цвета и запаха, он почти в 10 раз тяжелее воздуха, точка его кипения -65°C , он прекрасно растворяется в воде. Радон, как

и его родители, является альфа - излучателем. В процессе распада уран-238 и торий -232 продуцируют целое семейство других альфа- излучателей, которые в целом называются дочерними продуктами распада (ДПР). В отличие от радона и торона, ДПР представляют собой не газы, а твердые вещества - нестабильные изотопы свинца, висмута, полония и таллия, которые сами по себе являются мощными источниками альфа-излучения. Например, при полном цикле распада урана-238 выделяется 8 альфа-частиц, из которых 4 приходится на радон и его ДПР. Из них первые 4 альфа-частицы выделяются с периодом полураспада около 1 млрд лет (распад уран - радий), следующие 3 - с периодом полураспада 3,825 дня, а последняя (свинец-210) - с периодом 22,3 года. Это означает, что интенсивность альфа-излучения радона и его ДПР во много раз выше интенсивности альфа-излучения собственно урана и радия, вместе взятых. В семействе тория из 6-ти выделяемых альфа-частиц половина генерируется за время, равное периоду полураспада тория - 14 млрд. лет, а другая половина - за 11-12 часов.

Вредное влияние радона на человеческий организм было замечено еще в XVI веке, когда таинственная «горная болезнь» шахтеров, работавших на серебряных рудниках, длительное время привлекала внимание медиков: смертность от рака легких среди рудокопов была в 50 раз выше, чем среди прочего населения. Значительно позже анализ причин смерти работников шахт на урановых рудниках в Южной Германии и Чехословакии показал, что от 30 до 50 % горняков, работавших в этих рудниках, умирали от рака легких. После выявления этого факта работы по изучению радиационного воздействия радона на организм стали интенсивно развиваться.

Таблица 2.3. Сравнение степени радонового риска с риском от рентгеноскопических исследований и курения

Концентрация радона Бк / м ³	Ожидаемое количество смертей от рака легких, вызванного радоном, в расчете на 100000 чел.	Эквивалентный риск		
		Сравнимый уровень воздействия	Внешнее облучение, мЗв / год	Сравнимый риск
7400	440-770 (45-63)	в 1000 раз больше уровня открытого пространства	280,0	в 60 раз больше, чем у выкуривающего 2 пачки сигарет в день
3700	270-630 (21-38)	в 100 раз больше уровня в помещении	140,0	2000 рентгеноскопий в год
1480	120-380 (14-17)		56,0	курение 2 пачек сигарет в день
740	60-200 (7-9)	в 100 раз больше уровня открытого пространства	28,0	курение 1 пачки сигарет в день
370	30-120 (4)	в 10 раз больше уровня в помещении	14,0	500 рентгеноскопий в год
148	13-50 (2)	в 10 раз больше уровня открытого пространства	5,6	курение полпачки сигарет в день
74	7-30 (1)	уровень в помещении	2,8	риск некурящего
37	3-13 (0,4)	уровень открытого пространства	1,4	20 рентгеноскопий в год

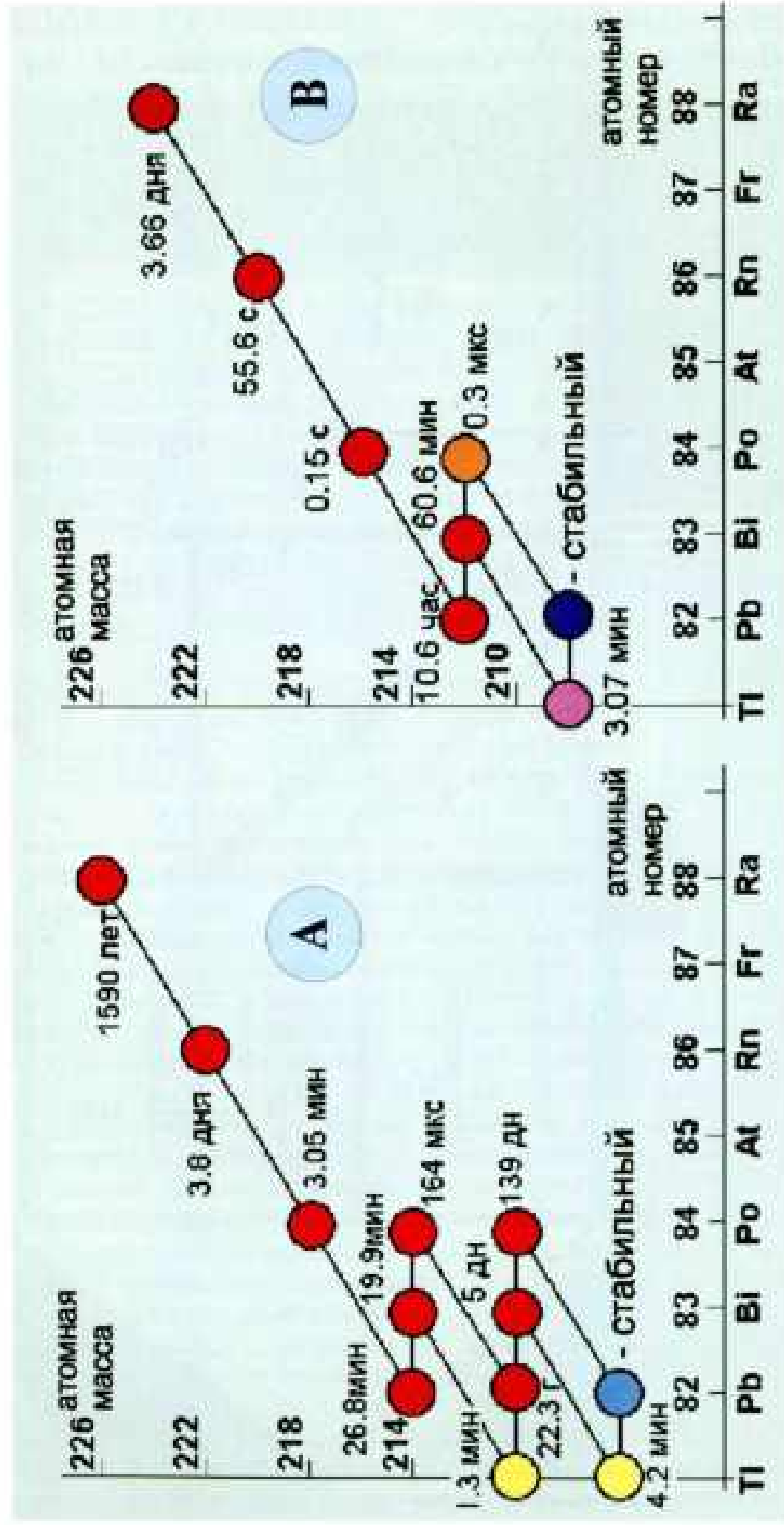


Рис.13. Схемы распада основных естественных радионуклидов урана-238 (А) и тория-232 (В), начиная с радия

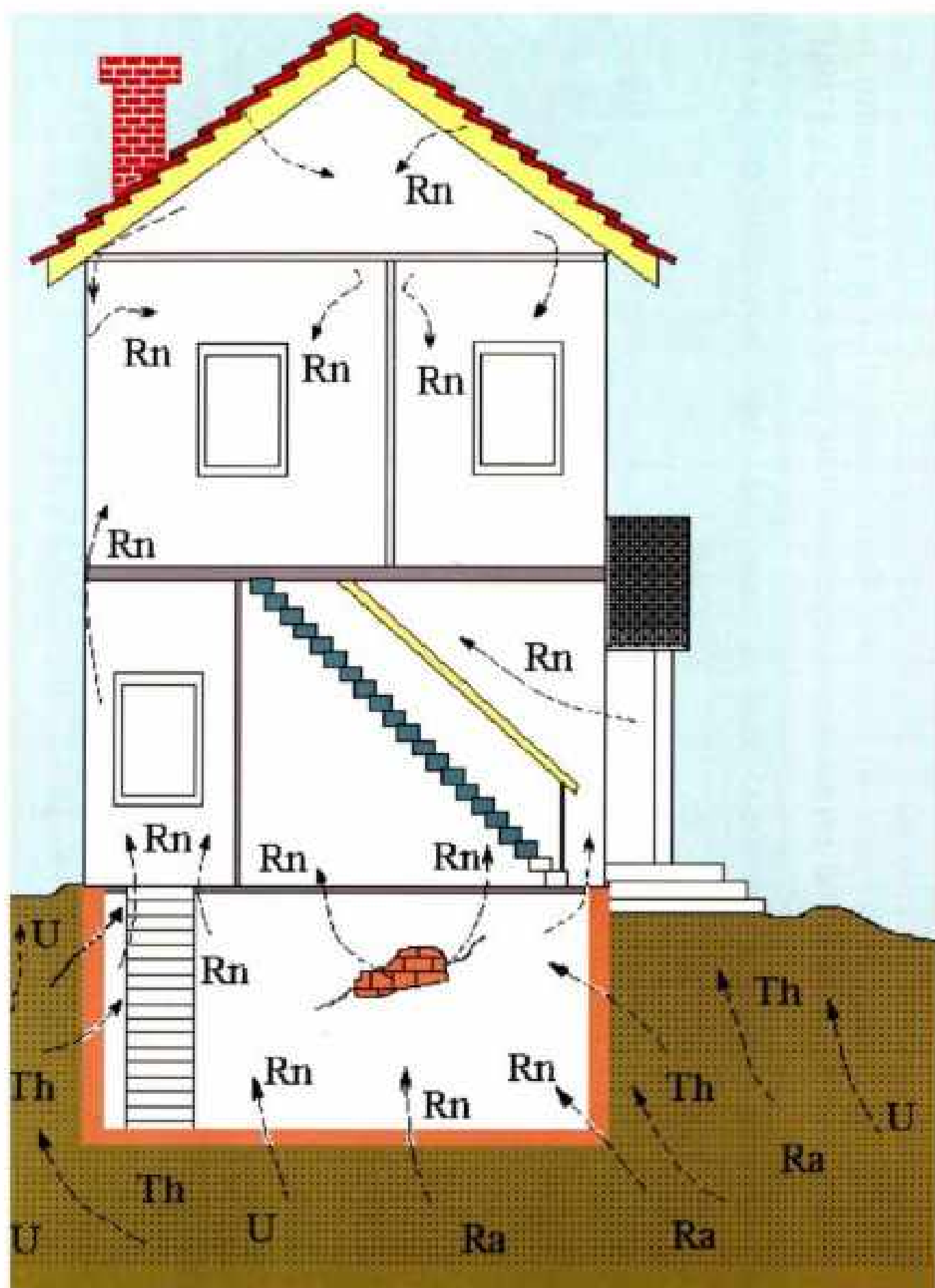


Рис.14. Пути попадания радона из почвы и строительных конструкций в жилище

Агентство по охране окружающей среды США в одном из своих докладов приводит сведения об исследовании риска заболеваний и смертей, вызываемых облучением за счет радона, и сопоставляет эту степень риска с данными по внешнему облучению за счет рентгеноскопических обследований и курения (табл. 2.3). Как видно из таблицы, концентрация радона в воздухе помещений, равная 3700 Бк/м^3 (что иногда наблюдается в реальной обстановке), эквивалентна риску облучения от 2000 рентгеноскопических исследований в течение года.

Также установлено, что связанный с радоном риск заболевания раком легких среди курильщиков в три раза выше, чем у некурящей части населения. Хотя риск от курения существенно меньше радонового риска, курение повышает риск от воздействия радона. При оценках радонового риска всегда надо помнить, что вклад собственно радона в облучение относительно невелик. При радиоактивном равновесии между радоном и его ДПР этот вклад не превышает 5%. Основная доза облучения формируется за счет ДПР.

Поскольку радон хорошо растворяется в воде, он содержится во всех природных водах. В глубинной грунтовой воде его, как правило, заметно больше, чем в воде поверхностных водоемов. В частности, в подземной воде его концентрация варьирует от 4-5 Бк/л до 3-4 МБк/л. В воде озер и рек концентрация радона редко превышает 0,5 Бк/л, а в воде морей и океанов она не более 0,05 Бк/л.

Радон и торон, как и их материнские радионуклиды, присутствуют во всех горных породах и строительных материалах. Образующийся в процессе распада радиоактивный инертный газ тотчас же диффундирует через капилляры грунта, микротрещины горных пород, захватывается потоками других газов и водных паров и, несмотря на ограниченное время жизни, может переноситься на значительные расстояния в земной коре и земной атмосфере. Причем естественная убыль этих газов за счет выделения из материалов и естественного распада постоянно компенсируется ввиду распада радия и тория, присутствующих в данном материале.

В недрах земли радон распространен крайне неравномерно. Это связано с тем, что он накапливается в тектонических нарушениях, куда поступает по системам микротрещин из пор и трещин горных пород. При этом радоновыделение определяется не только общей радиоактивностью горных пород, но также их коллекторскими свойствами (способностью аккумулировать радон) и коэффициентом эманирования (способностью выделять накопленный радон).

В практике геологических исследований нередки случаи, когда слаборадиоактивные породы содержали в своих пустотах и трещинах радон в количествах, в сотни и тысячи раз больших, чем высоко радиоактивные горные породы. При своеобразном "дыхании" Земли радон выделяется из горных пород в атмосферу, причем в наибольших количествах из тех участков Земли, в пределах которых имеются коллекторы радона.

В процессах тектонической деятельности и выветривания горных пород повышается их пористость, при этом образуются системы разнонаправленных трещин, полостей. Тектонические зоны приобретают хорошие коллекторские свойства, в них происходит накопление радона, повышается коэффициент эманирования. В результате этого большая часть тектонических нарушений преобразуется в радононосные подводящие структуры. В случаях, когда над такими структурами располагаются постройки, в них резко повышается вероятность накопления высоких концентраций радона.

Радон попадает в атмосферу помещений различными путями: он проникает из недр Земли, выделяется из строительных материалов, привносится с водопроводной водой, бытовым газом и другими объектами жизнеобеспечения (рис. 14).

Возведение зданий над зонами тектонических разломов приводит к тому, что из недр Земли в эти здания непрерывно поступает поток грунтового воздуха, содержащего высокие концентрации радона, который, накапливаясь в воздухе помещений выше предельно допустимых концентраций (ПДК), создает серьезную радиационную опасность для проживающих людей и рабочего персонала. Известны случаи, когда в производственных подвальных помещениях, снабженных вытяжной вентиляцией, за счет которой происходит подсос радона из почвы, его объемная концентрация достигала 8000-10000 Бк/м³, что превышает допустимые нормы в 40-50 раз.

Различные типы горных пород выделяют в воздух разные количества радона. Из данных таблицы 2.4 видно, что в наибольших количествах он выделяется из углистых сланцев, которые содержат много урана и имеют очень высокую (до 20%) пористость. Анализ данных показывает, что выделение радона существенно зависит от трех характеристик горных пород: концентрации урана, пористости и так называемого коэффициента эманации. Последний определяется как отношение количества атомов радона, покинувших породу, к количеству атомов, родившихся за это же время. Как правило, породы с высокой пористостью обладают более высоким коэффициентом эманирования и большей радоноопасностью при равных концентрациях в них урана.

Таблица 2.4. Концентрации урана и свободного радона в различных горных породах

Порода	Уран, г / т	Плотность, г/см	Порис- тость, %	K _э , %	Радон, Бк/м ³
Конгломераты	2,4	2,5	0,7	15	81
Песчаники	2,9	2,5	20	30	133
Глины	4,0	2,0	20	40	200
Углистые сланцы	15,0	2,6	20	15	500
Каменный уголь	3,5	1,3	15	35	100
Диабаз	0,6	2,7	0,5	5	5
Пироксенит	0,03	3,2	0,5	5	0,3
Гранит	4,5	2,6	1,5	10	74
Липарит	4,7	2,35	1,2	15	175
Снекит	10,3	2,6	0,5	15	250
Рыхлые по граниту	3,5	2,0	5,0	45	200
Рыхлые по основным породам	0,6	2,1	5,0	30	20
Рыхлые по осадочным породам	2,5	1,8	20,0	55	80

Появление радона в помещениях возможно также за счет его выхода из строительных материалов самих зданий, когда эти материалы содержат повышенные концентрации радия. При этом, количество радона, поступающего в воздух помещений, определяется не только содержанием радия, но и величиной коэффициента эманирования. В этом случае общая радиоактивность в помещении, определяемая при помощи гамма-радиометров, не всегда характеризует опасность радоновыделения (табл. 2.5). Например, увеличение пористости в золобетонах приводит к увеличению коэффициента эманирования, и поэтому удельная активность радона в пористом бетоне становится выше при меньших концентрациях урана (радия) в этом бетоне.

Таблица 2.5. Концентрация радия, коэффициенты эманирования (η) и эффективная удельная активность радона ($C_{\text{эф}}, \eta$) в стройматериалах

Материал	Страна	$C_{\text{ра}},$ Бк / кг	$\eta, \%$	$C_{\text{эф}}, \eta,$ Бк / кг
Бетон	Венгрия	13	28	3,6
	Норвегия	28	20	5,6
Бетон с золой	Россия	27	11	3,1
	США	19	26	4,9
Красный кирпич	Венгрия	55	4	2,0
	Россия	36	1,5	0,55
Гипс	США	12	28	3,4
	Россия	9	4,4	0,37
Гипс фосфоритовый	Польша	580-740	13-20	86-130
Вспененная глина	Норвегия	52	1-20	0,5-10
Шлак	Польша	70	0,7	0,5
Песок	США	34	16	5,4
	Россия	10	20	1,9
Гравий	США	14	7	1,0
	Россия	16	11	1,7
Керамзит	Россия	28	1,0	0,41
Известь, жел	Россия	26	3,5	0,92

Нередки случаи, когда здания, построенные из сравнительно слаборадиоактивных по гамма-излучению материалов, крайне опасны по радону за счет его высокого выделения из вещества строительного материала. Особо опасными могут быть некоторые сорта цеолитовых цементов, идущих на бетонные сооружения, глины, керамзита и шлаков. С другой стороны, многие цементы содержат повышенную концентрацию естественного радиоактивного изотопа калия-40, который в процессе распада генерирует только гамма-излучение и не продуцирует радиоактивные газы. В этом случае на фоне относительно высоко-

го гамма-излучения не будет наблюдаться повышения уровня концентрации радона. Следовательно, контроль интенсивности гамма-излучения строительных материалов посредством гамма-радиометров не гарантирует чистоту по радону строящихся из этих материалов зданий. Опасность строительных материалов необходимо контролировать непосредственно только по радону.

Уровень концентрации радона и ДПР в атмосфере домов существенно образом зависит от естественной и искусственной вентиляции помещения, тщательности заделки окон, стыков стен и вертикальных коммуникационных каналов, проветривания помещений и т.д. Наиболее высокие концентрации радона в жилых домах на Урале отмечаются в холодный период года, когда традиционно выполняется их утепление на зиму, и проветривание осуществляется сравнительно редко. Необходимо помнить, что однократное проветривание в течение часа снижает концентрацию радона в помещении примерно в 100 раз.

До 1980г. ни в одной стране мира не устанавливались нормативы на содержание радона и его ДПР в помещениях. И только углубленные исследования, проведенные в последнее десятилетие, показали, что радоновая проблема, включая вопросы нормирования и снижения доз облучения, имеет существенное значение. Соответствующие нормативы для существующих и проектируемых зданий, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) и принятые в различных странах, приведены в таблице 2.6, из которой видно, что для строящихся зданий на Урале концентрация радона не должна превышать 100 Бк/м^3 .

Таблица 2.6. Нормативы концентрации радона в воздухе жилых зданий, Бк / м³

Страна	Существующие здания	Будущие здания
Швеция	400	70
Швеция	100	100
Финляндия	400	100
США	200	-
США	80	-
Канада	400	-
Германия	200	-
Великобритания	200	50
Россия	200	100
МКРЗ	200	100

На рис.8 показано распределение содержания радона в почвенном воздухе на территории Уральского региона по данным Уральской геофизической экспедиции. В регионе можно выделить несколько радоноопасных территорий.

Южнее г.Н.Тагила в районе поселков Левиха и Черноисточника имеется участок с содержанием радона $170-220 \text{ кБк/м}^3$. Приблизительно такое же радоноразделение наблюдается южнее г.Невьянска в районе поселков Нейворудянка, В.Тагил, Верх-Нейвинский.

Мощное радонное поле наблюдается в направлении на северо-северо-запад от г.Реж (п. Липовское, Нейво-Шайтанский, Асбестовский, Зыряновский), где среднее содержание почвенного радона составляет в среднем от 350 до 580 кБк/м^3 при максимальной концентрации до 5000 кБк/м^3 . Радонные воды этого района используются для лечения больных в санатории "Липовка".

На западных, северо- и юго-западных окраинах г.Екатеринбурга наблюдается повышенное (до $120-150 \text{ кБк/м}^3$) содержание почвенного радона. Поэтому здесь необходим радиационный контроль над многими естественными источниками водоснабжения, в частности, на родниками и колодцами, которые в последние годы стали популярны среди жителей Екатеринбурга.

Достаточно интенсивные радонные поля ($200-350 \text{ кБк/м}^3$) наблюдаются в районе г. Михайловск (Н.Серги, Атиг), п.Покровское (Каменский район) и особенно в Сысертском районе. Около г.Сысерть установлена рекордная для Свердловской области концентрация почвенного радона - 7700 кБк/м^3 . В поселке Нижние Серги работает водолечебница, использующая радонные воды.

На территории Челябинской области выделяются следующие радоноопасные районы. На запад от г. Карабаш до п. Магнитка в малозаселенном районе средняя концентрация радона в почве равна $350-500 \text{ кБк/м}^3$ при максимальном значении 750 кБк/м^3 . На этой же широте в районе п. Увильды и Тайгинка, а также севернее п. Долгодеревенское его концентрация в отдельных точках достигает 1500 кБк/м^3 .

К радоноопасной территории необходимо отнести практически всю территорию Ильменского заповедника, где при средних значениях радоноразделения $500-600 \text{ кБк/м}^3$ наблюдается его концентрация до 4000 кБк/м^3 .

В районе г. Еманжелинск, Пласт, п. Уйское и Стрелецк наблюдаются поля с концентрациями радона $300-500 \text{ кБк/м}^3$ при максимальных значениях до 1500 кБк/м^3 . В 20 км на запад-юго-запад от п. В.Синара недалеко от д. Гусарь зафиксирована одна из самых высоких на Урале концентраций почвенного радона - 14600 кБк/м^3 .

На северо-запад и на юго-запад от г. Варна расположено два опасных района со средним содержанием радона $200-400 \text{ кБк/м}^3$ и максимальными значениями около 1000 кБк/м^3 .

Мощное радонное поле находится на запад от г.Карталы, в районе п. Анненское. Средние значения концентрации радона здесь лежат в пределах $800 - 1000 \text{ кБк/м}^3$, однако в нескольких точках зафиксировано его содержание свыше 5000 кБк/м^3 . В этом же районе обнаружена самая высокая концентрация радона на Урале - 15700 кБк/м^3 . Этот район относительно малонаселен, однако в п. Анненское и д.Родники во многих колодцах содержание радона превышает установленные нормативы.

В целом по Уральскому региону около 10% заселенных районов можно отнести к радоноопасным территориям. Среднегодовая объемная активность радона в воздухе жилых помещений Урала составляет около 82 Бк/м^3 , что более чем в два раза превышает среднемировой уровень (40 Бк/м^3). Это обуславливает среднегодовую дозу облучения населения по радону $1,8 \text{ мЗв}$. Приблизительно

в 5% обследованных зданий объемная активность радона превышает принятый в России норматив 200 Бк/м^3 . Наибольшему воздействию от радона подвергаются жители одноэтажных домов сельского типа и жители первых этажей, особенно при отсутствии принудительной вентиляции и защиты от проникновения в помещение выделяющегося из почвы радона.

Спецификой формирования доз облучения населения Урала от естественных источников радиации является высокий вклад торона (радия-220) и его дочерних продуктов, образующихся в результате распада тория-232. Накопление их в воздухе жилых помещений связано с повышенным содержанием тория в подстилающих породах и строительных материалах. Установлено, что за счет дочерних продуктов распада (ДПР) торона формируется около 30% общей дозы ингаляционного облучения. Расчеты показывают, что среднегодовая эффективная доза облучения населения Свердловской области от поступления ДПР торона (около 1 мЗв/год) более чем на порядок величин превышает среднемировую дозу ($0,07 \text{ мЗв/год}$).

В целом, доза облучения населения Свердловской области от природного и техногенно измененного фона, включая строительные материалы и горные породы, по оценкам Областного центра санитарнадзора составляет около 60% суммарной дозы от всех источников-ионизирующего излучения.

Лучшим способом борьбы с радоновой опасностью является отказ от строительства домов на радоноопасных площадях, а также от использования строительного материала, содержащего повышенные концентрации радия или характеризующегося повышенным коэффициентом эманирования. Поэтому радиэкологические исследования территорий будущих (особенно малоэтажных) застроек должны входить в обязательный комплекс изыскательских работ.

ГЛАВА 3. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В ЗОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

3.1. Производственное объединение МАЯК

3.1.1. Общая характеристика обстановки

Для получения оружейного плутония и переработки делящихся материалов в конце сороковых годов на Южном Урале было создано производственное объединение МАЯК - первое в стране предприятие по промышленному получению материалов для ядерных зарядов: урана-235 и плутония-239. Комбинат был построен недалеко от старинных уральских городов Кыштыма и Каслей. На южном берегу озера Иртыш было выбрано место для строительства жилого комплекса, а рядом, на южном берегу озера Кызыл-Таш, был сооружен первый промышленный объект комбината - уран-графитовый реактор типа АИ, предназначенный для наработки оружейного плутония. Реактор был запущен в производство 19 июня 1948 г. и остановлен только почти через сорок лет - 16 июня 1987г. В самые напряженные годы на производственном объединении работало до 8 реакторов, сейчас здесь осталось лишь два. В настоящее время на ПО МАЯК существует полный технологический цикл: наработка оружейного плутония в реакторах, его химическое выделение из активных сборок и изготовление специзделий из металлических урана и плутония, производство источников радиоактивного излучения, производство по остекловыванию радиоактивных отходов, разработка контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации для атомной промышленности и т.п.

В 1987г. наработка оружейного плутония была прекращена. Однако постепенное освоение "мирных" технологий началось еще раньше. В 1977г. на базе первого радиохимического завода был создан завод по переработке облученного ядерного топлива. С этого времени на ПО МАЯК производится переработка топливных сборок энергетических и исследовательских реакторов и реакторов транспортных установок.

Завод, производящий радиоактивные изотопы, стал одним из крупнейших в мире поставщиков радиоактивных источников и радиоактивных препаратов. В числе потребителей изотопной продукции - крупнейшие фирмы США, Англии, Франции, Германии и других стран. ПО МАЯК постепенно переходит на выпуск специфической, но "гражданской" продукции, осваивает новые, более совершенные технологии (например, остекловывание радиоактивных отходов), что связано с повышенными требованиями к экологической безопасности современного производства. Вместе с тем, это предприятие продолжает оставаться источником серьезной экологической опасности для населения.

В результате почти 50-летней работы на территории ПО МАЯК и прилегающим к нему районам сконцентрировалось огромное количество твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО). Различные подходы к оценке общего их количества дают приблизительно одинаковые результаты. Считается, что в ядерной зоне предприятия содержится свыше 37 ЭБк РАО, основная часть которых находится в емкостях для хранения отходов. В настоящее время нет сведений о том, каков состав этих отходов, но есть основания предполагать, что на-

большая активность приходится на долю стронция -90 и цезия -137. Часть высокоактивных РАО (7,4 ЭБк на 1 января 1995г.) остеклована.

Для захоронения твердых отходов на ПО МАЯК была создана серия могильников. Для высокоактивных РАО было построено 25 капитальных могильников многобарьерного типа, выполненных из бетона по специальным проектам. Из них 13 могильников заполнены и законсервированы, 12 - находятся в эксплуатации. Для среднеактивных и низкоактивных РАО было создано 206 грунтовых приповерхностных могильников в виде траншей и котлованов. Из них 155 законсервировано, остальные находятся в рабочем состоянии. По современной технологии хранения РАО сплавляются со специальными материалами. При этом образуется стеклообразная масса, которая заливается в емкости, изготовленные из нержавеющей стали. После охлаждения емкости устанавливаются в подземные, хорошо вентилируемые хранилища. Весь процесс остекловывания происходит в специально оборудованных помещениях при дистанционном управлении. В настоящее время остекловыванию подвергаются все вновь образующиеся высокоактивные жидкие отходы, а также часть ранее образованных РАО.

Жидкие радиоактивные отходы разделяются по величине радиоактивности и способам хранения. Высокоактивные отходы хранятся в емкостях, выполненных из нержавеющей стали, которые установлены на железобетонных поддонах с металлической облицовкой. Среднеактивные отходы ранее сбрасывались в р. Течу и частично удалялись в Асановские болота, оз. Карачай и Старое болото, которое стало со временем именоваться водоемом № 17. В настоящее время РАО частично локализируются в спецхранилищах, однако определенная часть их уходит в искусственные водоемы.

3.1.2. Радиэкологическое состояние водоемов - отстойников и оз. Карачай

В первые годы своей деятельности (1949-1951 гг.) ПО МАЯК сбрасывал слабоактивные воды реакторов и жидкие радиоактивные стоки радиохимического завода непосредственно в озеро Кызыл-Таш и вытекающую из него реку Течу. Это привело к радиоактивному загрязнению воды, донных отложений, почвы и растительности пойменной зоны реки. Всего за период 1949-1956 гг. в открытую гидросистему Теча-Исеть-Тобол было сброшено 76 млн. м³ сточных вод общей активностью свыше 100 ПБк.

В 1952 г., когда стала очевидной опасность дальнейшего поступления жидких радиоактивных веществ в р. Течу, сток из озера Кызыл-Таш оградили плотиной. Озеро превратилось в водоемы-отстойники №1 и №2. Начиная с 1957г., при отсутствии естественного водообмена, минерализация воды в озере существенно возросла. Чтобы "погасить" возникшую опасность, пришлось организовать, с одной стороны, химическую очистку воды в озере, а с другой - начать сброс регенерированных жидких радиоактивных веществ во вновь образованные ниже по течению реки водоемы №3 и №4. Последний из них (Метлинский пруд) существовал и ранее, на его берегу была расположена деревня Метлино. Поступление радиоактивных стоков в этот водоем началось с 1956 г. За два первых года существования водоема №4 уровень воды в нем поднялся на 1,6 м. В дальнейшем произошла стабилизация уровня воды благодаря сооружению двух обводных каналов, отводящих паводковые воды. Организованный сброс жидких

радиоактивных стоков практически прекратился с сооружением в 1960 г. еще одной плотины ниже Шубинского пруда (водоем №10) и, в конце концов, создания замыкающего водоема № 11 (рис. 15). Система водоемов-отстойников, сконцентрировав в донных отложениях большое количество радионуклидов (табл.3.1), ограничила их поступление в реку Течу. Однако к тому времени большая часть поймы и дно реки были уже в значительной степени загрязнены.

Таблица 3.1. Содержание стронция-90 и цезия-137 в водоемах-отстойниках ПО МАЯК

Содержание радионуклидов	Номер водоема							
	2	3	4	6	17	9	10	11
Стронций-90 в воде, кБк/л	0,4	44,4	12,6	0,01	25900	62900	25,5	1,9
Стронций-90 в донных отложениях, кБк/кг	48,1	5180	148	1110	$4,4 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	130	48,1
Цезий-137 в воде, кБк/л	0,2	7,4	2,2	0,007	150	$4,4 \cdot 10^5$	0,2	0,007
Цезий-137 в донных отложениях, кБк/кг	10^5	$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$		$1,2 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^7$	5550	4,8
Суммарное содержание в воде, ТБк	70	96	63	0,07	1700	300	200	900
Суммарное содержание в донных отложениях, ТБк	670	570	150	10	70000	$4,4 \cdot 10^6$	200	550
Всего в водоеме, ТБк	740	667	213	10	71700	$4,4 \cdot 10^6$	400	1450

В настоящее время основным источником поступления радионуклидов в речную систему являются Асановские болота, расположенные ниже водоема №11 по течению р.Течи. Кроме того, происходит подземная миграция радиоактивных веществ из каскада подохранилищ и обводных каналов. Объем воды, фильтрующейся сквозь тело плотины водоема №11, постоянно увеличивался вплоть до 1990 г. Укрепление плотины привело к снижению объема фильтрата, однако в 1993-1994гг. концентрация стронция-90 в нем и вынос этого радионуклида в Течу снова возросли. С 1984 по 1994 гг. в Течу через тело плотины поступало от 4 до 27 МБк стронция-90 в год. За последние 15 лет уровень воды в нижнем по течению водоеме № 11 повысился почти на 3 м и достиг критической точки. Вокруг водоема возник ареал загрязненных подземных вод. В целом, обводные каналы ограничивают распространение загрязнения непосредственно из водоемов. Исключение составляет участок на южном берегу водоема № 11, где имеется тектоническое нарушение, поэтому загрязнение распространяется по нему на расстояние до 550 м. Высокое содержание стронция-90 в воде (до 70 Бк/л) свидетельствует о том, что сорбционная емкость слагающих дно водоема отложений практически исчерпана, и в дальнейшем можно ожидать загрязнения

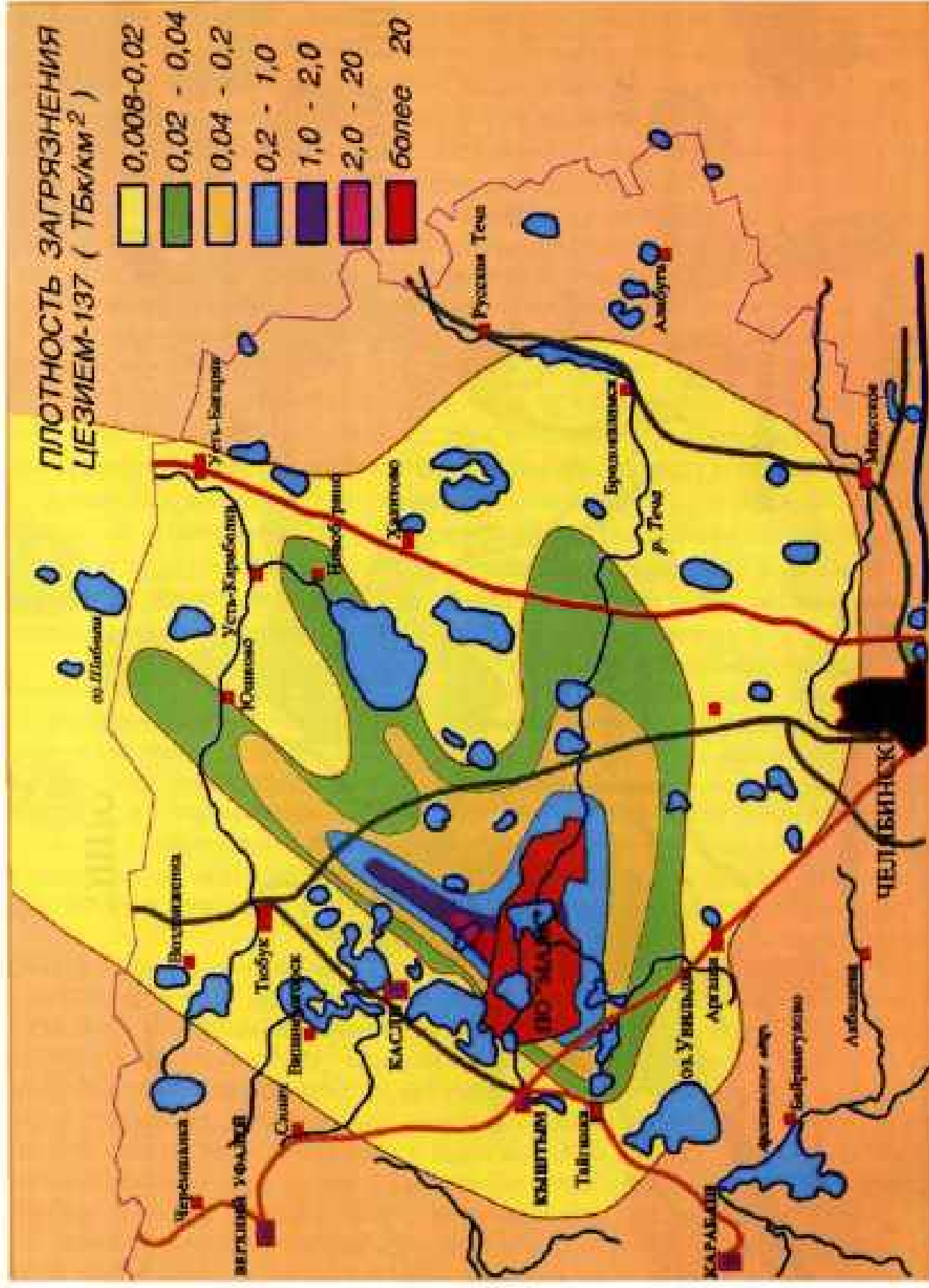


Рис. 16. Схема загрязнения цезием-137 территории Челябинской области за счет ветрового переноса илов из прибрежной зоны оз. Карачай

подземных вод до уровня содержания радионуклидов в промышленных водах водоема № 11.

Распространение фильтрата, содержащего стронций-90, отмечается на расстоянии до 300 метров ниже плотины водоема № 11. В итоге р. Теча постоянно подпитывается фильтрующимися через тело плотины радионуклидами.

Большое количество радионуклидов сосредоточено в озере Карачай. Среднеактивные жидкие РАО стали сбрасывать в него с 1951 г. одновременно с началом сооружения каскада водохранилищ. С тех пор в озере накопилось свыше 4,4 ЭБк радиоактивных веществ. Из них 60% составил цезий-137, а 40% стронций-90 + иттрий-90. Более половины (52%) радионуклидов сконцентрировано в донных отложениях. Значительная их часть (около 41%) проникла в коренные породы, подстилающие дно озера, остальные радионуклиды содержатся в воде. Удельная активность донных отложений в районе сброса достигала 70 МБк/кг, а в удаленных зонах - 10 МБк/кг. Мощность дозы облучения на берегу озера варьирует от 0,03-0,04 Зв/ч до 6-7 Зв/ч.

Озеро Карачай находится в зоне очень сложной тектоники и раздробленных массивов горных пород. Известно, что уровень воды в нем не постоянен от года к году. В засушливые периоды озеро пересыхало, что приводило к мощным ветровым выносам радиоактивных загрязнений, во влажные же - в результате разливов площадь поверхности озера увеличивалась почти вдвое. Все это говорит о том, что озеро связано с некоторой подъемной гидросистемой, куда могут свободно проникать радиоактивные вещества из водоема и задерживаться там неопределенно долгое время. К сожалению, на указанные факторы своевременно не обратили внимания.

В 1967 г. с обнажившейся береговой полосы высохшие радиоактивные илы в количестве около $2,2 \times 10^{13}$ Бк были рассеяны на расстояние до 75 км от озера. В составе выпадений содержались в основном цезий-137 и стронций-90. Карта-схема загрязнения территории Челябинской области цезием-137 представлена на рис. 16. Площадь загрязнения, ограниченная изолинией 3,7 ГБк/км², составила 2700 км², охватила 63 населенных пункта, в которых проживало 41 500 человек. Поглощенная доза внешнего облучения для 4800 жителей ближней зоны составила 1,3 сЗв, а для жителей дальней зоны - 0,7 сЗв.

В последние годы ПО МАЯК совместно с администрацией Челябинской области реализуют программу частичной реабилитации озера Карачай. Для ликвидации угрозы ветрового переноса в настоящее время производится укрытие водной поверхности озера путем засыпки скальной породой и плывнями бетонными блоками. В результате проведенных работ площадь его акватории с 1967 г. до конца 1995 г. сократилась с 45 до 15 гектар.

Другая причина возможного загрязнения территории - миграция радионуклидов в подземные воды. Озеро Карачай находится на водораздельной части рельефа. В настоящее время наблюдается растекание подземных вод во все стороны от водоема. Такое растекание подтверждается распространением в них нитрат-иона, который является неперенным компонентом технологических сбросов.

При изучении растекания площадь загрязненных вод огибается по изоконцентрате нитрат-иона 50 г/л. К северо-востоку от озера этот фронт распространился на расстояние 800 м, а к югу - на 1,7 км. Арешт растекания, окон-

туренный изолинией концентрации стронция -90 15 Бк/л и нитрат-иона 45 мг/л, фиксируется к северо-северо-востоку от водоема на расстоянии 2,5 км по стронцию-90 и 4,5 км по нитрат-иону. К югу он прослеживается на расстояние более 2,5 км по стронцию-90 и более 3,3 км по нитрат-иону. Средняя скорость продвижения фронтального загрязнения в южном направлении составляет около 73 м в год. Объем радиоактивно загрязненных вод под озером Карачай оценивается примерно в 5 млн. м³.

Южная фронтальная часть ареала вплотную приблизилась к реке Мише-ляк: повышение концентрации нитрат-иона фиксируется в подземных водах этой реки, впадающей в обводной канал, воды которого фильтруются в р. Течу. В настоящее время под озером находится огромная линза подземных вод, содержащих достаточно высокие концентрации радионуклидов. Ситуация осложняется тем, что, как показывает динамика нарастания концентраций стронция-90 в скважинах, фронт ареала загрязненных вод продолжает продвигаться на юг к золотавалу и к скважинам хозяйственно-питьевого водозабора поселка Новогорный.

За период эксплуатации озера Карачай в качестве накопителя РАО из него в подземные воды поступило около 3,5 млн. м³ промышленных растворов, содержащих 140 тыс. тонн нитрат-иона, 85 тыс. тонн натрия, около 3000 ТБк стронция-90, 750 ТБк цезия-137.

Наряду с озером Карачай, большую опасность для окружающей территории представляет так называемое Старое болото (водоем № 17), в котором сосредоточено 74 ТБк радионуклидов. Его объем - 300 тыс. м³, а площадь - 0,17 км². В этот водоем достаточно долго сбрасывали радиоактивные стоки, содержащие тритий.

Несмотря на значительный объем выполненных реабилитационных работ и технологического усовершенствования, ПО МАЯК продолжает оставаться потенциально опасным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды и радиационного облучения населения. Тем самым для живущего здесь населения ныне и в обозримом будущем сохраняются условия и возможности нести материальные, социальные и морально-психологические потери.

3.1.3. Загрязнение бассейна р. Теча

Отсутствие на ПО МАЯК надежных технологий переработки и хранения радиоактивных отходов, а также опыта и знаний в обращении с ними привело к тому, что с 1949 года часть радиоактивных сточных вод сбрасывалась в реку Течу, причем до июля 1951 года сбросы были почти бесконтрольными. Это привело к сильному радиоактивному загрязнению речной системы, где проживало большое количество жителей сел и деревень.

Пик сбросов приходился на период с марта 1950 г. по октябрь 1951 г., когда в реку удалялось в среднем около 160 ТБк радионуклидов в день, а в отдельные периоды оно достигало 3,7 ПБк в день. В это время в речную сеть поступило около 98% от всего количества сброшенных на сегодня радионуклидов.

По данным ЦНИЛ ПО МАЯК, радионуклидный состав сбросов состоял преимущественно из стронция-89, стронция-90, цезия-137, рутения -103, рутения -106, циркония-95 в равновесии с ниобием-95 и большого набора ред-

коземельных элементов. Радионуклиды со временем загрязнили Асановские болота, по которым река Теча протекает в верхней своей части, саму реку и прилегающие к ней территории (рис. 17).

Весенние разливы реки были причиной интенсивного загрязнения её поймы. В это время удельная активность почв в районе Комарова пруда (сегодня это водоем-отстойник №2 в 1-2 км ниже места сброса) варьировала от 0,2 до 74 МБк/кг. По данным ПО МАЯК, дозы внешнего облучения около реки и на территории прибрежных населенных пунктов достигали 500 мкЗв/с у места сброса, 15 мкЗв/с на берегу Метлинского пруда (водоем-отстойник № 10), 1 мкЗв/с на берегу Течи на расстоянии 18 км от места сброса (верховья водоема-отстойника № 11). На улицах д.Метлино, в 100 м от берега, мощность дозы составляла 0,03 мкЗв/с, а на поливных огородах вдоль Метлинского пруда - 0,03-10 мкЗв/с. Внутри жилых помещений этого региона также обнаруживался повышенный радиационный фон, что, очевидно, было связано с использованием речной воды для хозяйственно-бытовых нужд.

Следствием загрязнения пойменных почв явилось повышение концентрации радионуклидов в сельскохозяйственных растениях, кормах и в продуктах животноводства. Наиболее высокие уровни радиации обнаруживались в рыбе и водоплавающей птице. Однако от 33 до 92% их количества поступало в организм жителей прибрежных территорий с водой.

В 1951 году был составлен план ликвидации последствий сброса радиоактивных веществ в р.Течу, который включал ряд технических мероприятий, в том числе обеспечение населения чистой питьевой водой. Наиболее радикальной мерой было прекращение сброса высокорadioактивных стоков, которые были переключены на оз.Карачай. Кроме того, в верхней части реки были построены две плотины, выполнена промывка русла чистой водой. Населению было запрещено использовать речную воду для питьевых и хозяйственных целей. Было организовано строительство колодцев, переоборудованы водопроводы с использованием подземных вод, возведено проволоочное ограждение вокруг загрязненной территории, введен запрет на рыболовство, охоту, выпас скота, сенокосение, огородничество. Меры по реабилитации поймы интенсивно продолжались в течение последующих 10 лет, ведутся они и сейчас.

Важную защитную роль должна была сыграть эвакуация населения из наиболее неблагоприятных пунктов, расположенных в верхней части реки. Всего с берегов Течи в 1954 - 1960 гг. было переселено около 7,5 тыс. человек из 19 населенных пунктов, в числе их Метлино (12 км по течению р.Теча от места сброса радиоактивных вод), Асаново (28 км), Курманово (76 км), Карпино (85 км), Ветродуйка (86 км), Осолодка (106 км), Бакланово (125 км), частично отселены жители Муслумово (67 км), Бродокалмака (97 км), Нижне-Петропавловского (131 км). Однако, несмотря на теоретическую эффективность этого мероприятия, практическое его исполнение, запоздавшее на 5-7 лет, значительно снизило его результат. Ко времени переселения жители прибрежных населенных пунктов уже получили основную дозу как внешнего, так и внутреннего облучения. Измерение концентрации стронция-90 в организме людей, переселенных и проживающих там до настоящего времени, дало практически одинаковые результаты.

Первые медицинские осмотры жителей прибрежных сел были начаты в 1951 году. Они проводились выездными бригадами врачей Института биофизи-

ки АМН СССР и больницы комбината ПО МАЯК (МСЧ № 71 Федерального управления при МЗ РФ). Позднее в Челябинске и Шадринске были созданы специализированные диспансеры для лечения пострадавших лиц. В 1967 году начал формироваться регистр облученного населения, который содержит персонализированную информацию как о самих облученных, так и о их потомках. Изучение этих материалов показало, что облучение населения в верховьях р.Течи привело к увеличению заболеваемости лейкозами, повышению числа случаев лучевых реакций со стороны отдельных органов и систем, возрастанию частоты соматических болезней, общей смертности по сравнению с необлученным населением тех же административных районов.

В 1991 году экспертной комиссией Российской Академии наук была вскрыта кризисная экологическая ситуация в бассейне р.Течи, сложившаяся в результате деятельности ПО МАЯК. Было предложено разработать государственную программу по экологическому оздоровлению загрязненного региона, куда вошли бы организационные и медицинские мероприятия, научно-исследовательские и проектные работы. Было предложено завершить работу по рассекречиванию всех материалов, касающихся радиационной обстановки и состояния здоровья населения, а также организовать широкую информационно-разъяснительную работу среди населения о радиозэкологической обстановке в регионе и мерах по ее улучшению с привлечением средств массовой информации. Впоследствии были приняты две Государственные целевые программы (1992-1995гг., 1996-2000гг.), направленные на разработку и реализацию комплекса мер по улучшению состояния здоровья облученного населения и возмещение ущерба, нанесенного здоровью людей. Приоритетными направлениями были: создание эффективной системы медицинской и психологической реабилитации жителей региона, обеспечение доступности медицинской помощи, снабжение профилактическими средствами и лекарственными препаратами, а также снижение индивидуальных и коллективных доз облучения.

По мере реализации этих программ в оказание специализированной медицинской помощи облученному населению был вовлечен целый ряд лечебно-профилактических учреждений Челябинской и Курганской областей. В настоящее время в г. Челябинске работает экспертный совет, задачей которого является установление причинной связи заболеваний с радиационным воздействием, а также определение льгот и компенсаций населению за причиненный ущерб.

Все годы с момента загрязнения до настоящего времени район р.Течи являлся объектом всестороннего анализа со стороны отечественных ученых и международных организаций, поскольку проводимые здесь исследования дают возможность выявить отдаленные последствия хронического облучения в диапазоне малых доз для тех людей, которые могут оказаться в аналогичной ситуации, а также оценить эффективность проводимых мероприятий.

Исследования радиозэкологической ситуации вдоль рек Теча, Исеть, Миасс, выполненные сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН в 1991-1996 гг. с привлечением специалистов из Дании, показали, что к моменту исследований концентрация радионуклидов в воде р.Течи составляла в районе Надырова моста (49 км от истока реки) 5000 Бк/м^3 (по стронцию-90), 620 Бк/м^3 (по цезию-137), $2,2 \text{ Бк/м}^3$ (по кобальту-60), $0,52 \text{ Бк/м}^3$ (по плутонию-239 и плутонию-240). Содержание радиоактивных загрязнителей, за исключением ко-

бальта-60, снижается в зависимости от расстояния от места сброса и в устье реки Теча составляет 2800 Бк/м^3 по стронцию-90, 68 Бк/м^3 по цезию-137, $0,12 \text{ Бк/м}^3$ по плутонию. В целом, концентрация радионуклидов в р.Тече выше, чем в других реках, не подверженных радиоактивному загрязнению, однако она заметно меньше допустимых норм, установленных для питьевой воды (45 Бк/л для стронция-90, 96 Бк/л для цезия-137, 370 Бк/л для кобальта-60).

Грунты реки в большей степени обогащены цезием-137, чем стронцием-90, потому что он лучше удерживается илстыми частицами. Концентрация радионуклидов в донных отложениях на несколько (от 1 до 4) порядков величины выше, чем в реках и водоемах, не подверженных радиоактивному загрязнению. Содержание изотопов в грунте снижается в зависимости от расстояния от истока (у Надырова моста в иле - 141000 Бк/кг цезия-137, 2050 Бк/кг стронция-90, 42 Бк/кг плутония; в устье реки - 200 Бк/кг цезия-137, 200 Бк/кг стронция-90, $0,43 \text{ Бк/кг}$ плутония-239 и плутония-240). При этом максимальная концентрация цезия и плутония находится на глубине 15-20 см от поверхности грунта.

В донных отложениях обнаружен также технеций-99, датировка основных сбросов которого относится к началу 50-х годов. Предполагается, что в те годы сбросы содержали достаточно много токсических агентов, способных вызвать гибель биоты и тем самым создать редуцирующие условия, способные перевести этот элемент из воды в донные отложения. Сравнительно высокий ($300-800 \text{ Бк/кг}$ сухой массы) уровень технеция в верхнем слое грунта, возможно, является следствием его поступления с Асановских болот, которые ежегодно затопливаются водами р.Течи в результате таяния снега. Другим источником поступления технеция могут быть загрязненные подземные воды или утечка из каскада водохранилищ в верховье реки.

Достаточно загрязненными остаются также почвы поймы р.Течи. По данным Института экологии растений и животных УрО РАН, содержание стронция-90 в почвах прирусловой поймы изменяется от 50 до 340, а цезия-137 - от 36 до 390 кБк/м^2 в зависимости от места отбора пробы. При этом максимальное содержание стронция-90 превышает таковую в почвах контрольного участка в 85, а по цезию-137 - в 55 раз. В центральной пойме выявлены участки с более высокой, чем в прирусловой, степенью аккумуляции как стронция-90 (до 1000 кБк/м^2), так и цезия-137 (до 2000 кБк/м^2).

Следует отметить крайнюю неравномерность в загрязнении поймы реки. Детальная съемка полевым гамма-спектрометром в Мусломово, Бродокалмаке, Русской Тече и Нижнепетропавловском выявила значительные контрасты в накоплении цезия-137 в пределах пойменных массивов. Так, в Мусломово на отдельных участках поймы загрязнение достигает 20 МБк/м^2 , в Бродокалмаке доходит до 70 МБк/м^2 , что возможно объяснить влиянием на процессы переотложения радионуклидов тектонических зон, пересекающих пойму реки.

Специально проведенными исследованиями выявлен вклад стока р.Течи в загрязнение нижнего течения р.Исеть. На участке этой реки от п.Красноисетское до п.Кондино концентрация стронция-90 в воде примерно в 10 раз выше по сравнению с вышерасположенным участком. Далее происходит некоторое разбавление воды более чистыми по стоками р.Миасс, в результате чего на остальном протяжении Исети вплоть до Ялutorовска концентрация радионуклида превышает таковую в контрольном районе (п.В.Яр) в 4-5 раз. Сток р.Течи несо-

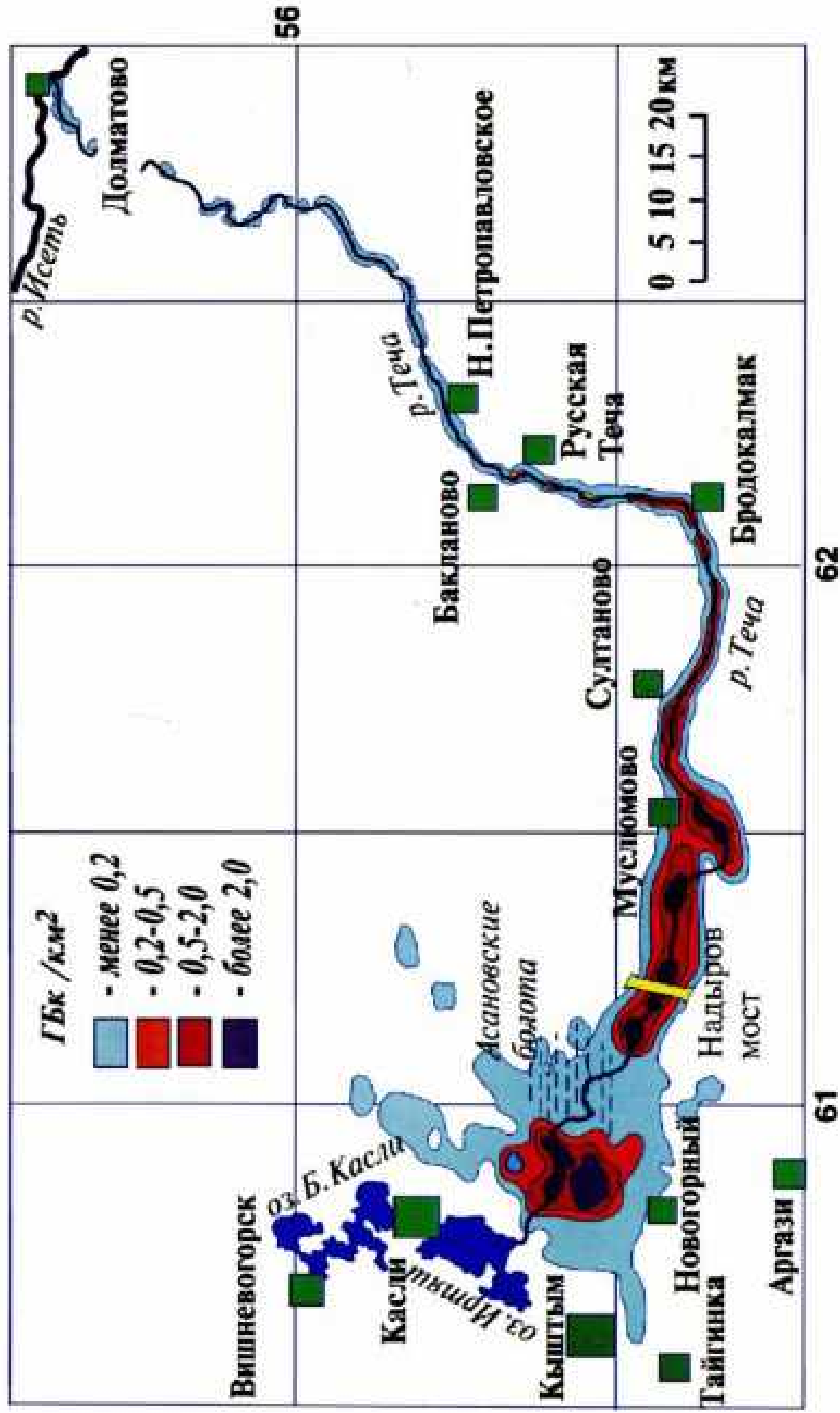


Рис.17. Концентрация цезия-137 в донных отложениях р. Течи



Рис.18. Распределение цезия-137 в донных отложениях р.Пышмы: 1-концентрация цезия-137 (Бк/кг); 2 - разломные геологические структуры; 3 - участки с аномально высокими значениями концентрации цезия-137

мненно влияет и на содержание цезия-137 в Исети, но в заметно меньших масштабах, чем в случае со стронцием-90.

Отмечена повышенная загрязненность радионуклидами донных отложений р.Исеть ниже впадения в неё р.Течи. В частности, содержание стронция-90 в илистом грунте здесь примерно в 10 раз выше, чем в контрольном районе, расположенном выше устья Течи. В пойменных почвах района нижнего течения р.Исети содержание стронция-90 повышается в среднем примерно в 15, а цезия-137 - в 4 раза по сравнению с вышерасположенным контрольным участком.

Исследования уровней загрязнения пойменной растительности вдоль р.Течи показали, что в первое десятилетие после аварии происходило достаточно заметное снижение содержания радионуклидов в растениях, однако в настоящее время в результате перераспределения их по профилю почв и заглубления в корнеобитаемый слой такого снижения не происходит.

Важной особенностью региона является наличие изотопов плутония (плутоний-238, 239, 240) во всех компонентах природной среды. Среднее содержание плутония в воде Течи за период 1993 - 1995 гг., по одним данным, снижается от 20 до 3 Бк/м³ по направлению от верховьев к устью, а по другим - оно значительно ниже (0,52 Бк/м³ в районе Надьрова моста и 0,12-0,35 Бк/м³ на участке реки ниже п.Муслумово). Концентрация плутония в растительности убывает от 7-80 Бк/кг в районе Асановских болот до 1 Бк/кг в районе п.Затеченское. Пойменные почвы загрязнены плутонием на всем протяжении реки и имеют плотность загрязнения выше 0,37 ГБк/юм². Исследование физико-химического состояния плутония в них свидетельствует о его высокой подвижности в природных условиях.

В настоящее время основными дозообразующими радионуклидами для людей, проживающих по Тече, являются стронций-90 и цезий-137. Несмотря на существующий ограничительный режим, население частично использует загрязненные пойменные земли для сельскохозяйственного производства, в том числе для заготовки сена и выпаса скота. Основным продуктом, с которым радионуклиды поступают в организм, является молоко, производимое в индивидуальных хозяйствах. В последние годы по отдельным населенным пунктам намечается тенденция к увеличению содержания стронция-90 и цезия-137 в молоке, что может быть связано с возрастанием удельной активности радионуклидов в речной воде и траве поймы реки за счёт выноса их из водоёмов-отстойников и оз.Карачай.

Радиационное воздействие на людей в районе р.Течи носит систематический характер; оно состоит из внешнего и внутреннего облучения и формирует дозы от нескольких мЗв до 4000 мЗв. Специалисты считают, что эти дозы сопоставимы со средними дозами для лиц, выживших после атомной бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки.

Общепризнанными цитологическими маркерами оценки радиационного воздействия на живой организм являются хромосомные aberrации. Результаты обследования населения показали наличие достоверно повышенного уровня частоты хромосомных aberrаций у людей, в течение 40 лет проживающих на побережье р.Течи, по отношению к спонтанному уровню. При этом в лимфоцитах периферической крови отмечается статистически достоверно повышенные уровни дисцентриков, ацентрических колец и кольцевых хромосом, а также транслокаций.

Облученному населению в исследуемом регионе присущ повышенный коэффициент смертности, что объясняется преимущественно более высоким уров-

нем смертей от злокачественных новообразований. Уровень заболевания лейкозами среди облученного населения составил 10,01 в расчете на 100000 человеко-лет. Он достоверно выше, чем в группе сравнения (5,98). В облученном контингенте несколько выше уровни лейкозов неутонченного клеточного типа и хронических миелолейкозов.

Исследование продолжительности жизни в первые 19 лет после начала сбросов у жителей верхнего и среднего течения реки показало, что в первые шесть лет отмечалось сокращение средней продолжительности жизни на 6,3 года по сравнению с необлученным населением. В последующие сроки различий в продолжительности жизни у облученных и необлученных людей не наблюдалось. Дети до 1 года внесли значительный вклад в показатель сокращения средней продолжительности жизни населения в основном за счет смертности от инфекционных болезней и болезней системы крови. Анализ подтверждает большую чувствительность мужчин к воздействию неблагоприятных факторов по сравнению с женщинами. Как считают медики, сокращение продолжительности жизни в данном случае связано не столько с радиационным, сколько с другими неблагоприятными факторами, сопутствующими облучению населения прибрежных сел, например, хроническим психологическим стрессом, обусловленным переселением, введением режима ограничения, изменением привычного образа жизни.

В докладе руководства ПО МАЯК при утверждении плана мероприятий по реабилитации регионов, загрязненных в результате деятельности этого предприятия, дается общая характеристика района загрязнения. С марта 1949 г. до конца 1956 г. в реку Течу было сброшено более 1 ЭБк радиоактивных веществ; площадь загрязненной территории составила 2000 км² общей протяженностью около 1000 км. Численность облученного населения оценивается в 124 000 человек, из них 28000 человек - в "значимых" дозах. Хроническая лучевая болезнь была диагностирована у 940 жителей прибрежных сел реки Теча, а численность группы внутриутробно облученных, родившихся с 1950 по 1953 гг. (время наибольших сбросов РАО в р. Течу), в пределах Челябинской области составила 1975 человек. Ущерб, нанесенный только населению Челябинской области в результате радиоактивного загрязнения реки составил более 1,5 млрд. руб (в ценах 1991 г.).

Приведенные выше факты свидетельствуют о сложной экологической обстановке в районе р.Течи. Напряженность ситуации усугубляется высоким уровнем техногенного загрязнения региона вследствие работы предприятий цветной и черной металлургии. Ввиду высокой концентрации радиоактивных веществ в открытых водных экосистемах в районе размещения ПО МАЯК сохраняется потенциальная опасность их распространения на прилегающие территории.

В настоящее время в районе остро стоят социальные проблемы. Снижение уровня жизни в стране негативно отражается на экономическом, социальном и психологическом состоянии населения в зоне радиоактивного загрязнения. Необходимо продолжать работы по реабилитации загрязненных территорий, а также решать проблему компенсационных льгот населению за причиненный ущерб. Распространение экологических знаний позволит осознанно соблюдать ограничительные меры и таким образом избежать многих последствий отрицательного воздействия радиации на здоровье жителей региона.

3.2. Район Белоярской атомной электростанции

Белоярская атомная электростанция (БАЭС) расположена в 60 км к востоку от г. Екатеринбурга. Первый энергоблок с канальным водографитовым реактором на тепловых нейтронах АМБ-100 был введен в эксплуатацию в 1964г., а второй - АМБ-200 - в 1967г. В 1980г. был пущен третий энергоблок на быстрых нейтронах БН-600. К 1989г. первые два блока были остановлены, в настоящее время функционирует только третий энергоблок.

В качестве водосма-охладителя АЭС используется Белоярское водохранилище, которое было образовано в 1959-1963гг. путем зарегулирования русла р.Пышмы в 75 км от её истока. В зону затопления попала часть территории Белоярского и Березовского районов, покрытая смешанными березово - сосновыми лесами, пахотными и луговыми угодьями. Протяженность водоема примерно 20 км, ширина - 3 км. Зеркало водоема имеет площадь 47 км².

Поступление радиоактивных веществ от АЭС во внешнюю среду происходит воздушным (через вентиляционные трубы, в виде принудительного выхода пара из барбаторов) и водным путем.

С 1978г. сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН проводятся систематические радиозокологические исследования наземных и водных экосистем в районе Белоярской АЭС. Они показали, что в целом газо-аэрозольные выбросы станции не вносят существенный вклад в загрязнение изотопами стронция-90 и цезия-137 прилегающих к ней наземных территорий. В частности, содержание цезия-137 в почвах 30-километровой зоны, как правило, колеблется около 4 кБк/м², что характерно для Среднего Урала. Исключения составляют почвы, расположенные примерно в пяти километрах к юго-востоку от АЭС, где приземляется факел воздушных выбросов. Здесь плотность загрязнения цезием-137 в 1,5 - 2 раза выше и достигает 6-9 кБк/м². Запас стронция-90 в почвенно-растительном покрове не зависит от расстояния от АЭС. Он составляет 1-2 кБк/м² и практически не отличается от фонового уровня. Концентрация цезия-137 в наземной массе цветковых растений в пределах 5-ти километровой зоны вокруг АЭС варьирует в пределах 55-550 Бк/кг сухой массы, а содержание стронция-90 в разнотравье составляет 20-25 Бк/кг. Из споровых растений сравнительно небольшие концентрации радионуклидов отмечены в съедобных грибах (55-80 Бк/кг по цезию-137 и 11-13 Бк/кг по стронцию-90) и более высокие во мхах и лишайниках (180-900 Бк/кг по цезию-137 и 90-400 Бк/кг по стронцию-90). Хотя содержание изотопов во мхах и лишайниках примерно в 10 раз выше, чем в других растениях, оно не превышает содержания во мхах и лишайниках, произрастающих в других регионах страны, так как это связано с их видовыми особенностями, а не с влиянием АЭС.

Запас плутония в почвенно-растительном покрове в пределах 10-километровой зоны АЭС варьирует от 83 до 116 Бк/м² и находится в пределах колебаний уровня фона. Однако, как и в случае с цезием-137, более высокая концентрация плутония обнаруживается в месте приземления факела примерно в 5-км к юго-востоку от АЭС.

Исследование радиозокологического состояния Белоярского водохранилища показало, что к 1989г. в результате радиоактивных и тепловых сбросов в прилегающей к АЭС части водоема сформировалась зона с повышенным содержанием

третия, кобальта-60, цезия-137, стронция - 90 в воде по сравнению с верховьем водоема. Повышенная концентрация радионуклидов обнаружена также в растениях, рыбах, планктоне и грунтах.

Основными путями поступления радиоактивных загрязнителей в водоем - охладитель являлись промливневый канал и нагорная канава. В течение длительного времени через них проходили слаборадиоактивные стоки, поэтому донные отложения каналов практически превратились в радиоактивные отходы. Растения в этих каналах также имеют более высокую концентрацию радионуклидов, особенно кобальта-60 и цезия-137, по сравнению с таковой в среднем по водохранилищу. Например, в рдесте гребенчатом промливневого канала содержание кобальта-60 варьирует от 800 до 1400 Бк/кг, а цезия -137- от 20000 до 150000 Бк/кг, тогда как в аналогичных растениях водохранилища среднее содержание радионуклидов составляет, соответственно, 100 и 30 Бк/кг.

На 1989г. запас радионуклидов в Белоярском водохранилище составил 245 ГБк по кобальту-60, 134 ГБк по стронцию-90, 668 ГБк по цезию-137. Все изотопы более чем на 90% сосредоточены в донных отложениях. Вклад Белоярской АЭС в загрязнение грунта оценивается примерно следующим образом. Практически весь кобальт-60, содержащийся в донных отложениях, поступил в них в результате работы АЭС. Примерно половина запаса стронция-90 стационарного происхождения, столько же изотопа поступило в результате глобальных выпадений. Наличие цезия-137 в донных отложениях на 93% обусловлено работой АЭС, остальные 7% - глобальными выпадениями из атмосферы.

Поскольку в зоне сброса подогретых вод функционирует хозяйство по выращиванию садкового карпа, представляло интерес оценить целесообразность такого рыборазведения в Белоярском водохранилище. Оказалось, что концентрация цезия-137 в садковом карпе заметно ниже, чем в свободноживущих рыбах зоны подгрева. Поскольку цезий-137 поступает в организм рыб преимущественно с пищей, использование радиоактивно чистого искусственного корма для выращивания садкового карпа приводит к получению радиоактивно более чистой продукции. В целом, исследования показали перспективность выращивания садкового карпа и других видов рыб с использованием искусственных кормов на сбросных теплых водах Белоярской АЭС.

После вывода из эксплуатации второго энергоблока в 1989г. концентрация радионуклидов в воде Белоярского водохранилища снизилась. В частности, содержание трития во всех его районах уменьшилось примерно в два раза.

В целом, в настоящее время радиационная ситуация на Белоярском водохранилище не вызывает опасения. Радиационный фон по берегам и на поверхности зеркала водоёма не отличается от естественного фона, характерного для Свердловской области. Концентрация изотопов в воде не превышает допустимых уровней для питьевой воды (НРБ-99). В отдельных случаях было зафиксировано незначительное превышение норм СП-АЭС для питьевой воды по стронцию-90 и цезию-137 в районе биофизической станции, связанное с микроавариями на АЭС. Последнее, однако, не повлияло на радиационную ситуацию в водоёме в целом. Поступление радионуклидов в организм человека с рыбой заметно ниже предела годового поступления для лиц категории Б. Однако, сам факт наличия на берегу Белоярского водохранилища каналов, наполненных радиоактивными отходами, свидетельствует о нарушении этических норм отноше-

ния к природе и человеку. В настоящее время промливневый канал открыт для доступа населения. На нем часто можно видеть рыбаков-любителей. Как правило, это дети, не понимающие опасности контакта с радиоактивными веществами. Контроль за отловленной в канале рыбой отсутствует.

Наибольшее влияние Белоярская АЭС оказывает на Ольховскую болотно-речную экосистему. Последняя расположена примерно в 5 км к юго-востоку от АЭС и включает в себя искусственно прорытый канал, по которому сбрасываемые воды поступают в Ольховское болото. Из болота вытекает небольшая речка Ольховка протяженностью 3,5 км, впадающая в р. Пыпму. Общая площадь болота - около 0,3 км². Высота стояния воды в среднем составляет 0,5 м. Нижние 0,2 м водной толщи представляют собой суспензию, состоящую из остатков растений и канализационных взвесей. Под суспензией находятся преимущественно торфяные отложения мощностью до 1-1,5 м. С момента начала эксплуатации станции предполагалось использовать Ольховское болото в качестве природного барьера на пути миграции радионуклидов в открытую гидрографическую сеть, поэтому, наряду с хозяйственными стоками п.Заречный, в него производился сброс слабо-радиоактивных вод Белоярской АЭС в количестве примерно 10⁶ м³/год.

Итоги исследований радиозкологического состояния Ольховской болотно-речной экосистемы, подведенные к 1994г., показали, что основными загрязнителями болота являются радионуклиды кобальт-60, стронций -90, цезий-137 и тритий. Последний мигрирует преимущественно с водным потоком. Концентрация кобальта-60, стронция -90 и цезия -137 в воде к моменту исследования оказалась примерно одинаковой по всей протяженности болота и содержала указанные нуклиды в количествах 2,6 Бк/л, 0,6 Бк/л и 15,0 Бк/л соответственно. Тот факт, что на входе в болото и выходе из него концентрация радионуклидов в воде одинакова, свидетельствует о том, что часть их выносится за пределы болота в расположенные ниже по течению водные системы. Общий запас радионуклидов в грунтах Ольховского болота оценивается примерно в 7,4 ТБк. Основным загрязнителем донных отложений является цезий-137, концентрация которого варьирует в пределах 10-100 кБк/кг. По содержанию радионуклидов донные отложения Ольховского болота можно квалифицировать как радиоактивные отходы.

Обследование реки Ольховки, проведенное сотрудниками Института геофизики УрО РАН, также позволило установить, что илистые грунты этой реки по уровню содержания в них радионуклидов приближаются к категории радиоактивных отходов - концентрация радионуклидов в них более 30 кБк/кг (уровень РАО по бета-излучателям составляет 37 кБк/кг). В р.Пыпме, ниже места впадения в нее р.Ольховки, концентрация радиоактивных загрязнителей в грунтах снижается от 2000 до 60 Бк/кг, однако далее вниз по течению реки обнаруживаются локальные участки с повышенным содержанием техногенных радионуклидов в районе п.Глядены (1650 Бк/кг) и д.Филатово (620 Бк/кг). Это содержание значительно выше фоновых значений, хотя и не достигает нижнего предела концентраций, принятых для радиоактивных отходов.

Результаты сопоставления полученных данных с результатами геофизических исследований оказались несколько неожиданными. Как выяснилось, наиболее значимые зоны переотложения радиоактивных осадков контролируются зонами тектонических нарушений (рис.18). В п.Глядены и Филатово наблю-

дается приток поверхностных вод в зону глубинного разлома, что приводит к их фильтрации и накоплению радиоактивного загрязнения в этих зонах. Оказалось также, что выбор Ольховского болота как аккумулятора радиоактивных сбросов с геолого-геофизической точки зрения был явно неудачен, так как оно располагается в тектонически нарушенной зоне, где имеется подпор глубинных вод из тектонического разлома, поэтому и происходит дополнительное вымывание в бассейн р.Пышмы радиоактивных осадков.

Кроме территории Ольховского болота, загрязненными оказались примыкающие к нему почвы и произрастающие на них растения. Плотность загрязнения этих почв цезием-137 примерно в 10-20 раз выше по сравнению с аналогичными почвами, удаленными от болота на расстояние более 0,5 км.

После вывода из эксплуатации второго энергоблока максимальное содержание кобальта-60 в донных отложениях болотной экосистемы снизилось почти в 10 раз, а концентрации стронция-90 и цезия-137 практически не изменились. Резко сократилось поступление трития в Ольховское болото, а следовательно и вымывание его в р.Пышму.

В настоящее время Ольховское болото не выполняет роль природного фильтра на пути миграции радионуклидов, в связи с чем в 1998 г. Белоярской АЭС проведена реконструкция сбросов для снижения вымывания радионуклидов из болота, при этом часть сточных вод выведена в обход болотной системы. С радиозэкологической точки зрения, это мероприятие дало положительный эффект. Как будет развиваться ситуация в Ольховском болоте и р.Пышме в дальнейшем, покажет время.

ГЛАВА 4. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ПУНКТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

4.1. Спецкомбинат "РАДОН"

В связи с широким использованием радионуклидов в различных отраслях народного хозяйства, медицине, научных учреждениях возникла проблема их захоронения. Этим занимается система спецкомбинатов "Радон" Российской Федерации. В Уральском регионе функционирует одно из ответвлений этой системы - Свердловский государственный специализированный комбинат "Радон", расположенный в г.Верхняя Пышма. Суммарная радиоактивность захороненных отходов в нем в настоящее время составляет около 7,4 ПБк. На пункте захоронения имеется 12 приповерхностных хранилищ различного функционального назначения.

Захоронение радиоактивных веществ спецкомбинатом "Радон" началось в 1964г. и было продиктовано необходимостью локализации отходов Пышминского опытного завода. Для этой цели было построено спецхранилище по типу "пирамида" высотой 5 м над уровнем рельефа. Перед захоронением отходы помещали в железобетонные блоки объемом около 1 м³ и массой 1,5 т. В 1967 г. хранилище было заполнено. В дальнейшем твердые отходы других предприятий укладывали в специальные отсеки слоем до 1 м и заливали бетоном. Затем формировали второй слой и т.д., в результате создавался единый монолит из бетона. Таким способом обеспечивалось три барьера защиты - сама упаковка, бетонный монолит и железобетонная конструкция самого хранилища. По указанной технологии заполнено девять хранилищ.

С 1986 г. на спецкомбинате "Радон" внедрено раздельное захоронение твердых отходов и источников ионизирующего излучения. Последние помещаются в хранилища колодезного типа, представляющие собой цилиндрические емкости объемом 0,5 м³, выполненные из нержавеющей стали и помещенные на глубину 6 м. Источники ионизирующего излучения из транспортного контейнера по приемной трубе попадают в специальную емкость. С целью повышения надежности захоронения источников их изолируют в металлическую матрицу из сплава свинца. В настоящее время в двух хранилищах колодезного типа захоронено 92000 источников ионизирующего излучения с общей радиоактивностью более 6,3 ПБк.

Очевидно, что предприятие, осуществляющее захоронение радиоактивных отходов, само может быть источником радиационной опасности для окружающей среды и населения. Такая опасность, прежде всего, связана с аварийными ситуациями в результате ошибок в деятельности персонала, нарушения целостности технологических барьеров и других причин. Для контроля за состоянием среды на предприятии разработана и внедрена система мониторинга, в которую вовлечено 16 пунктов контроля, размещенных в зоне строгого режима, санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Для проведения гамма-каротажа пробуриваются скважины. Измерение мощности экспозиционной дозы на местности проводится методом пешеходной гамма-съемки через каждые 20 м вдоль

маршрутной линии. Определяется содержание радионуклидов в растительности, почве, воде, снеге.

В целом результаты радиозкологического мониторинга свидетельствуют об удовлетворительной радиозкологической обстановке в районе размещения пункта захоронения. Мощности доз гамма-излучения во всех трёх зонах вокруг комбината не превышают фоновых значений 0,07-0,16 мкЗв/ч. Радионуклидный состав в пробах почв представлен в основном природными радионуклидами и цезием-137, концентрация которых в целом не превышает фоновых показателей. Район пункта захоронения расположен на южной ветви Чернобыльского радиоактивного следа. Выпадение радиоактивных осадков после Чернобыльской катастрофы 1986 г. привело к изменению техногенного радиационного фона и повышению плотности загрязнения в некоторых местах по цезию-137 до 9 ГБк/км², а в некоторых локальных пятнах - до 18,5 ГБк/км². Дозовые пределы радиационного воздействия на персонал комбината "Радон" составляют $7,7 \pm 2,5$ мЗв. Случаев превышения предельно-допустимой дозы не отмечено.

Однако потенциальная опасность скопления большого количества радиоактивного материала сохраняется в случае диверсии, войны, падения летательного аппарата, природных катаклизмов, и в этих случаях судьба подобных захоронений может быть непредсказуема.

4.2. Государственное предприятие "УралМонацит"

Территория филиала ГУ "УралМонацит" является базой хранения 80000 тонн концентрата естественного радиоактивного минерала монацита и 2,28 тонн ториевого остатка, образованного в результате вскрытия монацита. Содержание природного тория в монацитовом концентрате составляет не менее 5% и урана не менее 0,2 %. Содержание тория в ториевом остатке составляет не менее 25%, урана не менее 1%. Монацит как минерал, содержащий торий, предназначался для переработки в целях последующего использования тория в ядерной энергетике.

В начальный период развития атомной промышленности в СССР важнейшим ядерным сырьем считался торий-232. Применение тория в ядерной энергетике основано на том, что под действием нейтронов, испускаемых ураном-235, в атомном реакторе торий-232 переходит в легко расщепляющийся уран-233, который сам является источником нейтронов, причем более эффективным и удобным в работе, чем плутоний. Однако при этом производство твэлов с ураном-233 затруднено вследствие высокого уровня гамма-излучения от урана-232 вещества-примеси. В процессе исследований свойств тория как расщепляющегося материала оказалось, что его использование в атомной промышленности сталкивается с практически неразрешимыми трудностями. Поэтому атомная промышленность полностью стала ориентироваться на урановый топливный цикл. Тем не менее, в стране остались не востребованными колоссальные запасы естественного минерального сырья - монацита, обогащенного природным торием.

Монацит представляет собой весьма опасный естественный радиоактивный материал. Степень радиоактивности монацита определяется, прежде всего, процентным содержанием в нем тория. Но радиационное воздействие обусловлено не только материнским нуклидом торием-232, но и в значительной степе-

Отсутствие системы пылегазоочистки приводит к тому, что радиоактивные газы торон (радон-220) и радон -222 и аэрозоли (дочерние продукты распада изотопов радона, пыль монацита) накапливаются в воздухе помещений и беспрепятственно распространяются в окружающую природную среду. Материал стен и их толщина не ослабляют ионизирующее излучение от монацитового концентрата на территории базы хранения. Строительные конструкции амбаров (стены, полы, перекрытия) не герметичны и не поддаются простым методам дезактивации; они настолько загрязнены, что сами относятся в настоящее время к категории радиоактивных отходов.

Мощность дозы облучения работающего персонала зависит от характера выполняемой работы и зоны пребывания.

В складских помещениях, где производятся перетаривание разрушенных упаковок, дозиметрические измерения, ремонтные работы, устранение опрокидывания штабелей и ящиков с монацитом и прочие работы, мощность эквивалентной дозы от внешнего гамма-излучения приводит к более чем 4-кратному превышению предела годовой дозы для профессионального персонала (группа А). Годовая доза от внутреннего облучения при ингаляционном поступлении радона и продуктов распада составляет 18 мЗв, что практически равно пределу годовой дозы для персонала группы А. Годовая доза от внутреннего облучения при ингаляционном поступлении пыли, содержащей естественные радионуклиды, зависит от выполняемых операций и варьирует от 12 до 116 мЗв, однако при перетаривании монацита и ликвидации россыпей из мешков возрастает до 8000 мЗв. Следовательно, можно ожидать, что суммарная годовая доза облучения персонала составит от 120 до 230 мЗв, а при ликвидации россыпей ожидаемая годовая доза составит 8200 мЗв.

За пределами складских помещений на территории базы хранения, где персонал выполняет периодически повторяющиеся операции (патрулирование территории базы, проверка целостности шлюбов, запоров входных дверей, ремонт охранной сигнализации, выкапывание травы, очистка от снежных заносов и т.д.), годовая доза от внешнего гамма-излучения около складов составляет 44 мЗв, между складами - 18 мЗв, на удалении от них - 1 мЗв. Годовая доза от внутреннего облучения при ингаляционном поступлении изотопов радона и продуктов их распада в этих же точках составляет соответственно 3, 1 и 1 мЗв, а суммарная доза - соответственно 47, 20 и 2 мЗв. В помещениях длительного пребывания персонала в течение рабочей смены (караульное помещение, автомастерские, котельная и др.) суммарная годовая ожидаемая доза равна примерно 3 мЗв.

Таким образом, установленный в ходе исследований потенциальный уровень облучения персонала столь велик, что требует определенных условий по реорганизации работ и контроль над ними как на территории складов, так и за их пределами. Действующие ныне нормативные требования, правовые и законодательные акты, касающиеся хранения радиоактивных веществ, предусматривают для этой цели специальные хранилища, которые должны быть оборудованы защитным технологическим оборудованием (камерами, боксами, вытяжными шкафами), иметь контейнеры для радиоактивных отходов, специальные транспортные средства, транспортные упаковочные комплекты, фильтры системы пылегазоочистки. Всё технологическое оборудование должно обладать

необходимой герметичностью, изготавливаться из прочных коррозионных и радиационностойких материалов, легко поддающихся дезактивации. Любое минеральное сырье с торием и ураном, выделяющее радиоактивные газы и образующее радиоактивные аэрозоли, должно храниться в боксах или камерах. На вентиляционных системах должны быть установлены очистные фильтры. Тара должна выполняться из негорючих материалов с отводом образующихся газов. Само хранилище должно быть оборудовано круглосуточно работающей вытяжной вентиляцией. Материал и толщина стен, пола, потолка помещения для хранения торийсодержащих веществ должны обеспечивать ослабление первичного и рассеянного излучения в смежных помещениях до допустимых значений.

На базе хранения и прилегающей территории должен осуществляться адекватный радиационный контроль, включающий в себя измерения, относящиеся к системе радиологической защиты, а также интерпретацию этих измерений при оценке и контроле внешнего и внутреннего облучения.

Важным условием снижения угрозы радиационного воздействия на население является исключение несанкционированного доступа к монаштитовому концентрату и его хищения. Кроме того, необходимо проводить обслуживание и ремонт оборудования, вести учёт и контроль радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Работа персонала на базе хранения ГУ "УралМонаштит" соответствует I классу работ с открытыми радионуклидными источниками.

В настоящее время выполнение производственных обязанностей персонала по обращению с радиоактивными веществами на всей территории базы хранения филиала ГУ "УралМонаштит" сопровождается влиянием вредных производственных факторов, превышающим радиационно - гигиенические нормативы и оказывающим неблагоприятное воздействие на организм работающих людей.

При сохранности существующей упаковки монаштитового концентрата и целостности помещений хранения в наружную атмосферу попадают радиоактивные газы радон, торон и их дочерние продукты распада. Вследствие процессов разбавления, радиоактивного распада, оседания на поверхностях объектов среды воздействие их ограничивается только территорией базы хранения. При этом необходимо учитывать важную особенность радиоактивного загрязнения территории дочерними продуктами распада тория.

Согласно представленной схеме распада и рис.13, торон, имеющий период полураспада 56 секунд, превращается в короткоживущий изотоп полоний-216 (период полураспада 0,15 с), который генерирует более долгоживущий свинец - 212 (период полураспада 10,6 ч). Последний вместе с микрочастицами пыли оседает в подветренной зоне и может создавать локальные радиоактивные аномалии, которые быстро разрушаются.

Кардинальным решением проблемы предотвращения возможной радиационной аварии может быть изменение способа хранения монаштитового концентрата. Наиболее простой и наименее эффективный путь – захоронение монаштитового концентрата без возможности последующего его извлечения для переработки. Другой путь (с учетом того, что монаштит содержит большое количество редкоземельных элементов, потребность в которых растет год от года) со-

стоит в извлечении этих элементов из концентрата тория с последующим его захоронением.

4.3. Заброшенный завод

В 40-х годах в поселке Озёрный, расположенном в излучине небольшого притока р.Реж примерно в 60 км от Екатеринбурга, было открыто одно из немногих в мире месторождений монацитового песка с концентрацией оксида тория в нем от 3 до 9 %. Мощность экспозиционной дозы на границе карьеров достигала величин 80-100 мкЗв/ч. Неблагополучная ситуация в этом районе связана как с геологическими особенностями региона (поселок расположен на территории Мурзинско - Камышловской радио-геохимической зоны, которая характеризуется повышенными уровнями поступления радона в помещения и употреблением радоносодержащей воды), так и с техногенным загрязнением местности отходами предприятия по обогащению торийсодержащих материалов.

С 1949 по 1964 гг. в посёлке работала фабрика по переработке и обогащению тория как сырья для атомной промышленности. Кроме собственного на ней перерабатывалось и привозное сырьё, которое складировали как на территории железнодорожной станции Костоусово, так и на станции Зюрьзя недалеко от Красноуфимска, где был расположен комбинат "Победа" (ныне ГП "УралМонацит").

После того, как стало ясно, что ни ториевой бомбы, ни ториевого реактора создать не удастся, месторождение за ненадобностью было законсервировано. Производство было закрыто, а остатки сырья и загрязненное оборудование завода были захоронены в трёх могильниках на окраине п.Озёрный. На территории посёлка и станции Костоусово остались очаги техногенного радиационного загрязнения. Ввиду существующей в ту пору секретности население не было предупреждено о существующей опасности и бесконтрольно использовало оставшийся монацитовый песок для частного строительства, отсыпки дорог. Использование населением торий-содержащих песков для хозяйственных целей привело к массовому загрязнению поселков Озерного и Костоусово.

Следует отметить, что опасность представляет как сам торий-232, содержащийся в монацитовом песке, так и продукты его радиоактивного распада - радий-228, свинец-212, полоний-216 и природный газообразный радионуклид торон-220. Последний хорошо растворяется в воде, мигрирует на большое расстояние, загрязняя водную и воздушную среду.

В 1989 г. впервые появились открытые официальные сведения о радиоактивном загрязнении п.Озёрный. С помощью аэрогамма-съемки были обнаружены повышенные уровни гамма-фона на территории посёлка и в его окрестностях, в связи с чем был разработан план рекультивации загрязненной территории. Согласно этому плану, к 1995г. дезактивации подверглось 16 жилых домов и 17 участков. Создан могильник, в котором захоронено около 10000 м³ грунта, содержащего 4,4 ТБк радионуклидов урана и тория.

Исследование радиационной ситуации в районе п.Озёрного проводилось сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН г.Екатеринбурга в 1990 г. (до начала рекультивационных работ) и в 1994 г. (по-

сле их проведения). До начала рекультивации наиболее высокий уровень гамма-излучения обнаруживался в районе могильника, расположенного между заводом и водоемом (17,5-30 мкЗв/ч при уровне естественного радиационного фона около 0,3 мкЗв/ч). Северо-восточнее п.Озерного расположены еще два могильника с уровнем гамма-фона на поверхности 0,25 мкЗв/ч. В 1994 г. их территория была обвалована мощным слоем скального грунта и щебня, в результате чего уровень гамма-фона на первом из них снизился до 0,1-0,18 мкЗв/ч. Однако на некоторых небольших участках, где не проводилась рекультивация, сохраняется повышенный уровень гамма-излучения до 2 мкЗв/ч. В частности, таковым является участок по берегу реки на северной окраине поселка, где расположена зона отдыха жителей п.Озерный.

Концентрация радия-226 в почве в пределах 100-метровой полосы вокруг могильника находится в пределах 46-50 Бк/кг при уровне глобального фона от 18 до 41 Бк/кг. В то же время концентрация тория-232 в этих почвах в 3-4 раза превышает верхний предел допустимого содержания альфа-излучателей, согласно существующим санитарным нормам.

Высокая концентрация тория-232 (21-165 кБк/кг) обнаружена в донных отложениях реки, огибающей п.Озерный. Она в 3-20 раз превышает максимально допустимый санитарными нормами предел концентрации альфа-излучателей для человека. Возможно, высокое содержание тория в грунтах реки обусловлено переносом с водой радиоактивного материала из могильника, а также с жидкими технологическими сбросами завода по переработке монацитового песка в 50-60-е годы.

Таким образом, почвы района и донные отложения реки по содержанию в них тория-232 относятся к категории твердых радиоактивных отходов, которые в открытом виде практически бесконтрольно лежат на территории поселка недалеко от жилых домов.

Сотрудниками Института промышленной экологии УрО РАН произведена оценка доз облучения населения за счет торона-220, образующегося в процессе распада тория. Концентрация торона в помещениях ст.Костюково варьирует в пределах от 2,5 до 15 Бк/м³, тогда как для незагрязненных домов этот показатель составляет 1,7 - 2,5 Бк/м³. В наиболее неблагоприятных по радиационному фактору домах за счет торона индивидуальная эффективная доза облучения может в 10 раз превышать фоновый показатель. В итоге годовая доза за счет торона и гамма-излучения для населения поселка составляет 147 сЗв.

Таким образом, в целом радиэкологическая ситуация в п.Озерный не может считаться благополучной и безопасной для населения. Кроме продолжения рекультивационных работ, необходима информированность проживающих здесь людей об опасности окружающей их техногенной среды и важность соблюдения определенных защитных мер с целью снижения негативных последствий для жизни. Эта информация должна быть сохранена для жителей будущих поколений п.Озерного, чтобы не появился соблазн использовать скальный грунт с поверхности могильников для хозяйственных целей, что может повлечь за собой повторное рассеивание ториевого песка.

4.4. Ключевской завод ферросплавов

Территория, примыкающая к поселку Двуреченск, расположена примерно в 45 км от г.Екатеринбург и является неблагоприятной в радиэкологическом отношении в связи с деятельностью Ключевского завода ферросплавов, выпускающего ферросиликопиркониевый, ферроникобиевый, ферроалюмопиркониевый и другие сплавы железа с редкоземельными и другими металлами. При переработке сырья, содержащего ниобиевые и циркониевые концентраты, образуются радиоактивные отходы в виде металлургических шлаков. Это связано с тем, что сырьё для концентратов, как правило, имеет высокое содержание монацита, торий содержащего минерала. Шлаки, образующиеся после металлургической переработки, имеют удельную активность по торию-232 от 300 до 1100 Бк/кг. Первоначально планировалось производить захоронение шлаков траншейным способом с последующей засыпкой землей в специально спроектированном пункте захоронения радиоактивных отходов. Однако в связи с поздним завершением его строительства, в течение многих лет радиоактивные шлаки несанкционированно складировались в лесной зоне, примыкающей к поселку, а также на территории свалки бытовых отходов и в отвалы, находящиеся на территории завода в непосредственной близости от поселка. Точный объем вывезенных шлаков установить невозможно, поскольку цеховой контроль объема образующихся шлаков отсутствовал. Население поселка не было предупреждено о наличии радиоактивных шлаков и при строительстве жилых домов частного сектора широко использовало блоки, изготовленные из этого радиоактивного материала. Таким образом, в районе поселка и завода ферросплавов, а также на прилегающих территориях сформировались очаги техногенного загрязнения естественными радионуклидами.

В 1985г. строительство пункта захоронения радиоактивных отходов было завершено. С тех пор в него было засыпано около 8000 тонн радиоактивных шлаков. Мощность экспозиционной дозы на отвалах и курганах засыпанных траншей-могильников нигде не превышала 1,0 мкЗв/ч. Однако отбор почвенного воздуха в пределах этих же траншей показал, что в нем присутствует торон в количествах, превышающих 15000 Бк/м³, при уровне естественного фона в этом районе 200-300 Бк/м³. Вполне вероятно, что захороненные отходы ферросплавного завода разлагаются под действием природных факторов, и торон начинает свободно выходить в поровое пространство почвы, обогащая ее радиоактивными продуктами своего распада.

С целью выявления основных источников формирования дозы для населения поселка было проведено дозиметрическое обследование всех домов частной постройки и старых двухэтажных домов постройки 60-х годов, когда активно использовался заводской шлак в качестве наполнителя бетона. Дополнительно было обследовано 50 домов на содержание в воздухе дочерних продуктов распада радона и торона. В результате этих измерений был обнаружен заметный сдвиг в сторону увеличения содержания торона. При среднемировом отношении между объемными активностями радона и торона в почвенном воздухе равном 10 ($C_{Ra}/C_{Th} = 10$), практически везде величина этого отношения

составляла 1 или менее. Это свидетельствует об использовании для строительных целей шлаков, содержащих повышенные концентрации тория.

Рассчитанная суммарная доза от радона и торона в 19 домах из 50 превысила 1,5 мЗв/год, в 10 домах из 19 превысила 2,5 мЗв/год, а в двух домах составила более 8 мЗв/год. Фактически более 30% обследованного жилого фонда оказалось загрязнено торием и продуктами его распада. В шести домах, где суммарная расчетная доза облучения превысила 3,5 мЗв/год, бытю предложено провести немедленную дезактивацию.

Интересно рассмотреть соотношение гамма-фона и объемной активности радона (торона) в исследуемых помещениях. Обследование показало, что за исключением одного случая высокая активность дочерних продуктов в помещениях не совпадала с высоким гамма-фоном. И наоборот, выявленные аномально высокие уровни гамма-фона в них (до 2,0 – 3,5 мкЗв/ч) не сопровождалась повышенной объемной активностью радона (торона).

Дозиметрическое обследование улиц и приусадебных участков показало наличие многочисленных точечных аномалий с мощностью экспозиционной дозы от 3-6 мкЗв/ч до 8-12 мкЗв/ч. В большинстве случаев это были участки дорог и тротуаров с отсыпанным металлургическим шлаком, фундаменты домов и теплиц.

Дозиметрические исследования более 400 домов и дачных участков выявили 80 аномальных зон, в которых максимальная мощность экспозиционной дозы была более 1,0 мкЗв/ч. В основном это были фундаменты зданий, теплиц и гаражей, основания печей и котельных, пешеходные дорожки. Однако, в 30 случаях в жилых помещениях были выявлены участки с дозой облучения от 4,0 до 7,0 мкЗв/ч. Кроме того, в нескольких подвальных помещениях была зафиксирована доза более 10 мкЗв/ч, а в одном из подвалов объемная активность радона (торона) составила более 30000 Бк/м³.

Исследования проб воды и грунтов показали, что в воде содержание тория-232 ниже установленных нормативов и не превышает 10 Бк/л. В грунтах основным источником радиоактивности является торий-232, что отчетливо проявляется в характерном спектре его гамма-излучения. Концентрации других естественных и искусственных радионуклидов не превышают фоновых показателей. Дополнительный анализ проб грунтов позволил установить, что торий содержится в них в нерастворимом виде, что существенно снижает возможность его поступления в организм по пищевой цепочке.

Комплексное радиэкологическое обследование п. Двуреченска показало, что небрежное отношение к хранению радиоактивных отходов, запоздалое строительство пункта их захоронения радиоактивных отходов и недостаточная информированность населения привели к обширному радиоактивному загрязнению жилого поселка. Основными источниками формирования дозы являлись как внешнее гамма-излучение в местах скопления радионуклидов, так и внутреннее облучение за счет дочерних продуктов распада радона и торона. Результаты обследования были положены в основу рекомендаций по проведению мероприятий для дезактивации загрязненных территорий.

4.5. Радиоактивное загрязнение г.Екатеринбурга

При использовании радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения в науке, технике и медицине нельзя исключать возможность радиоактивного загрязнения территории больших городов. На заре атомной эры радиоактивные вещества зачастую применялись практически бесконтрольно. Все это способствовало техногенному радиоактивному загрязнению территории некоторых населенных пунктов и промышленных зон.

В качестве примера можно привести результаты изучения радиационной обстановки г.Екатеринбурге. Эти работы были выполнены Зеленогорским ГТП в 1988-1994гг. путем проведения аэрогамма-спектрометрической съемки в масштабе 1:10000, автогамма-спектрометрической съемки улично-дорожной сети и пешеходной гамма-съемки в масштабе 1:2000.

Всего на территории г.Екатеринбурга было зафиксировано 199 участков радиоактивного загрязнения с мощностью экспозиционной дозы более 0,6 мкЗв/ч (рис.19). Наибольшее количество участков приурочено к жилым кварталам города (66%). Около 20% связано с промышленным ландшафтом и 13% относятся к прочим видам ландшафта.

Среди всех обнаруженных в г.Екатеринбурге радиационных пятен 66,3% явилось следствием аварий на Чернобыльской АЭС и ПО МАЯК и перераспределением радионуклидов на территории города; 14,6% участков загрязнения образовалось в результате разрушения или утери ампул с радиоактивными изотопами и других источников ионизирующего излучения; 12,6% случаев повышения дозы можно отнести за счет использования высокорadioактивных строительных материалов; 2% связано с использованием предметов со светосоставами постоянного действия; 4,5% - с прочими неконтролируемыми обстоятельствами.

Первые из указанных участков были выявлены, в основном, в 1988-1989гг., когда при проведении радиозологических работ было установлено наличие общего площадного загрязнения территории Екатеринбурга продуктами аварий на ЧАЭС и ПО МАЯК. Местный радиационный фон имел тогда резко дифференцированный характер с преобладающими значениями мощности экспозиционной дозы гамма-излучения 0,18-0,20 мкЗв/ч. На этом фоне были выявлены аномалии с мощностью дозы от 0,6 до 3,0 мкЗв/ч и более, приуроченные к местам концентрирования атмосферных осадков (под водосточными трубами, в ливневой канализации и понижениях рельефа). 100 участков, имевших мощность экспозиционной дозы более 1,2 мкЗв/ч, были подвергнуты дезактивации. При повторном проведении гамма-съемки в масштабе 1:2000 фон в центральной части города составил 0,08-0,1 мкЗв/ч.

В последние годы после установки автоматических мониторов гамма-излучения в центре города были замечены неоднократные повышения гамма-фона, связанные с появлением в осадках (дожде или снеге) цезия-137 при восточно-северо-восточном направлении ветра. Обычно это надфоновое увеличение не превышало 0,05 - 0,08 мкЗв/ч, при этом фон увеличивался до 0,18 мкЗв/час. Так 25 июля 1997 года во время сильной грозы с проливным дождем был зафиксирован фон около 0,25 мкЗв/ч. Поскольку в это время ветер дул со стороны Белоярской АЭС, можно предполагать, что надфоновые выпадения

40 лет спустя, он практически распался. Но в первое время после взрыва этот изотоп несомненно воздействовал на население. Анализ онкозаболеваемости местного населения, постоянно проживавшего на территории Тоцкого радиоактивного следа с 1955 по 1995 гг., позволил установить, что наибольшее число людей со злокачественными заболеваниями проживало в населенных пунктах, расположенных в 20-30 км от эпицентра взрыва (села Япюно, Малояпково, Покровка, Новоникольское). Самое высокое число детей, погибших от рака, приходится на 50-60 годы, то есть в первое десятилетие после взрыва. Таким образом, одним из наиболее пострадавших от ядерных испытаний на Тоцком полигоне районов в Оренбургской области, очевидно, является Сорочинский район.

Сотрудниками Оренбургского государственного аграрного университета был проведен анализ заболеваемости лейкозом крупного рогатого скота в зоне Тоцкого радиоактивного следа и в целом по Оренбургской области. Оказалось, что в хозяйствах только трех районов (Красногвардейского, Сорочинского и Тоцкого) выявлено около 1000 пораженных лейкозом животных, что составляет примерно 72% от общего числа заболеваний по области. Авторы связывают этот факт с последствиями Тоцких войсковых учений с применением ядерного оружия.

Сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН были проведены исследования клеток мозга у двух видов грызунов (домовой мыши и дикого вида этих животных - восточно-европейской полевки), отловленных в Старобогдановке и Кристалке. Первая из них расположена на территории предполагаемого Тоцкого радиоактивного следа, а вторая - вне его границ. У обоих видов грызунов в этих пунктах обнаружена повышенная частота хромосомных нарушений (аббераций) в клетках мозга по сравнению с животными контрольного региона, расположенного в экологически чистом регионе. В поисках причин обнаруженных эффектов были проанализированы некоторые показатели, характеризующие степень радиоактивного и химического загрязнения подопытных грызунов (суммарная бета-активность, содержание стронция-90, цезия-137, фтора, меди, цинка, свинца, кадмия и др.), однако они оказались в пределах нормы. По мнению авторов, повышенная генетическая опасность в зоне Тоцкого радиоактивного следа и прилегающих к нему регионах может быть связана с хроническим воздействием радиационного фактора в первые 40 лет после взрыва, который, кстати, в этот период времени никак не изучался. Используемый тест (частота хромосомных аббераций у мышей) можно считать критерием оценки опасности среды, и эта опасность является реальной не только для животных, но и для человека.

Одновременно проводились исследования на рыжих полевках, которые использовались в качестве модельных видов млекопитающих, являвшихся индикаторами состояния среды в районе Тоцкого ядерного взрыва. Дело в том, что эти животные в течение 100 с лишним поколений жили в местах первоначального загрязнения и испытывали на себе воздействие радиации в малых дозах. Примечательно, что участки, на которых сразу же после взрыва происходило выпадение основной массы радионуклидов из радиоактивного облака, характеризуются пониженной численностью полевков относительно контрольного участка. У подопытных животных обнаружено необычайно высокое количество крупных аббераций и уродств в строении черепа, которые имеют явно выраженную

свердловская ТЭЦ и Западная фильтровальная станция) были установлены концентрации изотопа в питьевой воде от 8 до 13 Бк/л при среднем значении равном 11 Бк/л. Эти значения примерно на порядок величин выше естественного фона (1 Бк/л) и примерно в два раза выше условно принятого уровня техногенного фона (5 Бк/л). Таким образом, можно считать, что весь тритий в воде исследуемых источников имеет техногенное происхождение.

Индивидуальная доза облучения населения г.Екатеринбурга от трития в питьевой воде составила 0,37 мкЗв/год, что в 27 раз меньше дозы облучения индивидуума в случае наличия статуса радиоактивного загрязнения. Коллективная доза при этом составила 0,49 чел-Зв/год. Она всего в два раза ниже дозы, определяющей тот нижний предел (1 чел-Зв /год), превышение которого позволяет констатировать факт радиоактивного загрязнения территории согласно НРБ-99. В случае увеличения населения г.Екатеринбурга в два раза или включение в расчеты населения близлежащих городов до общей численности 2,7 млн. человек эта территория по величине коллективной эффективной дозы только за счет наличия трития будет соответствовать статусу территории с радиоактивным загрязнением. В связи с этим следует рекомендовать эксплуатирующим организациям разрабатывать и сооружать технологические узлы для задержания и локализации трития в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла.

Приведенные результаты указывают на необходимость организации постоянно действующего радиационного мониторинга в таких крупных промышленно развитых городах, каким является г.Екатеринбург.



Рис.19. Схема расположения локальных участков загрязнения радионуклидами города Екатеринбурга

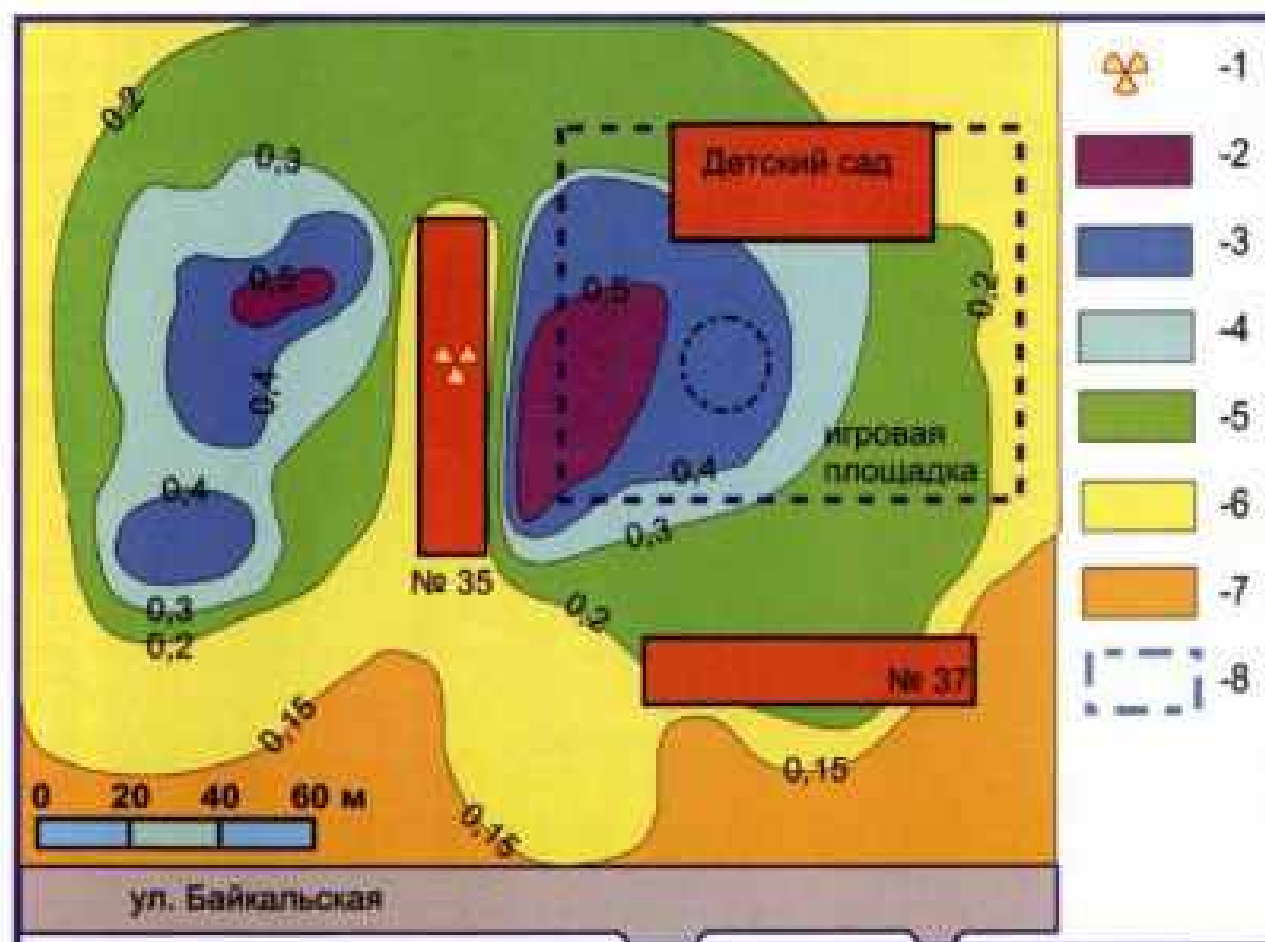


Рис.20. Схема интенсивности гамма-поля от источника, расположенного на чердаке жилого здания: 1-источник цезия-137; мощность экспозиционной дозы: 2 - более 0,5 мкЗв/ч; 3 - 0,5-0,4; 4 - 0,4-0,3; 5 - 0,3-0,2; 6 - 0,2-0,15; 7-менее 0,15 мкЗв/ч; 8- территория детского сада

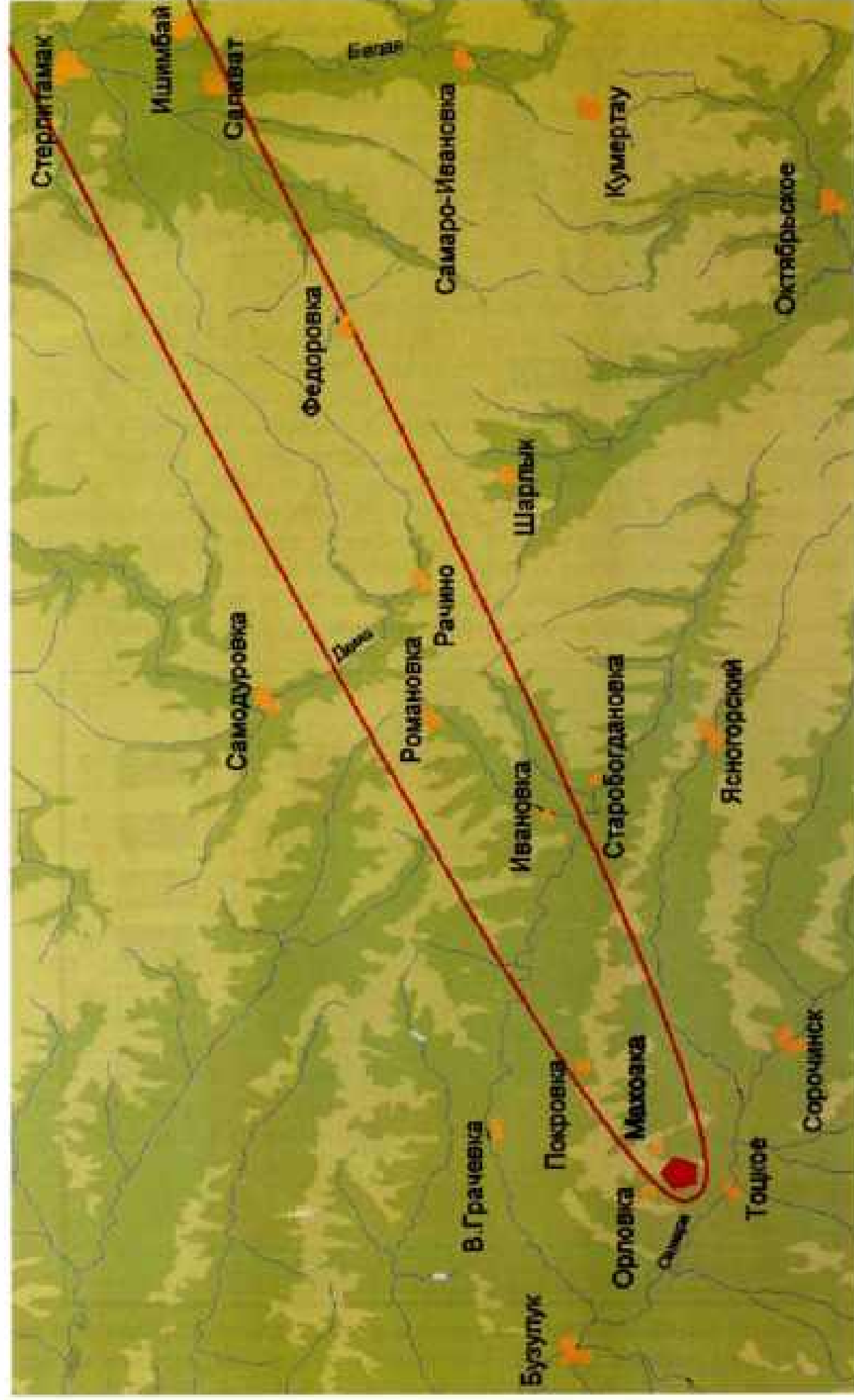


Рис.21. Схема предполагаемого распространения радиоактивного облака после взрыва атомной бомбы во время Тоцких учений (модель 1998г.)

ГЛАВА 5. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА УРАЛЕ

5.1. Тоцкие учения

Ясным безоблачным утром 14 сентября 1954 г. в 9 час. 30 мин. по московскому времени над Тоцким полигоном в Оренбургской области был произведен взрыв атомной бомбы. Мощность взрыва составила 40 килотонн. Взрыв, произведенный на высоте 350 м., сопровождался ослепительной вспышкой, осветившей местность ярко-белым светом. По мнению очевидцев, яркость светящегося облака в первые моменты значительно превышала яркость солнца.

К моменту проведения взрыва местное население было временно эвакуировано из населенных пунктов, прилегающих к месту испытаний. Людей и домашний скот укрывали в складках местности, иногда их размещали в специально отведенных помещениях в более удаленном районе. Были случаи, когда людей просто предупреждали о предстоящем взрыве, но не требовали укрытия в домах и подвалах. Многие жители еще не знали о губительном действии радиации, поэтому относились к предстоящему событию с любопытством: забирались на крыши домов и рассматривали свечение на горизонте через специально закопченное стекло.

Впервые предстояло осуществить атомный взрыв в учении с использованием большого количества воинских частей. Для этой цели бойцов действительной службы в Советской Армии тогда, осенью 1954 г., десятками тысяч доставляли по железной дороге в телячьих вагонах под Тоцкое. Операция осуществлялась в условиях строжайшей секретности, но по "солдатскому телеграфу" все уже знали, что везут их как "подопытных кроликов" для эксперимента - будут взрывать атомную бомбу. Всего в тоцких учениях было задействовано 45 тысяч военнослужащих разных родов войск.

Для взрыва была выбрана Каланчевская гора высотой около пятисот метров, расположенная недалеко от Тоцкого. Она была покрыта красивым смешанным лесом. Как вспоминает один из участников этих событий, всю её перерывали окопами и блиндажами, завезли сюда танки, бронемашины, даже самолет. По всей намеченной территории было рассредоточено огромное количество различной техники и домашний скот. В укрытиях были даже бытовые предметы, вплоть до часов и авторучек, и продукты питания (шоколад). Вокруг района учений при помощи авиации был создан огромный замкнутый меловой круг.

Солдат загнали в окопы, вырытые на разном расстоянии от предполагаемого места взрыва, приказали сесть спиной к эпицентру и одеть противогазы. Постыпался гул самолета, потом раздался резкий треск. Страшной силы удар потряс землю. Над Каланчевой горой разрастался огромный "гриб", внутри которого пылал большой огненный шар. Засекли время - он пылал 45 минут. Затем Каланчевку стала бомбить авиация, обстреливать артиллерия, потом в атаку пошли танки. Бедная земля стонала от наносимых ударов... Потом пошла пехота. Хотя командиры предупреждали строго-настроено - не трогать продукты, некоторые рядовые бойцы не воспринимали это всерьез и "лакомились" шоколадом. Впоследствии при обследовании "подопытных кроликов"

шенные концентрации микроэлементов также в донных отложениях и водных растениях обследованной территории.

Следует отметить, что химическое загрязнение характерно и для других регионов Оренбургской области. В частности, в зоне размещения Медногорского медносерного комбината, расположенного в восточной части Оренбургской области, загрязнение воздуха сернистым ангидридом, сероводородом, аэрозолями серной кислоты превышает нормативное значение в 3-90 раз. Почвы, отобранные на расстоянии 0,5-10 км от комбината, содержат повышенные количества меди, цинка, свинца, висмута, олова, мышьяка, кадмия и тех элементов, которые являются специфическими для выбросов предприятий по переработке медно-сульфидных руд. Этими элементами загрязнены воздух, снег, овощные культуры. Статистически значимое повышение смертности жителей г.Медногорска от онкологических заболеваний по сравнению с контрольным городом говорит о сильном негативном воздействии повышенных концентраций химических загрязнителей в среде обитания на организм человека.

Число больных, состоящих на учете по злокачественным заболеваниям (на 100000 жителей), в целом в Оренбургской области с 1950 по 1991 гг. возросло в 6,3 раза. Ядерный взрыв 1954 г. и серия подземных ядерных взрывов в последующие годы явились несомненной тому причиной. Однако последствия этих взрывов проявились на фоне работы на территории области крупных промышленных предприятий с невысоким уровнем технологий, способствующих дополнительному загрязнению природной среды, и в частности тяжелыми металлами (микроэлементами). Все это в комплексе привело к нарушению экологического равновесия, что безусловно явилось одним из ведущих факторов, способствующих распространению болезней среди населения, и в первую очередь злокачественных новообразований.

5.2. Технологические ядерные взрывы

Пермская область

Известно по крайней мере о 10 подземных ядерных взрывах, произведенных в Пермской области (рис.7). Подземные взрывы с целью увеличения добычи нефти проводились на Осинском (проект "Грифон") и Гежском (проект "Геллий") нефтяных месторождениях. Взрывы атомных зарядов на выброс с целью строительства канала для печально известного проекта переброски вод северных рек на юг были произведены в Чердынском районе (проект "Тайга-1").

Последствия ядерных взрывов обычно рассматриваются в плане изучения радиоактивного загрязнения окружающей среды непосредственно продуктами взрыва или продуктами наведенной (вторичной) активности в окружающей среде. Как правило, исследуется загрязнение наиболее долгоживущими продуктами взрыва - цезием-137, стронцием-90 и кобальтом-60. Вместе с тем обычно не исследуются последствия влияния мощных подземных взрывов непосредственно на геологическую среду.

1992 по 1996 гг. было проведено изучение здоровья ветеранов Тоцких войсковых учений, при этом были исследованы медицинские документы у 2106 участников учений. В момент испытаний основная масса военнослужащих имела возраст от 18 до 27 лет. К 1995 г. 31% участников стали инвалидами, многие страдали различными заболеваниями, в том числе злокачественными, болезнями крови и т.д. При этом на первом месте (75% от числа болезней) стоят болезни сердечно-сосудистой системы, на втором - органов пищеварения (20%), на третьем - злокачественные новообразования и болезни крови (5%). Все полученные материалы доказывают факт прямого и специфического воздействия ядерного взрыва на здоровье ветеранов Тоцких учений, что повлекло за собой во многих случаях инвалидность и сокращение сроков жизни.

В этот же период было обследовано состояние здоровья населения, проживающего в зоне влияния Тоцкого ядерного взрыва. Оказалось, что здесь по сравнению с 1950 г. резко возросла общая заболеваемость (в отдельных районах в 1,8 раза), рождаемость снизилась в 2,6 раза, общая смертность возросла в 1,8 раза. Болезней среди детского населения (1289,8 чел. на 10000) оказалось больше, чем в среднем по России (1043,5). На высоком уровне находится перинатальная смертность, причём смертность от врожденных уродств стоит на втором месте среди причин смертности. Растет заболеваемость новорожденных: количество врожденных аномалий увеличилось в 1,6 раза, врожденных пневмоний - 2,3 раза и т.д. Уровень общей смертности в этом регионе превышает таковой у сельского населения Оренбургской области и Российской Федерации. С 1960 по 1994 гг. показатель смертности от новообразований возрос в 2,3 раза при темпе прироста населения 129%. При этом уровень смертности населения, проживающего в районе Тоцкого ядерного взрыва, выше, чем у сельского населения во всей Оренбургской области.

Для жителей, проживающих в зоне Тоцкого ядерного взрыва, был проведен эпидемиологический анализ заболеваемости злокачественными опухолями. Для сравнения взято население Тоцкого района, где непосредственно был осуществлен взрыв атомной бомбы, расположенного по соседству Сорочинского района и контрольного Беляевского района, который существенно удален от места взрыва. В структуре заболеваний новообразованиями в этих районах преобладают опухоли бронхов и легких, прямой и ободочной кишки и женских генеративных органов. На разных территориях прирост заболеваемости новообразованиями был различен, однако наиболее высоким он оказался в Сорочинском районе. Здесь же был обнаружен наибольший эффект радиоактивного загрязнения территории. В Тоцком районе в целом прирост заболеваемости оказался ниже, что вполне согласуется с минимальным радиоактивным загрязнением этого региона. Действительно, в настоящее время на большей части территории Тоцкого района радиационная обстановка близка к уровню глобального фона, весь пылевой столб вместе с облаком взрыва был вынесен за пределы эпицентра. В Беляевском районе, принятом за контрольный, заболеваемость оказалась наименьшей.

Основным радиоактивным загрязнителем территории в момент взрыва был кобальт-60. Это относительно короткоживущий радионуклид с периодом полураспада 5,2 года. Конечно, к моменту обследования территории, произведенной

40 лет спустя, он практически распался. Но в первое время после взрыва этот изотоп несомненно воздействовал на население. Анализ онкозаболеваемости местного населения, постоянно проживавшего на территории Тоцкого радиоактивного следа с 1955 по 1995 гг., позволил установить, что наибольшее число людей со злокачественными заболеваниями проживало в населенных пунктах, расположенных в 20-30 км от эпицентра взрыва (села Япкинское, Малояшково, Покровка, Новоникольское). Самое высокое число детей, погибших от рака, приходится на 50-60 годы, то есть в первое десятилетие после взрыва. Таким образом, одним из наиболее пострадавших от ядерных испытаний на Тоцком полигоне районов в Оренбургской области, очевидно, является Сорочинский район.

Сотрудниками Оренбургского государственного аграрного университета был проведен анализ заболеваемости лейкозом крупного рогатого скота в зоне Тоцкого радиоактивного следа и в целом по Оренбургской области. Оказалось, что в хозяйствах только трех районов (Красногвардейского, Сорочинского и Тоцкого) выявлено около 1000 пораженных лейкозом животных, что составляет примерно 72% от общего числа заболеваний по области. Авторы связывают этот факт с последствиями Тоцких войсковых учений с применением ядерного оружия.

Сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН были проведены исследования клеток мозга у двух видов грызунов (домовой мыши и дикого вида этих животных - восточно-европейской полевки), отловленных в Старобогдановке и Кристалке. Первая из них расположена на территории предполагаемого Тоцкого радиоактивного следа, а вторая - вне его границ. У обоих видов грызунов в этих пунктах обнаружена повышенная частота хромосомных нарушений (аббераций) в клетках мозга по сравнению с животными контрольного региона, расположенного в экологически чистом регионе. В поисках причин обнаруженных эффектов были проанализированы некоторые показатели, характеризующие степень радиоактивного и химического загрязнения подопытных грызунов (суммарная бета-активность, содержание стронция-90, цезия-137, фтора, меди, цинка, свинца, кадмия и др.), однако они оказались в пределах нормы. По мнению авторов, повышенная генетическая опасность в зоне Тоцкого радиоактивного следа и прилегающих к нему регионах может быть связана с хроническим воздействием радиационного фактора в первые 40 лет после взрыва, который, кстати, в этот период времени никак не изучался. Используемый тест (частота хромосомных аббераций у мышей) можно считать критерием оценки опасности среды, и эта опасность является реальной не только для животных, но и для человека.

Одновременно проводились исследования на рыжих полевках, которые использовались в качестве модельных видов млекопитающих, являвшихся индикаторами состояния среды в районе Тоцкого ядерного взрыва. Дело в том, что эти животные в течение 100 с лишним поколений жили в местах первоначального загрязнения и испытывали на себе воздействие радиации в малых дозах. Примечательно, что участки, на которых сразу же после взрыва происходило выпадение основной массы радионуклидов из радиоактивного облака, характеризуются пониженной численностью полевков относительно контрольного участка. У подопытных животных обнаружено необычайно высокое количество крупных аббераций и уродств в строении черепа, которые имеют явно выраженную

мутагенную природу. Эти изменения прослеживаются не только вблизи Тоцкого полигона и вдоль Тоцкого радиоактивного следа, но и за их пределами - на территории Тоцкого и Красногвардейского районов. Ученые рассматривают популяции этих животных как экотоксикологическую модель популяции человека, поэтому полученные научные выводы в значительной степени могут быть экстраполированы на местное население этих районов.

Учитывая отрицательные последствия Тоцкого ядерного взрыва на здоровье населения и состояние животных организмов, учёные обследовали среду их обитания (атмосферный воздух, снеговой покров, питьевую воду, почву, реки и т.д.). По результатам анализа питьевой воды и снежного покрова, без учёта радиационного фактора, в настоящее время экологическую обстановку в населённых пунктах региона в целом можно оценить как относительно благополучную. Однако в населённых пунктах Сорочинского и Красногвардейского районов, которые в первую очередь пострадали от взрыва, в питьевой воде и продуктах питания обнаружены концентрации стронция, йода, бериллия и других химических элементов, превышающие уровень фоновых.

Что касается радионуклидного загрязнения почв, то в них концентрация тяжелых металлов тория-232 и урана-238 не отличается от средних уровней, характерных для других регионов страны. Почвы обследованного района имеют низкое содержание стронция-90 (меньше 10 Бк/кг), а плотность загрязнения цезием-137 в 1,4-3,2 раза превышает глобальный уровень. Зато концентрация плутония в поверхностных слоях почв в 2-20 раз выше, чем в "неблагополучной" Брянской области. Для этого элемента характерна мозаичность распространения по Тоцкому следу и отсутствие выраженного градиента концентраций от эпицентра взрыва к периферии следа. Наиболее высоким содержанием плутония характеризуются окрестности д.Грачевки, участок между деревнями Нижнекристалка и Кристалка и территория, примыкающая к д.Пронькино и Кирсановке. Содержание плутония в почвенно-растительном покрове обследуемого региона в 1,5-5 раз превышает уровень глобального фона. Наряду с радиоактивными свойствами, плутоний обладает опасным химическим токсическим воздействием, что усугубляет негативное влияние этого элемента на живые организмы, и в первую очередь на человека.

При анализе образцов растений из зоны Тоцкого радиоактивного следа было обнаружено присутствие бериллия-7. Хотя он является радионуклидом космического происхождения, тот факт, что в образцах растений были зафиксированы более высокие количества бериллия-7 (100-600 Бк/кг), чем средние показатели по биосфере (0,3 Бк/кг), дает основание предполагать его техногенное происхождение. Все это говорит о продолжающемся хроническом воздействии радиации в малых дозах на население районов, расположенных в зоне влияния Тоцкого ядерного взрыва.

Обследование рек Сорочка, Ток, Неть, Самара и прудов на содержание радионуклидов не выявило каких-либо существенных превышений по тритию, стронцию-90, цезию-137 над их контрольными показателями. В то же время в ряде мест содержание некоторых микроэлементов (марганца, никеля, цинка) в воде превышает допустимые нормы (ПДК) в несколько раз. Отмечены повы-

шенные концентрации микроэлементов также в донных отложениях и водных растениях обследованной территории.

Следует отметить, что химическое загрязнение характерно и для других регионов Оренбургской области. В частности, в зоне размещения Медногорского медносерного комбината, расположенного в восточной части Оренбургской области, загрязнение воздуха сернистым ангидридом, сероводородом, аэрозолями серной кислоты превышает нормативное значение в 3-90 раз. Почвы, отобранные на расстоянии 0,5-10 км от комбината, содержат повышенные количества меди, цинка, свинца, висмута, олова, мышьяка, кадмия и тех элементов, которые являются специфическими для выбросов предприятий по переработке медно-сульфидных руд. Этими элементами загрязнены воздух, снег, овощные культуры. Статистически значимое повышение смертности жителей г. Медногорска от онкологических заболеваний по сравнению с контрольным городом говорит о сильном негативном воздействии повышенных концентраций химических загрязнителей в среде обитания на организм человека.

Число больных, состоящих на учете по злокачественным заболеваниям (на 100000 жителей), в целом в Оренбургской области с 1950 по 1991 гг. возросло в 6,3 раза. Ядерный взрыв 1954 г. и серия подземных ядерных взрывов в последующие годы явились несомненной тому причиной. Однако последствия этих взрывов проявились на фоне работы на территории области крупных промышленных предприятий с невысоким уровнем технологий, способствующих дополнительному загрязнению природной среды, и в частности тяжелыми металлами (микроэлементами). Все это в комплексе привело к нарушению экологического равновесия, что безусловно явилось одним из ведущих факторов, способствующих распространению болезней среди населения, и в первую очередь злокачественных новообразований.

5.2. Технологические ядерные взрывы

Пермская область

Известно по крайней мере о 10 подземных ядерных взрывах, произведенных в Пермской области (рис.7). Подземные взрывы с целью увеличения добычи нефти проводились на Осинском (проект "Грифон") и Гежском (проект "Геллий") нефтяных месторождениях. Взрывы атомных зарядов на выброс с целью строительства канала для печально известного проекта переброски вод северных рек на юг были произведены в Чердынском районе (проект "Тайга-1").

Последствия ядерных взрывов обычно рассматриваются в плане изучения радиоактивного загрязнения окружающей среды непосредственно продуктами взрыва или продуктами наведенной (вторичной) активности в окружающей среде. Как правило, исследуется загрязнение наиболее долгоживущими продуктами взрыва - цезием-137, стронцием-90 и кобальтом-60. Вместе с тем обычно не исследуются последствия влияния мощных подземных взрывов непосредственно на геологическую среду.

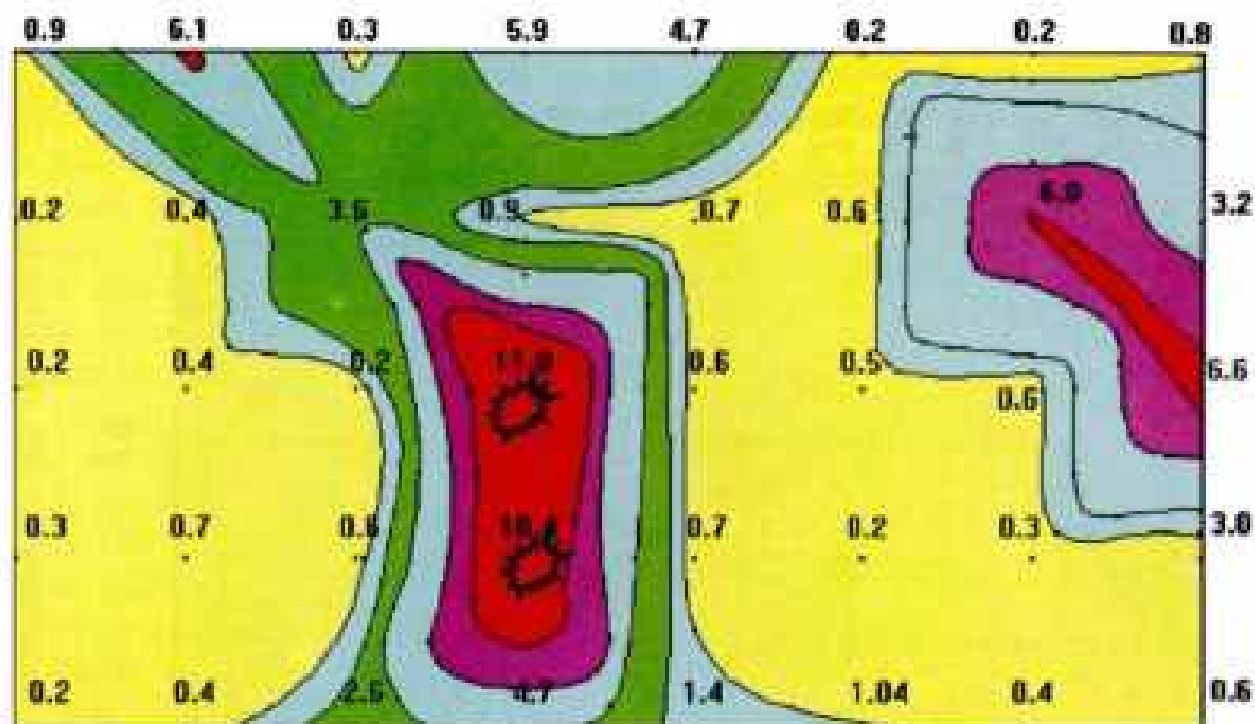


Рис.22. Распределение концентрации радона в почвенном воздухе (кБк/м³) вокруг скважин на Осинском месторождении нефти. Звездочками отмечены места взрывов

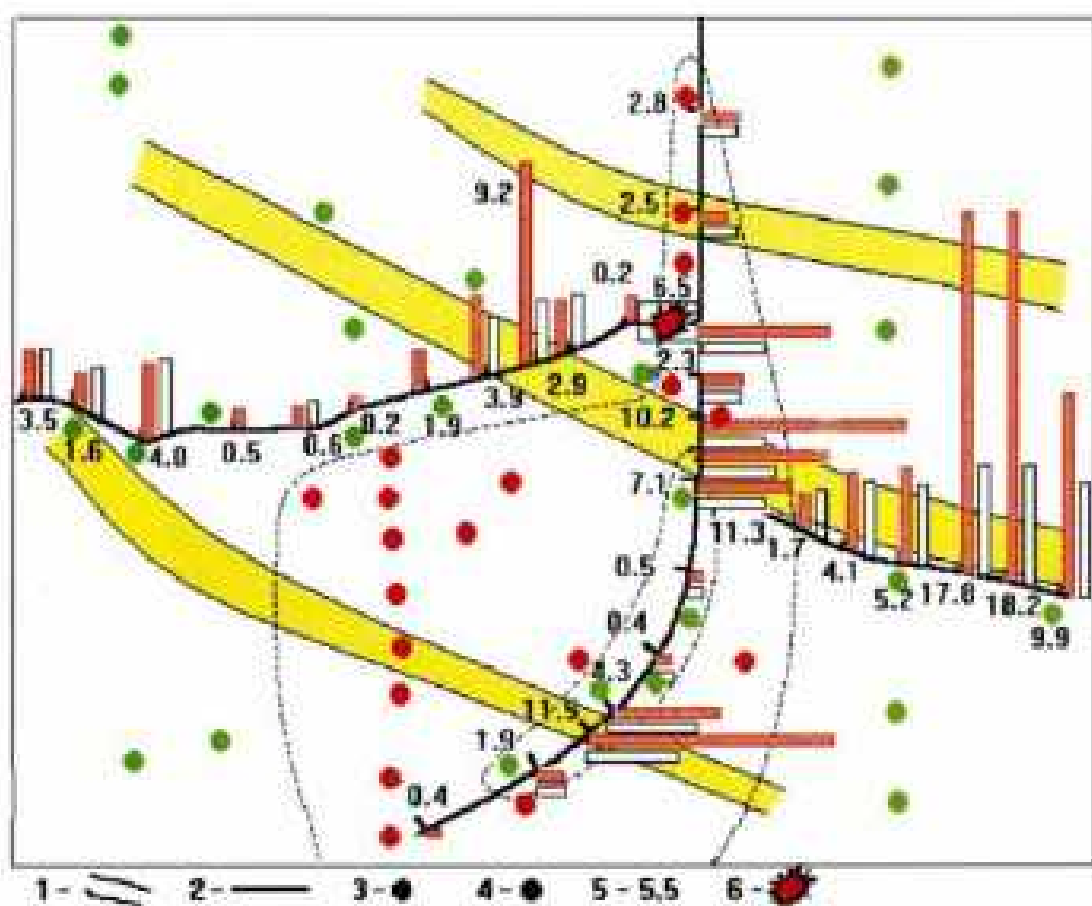


Рис.23. Характеристика района ядерных взрывов "Грифон" на Осинском нефтяном месторождении: 1-локальные разломы земной коры; 2-профили измерений; 3-скважины с концентрацией цезия-137 в воде более 50 Бк/л; 4-скважины с концентрацией цезия в воде менее 50 Бк/л; 5-концентрация радона в почвенном воздухе, кБк/м³; 6-место проведения ядерных взрывов

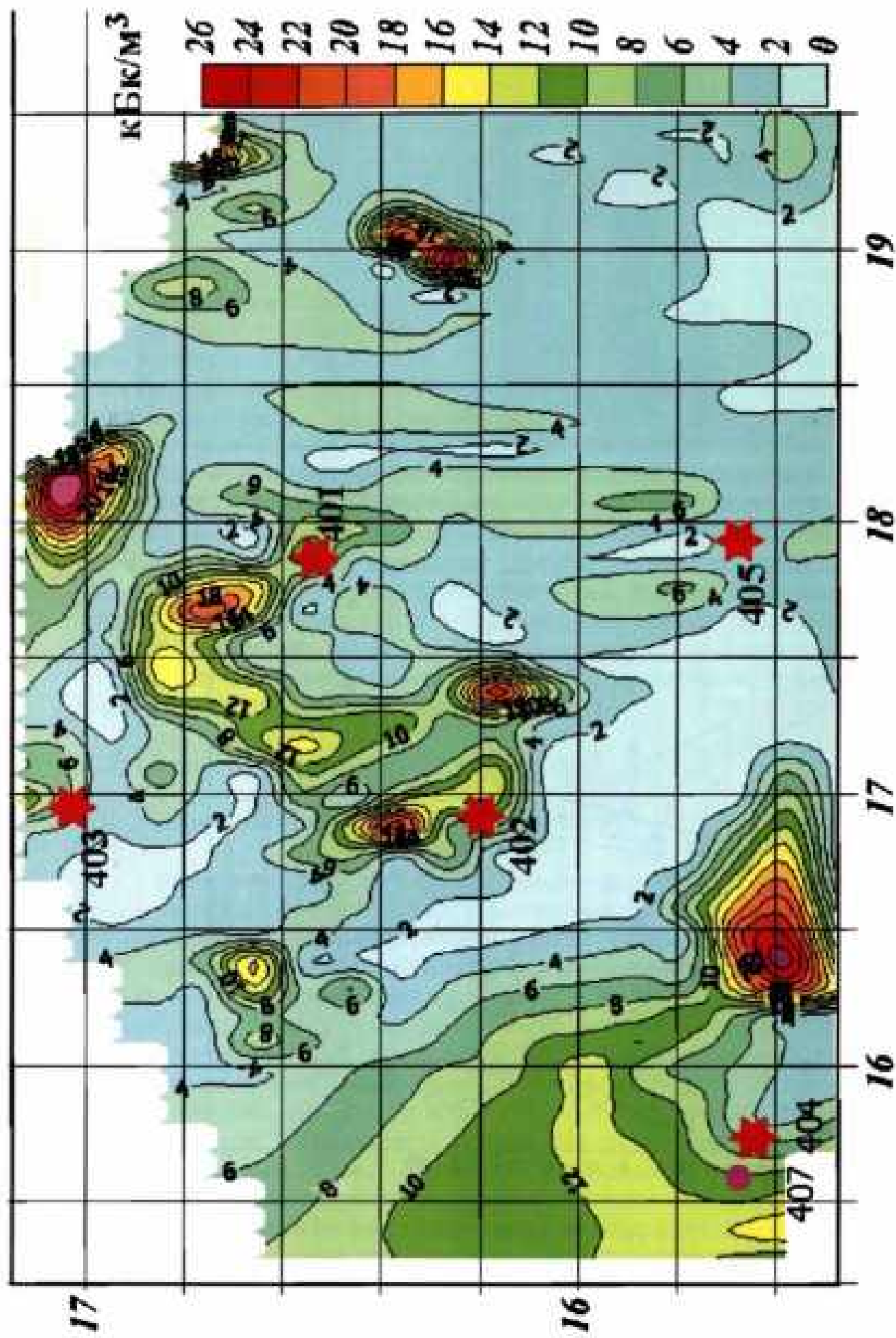


Рис.24. Распределение концентраций радона и криптона в почве по площади Гежского месторождения нефти в Пермской области

Проект "Грифон". В сентябре 1969г. на расстоянии немногим более 10 км от г.Оса было произведено два подземных ядерных взрыва, которые позволили дополнительно извлечь около 500 тыс. тонн нефти для народного хозяйства страны. В результате взрывов на глубине 50-70 метров ниже продуктивного нефтяного пласта образовались полости, в дальнейшем заполненные радиоактивной водой. При бурении прокольных скважин произошел выброс радиоактивной воды, содержащей по данным ВНИИПромтехнологии до 41 кБк/л стронция-90, 592 кБк/л цезия-137 и 5,2 МБк/л трития.

Следствием этих взрывов явилось то, что в радиусе нескольких километров от места взрыва из многих отработанных скважин вместе с добываемой нефтью стали поступать радионуклиды. В 1980г. таких скважин было обнаружено 42, в 1981 - 65, в 1987 - 63, в 1994 - 317. Таким образом, общее число загрязненных радионуклидами скважин составило 487. Основными загрязнителями подземных вод оказались радионуклиды стронций-90 и цезий-137. Радионуклиды также были обнаружены на рабочих площадках и в малых реках.

Для захоронения радиоактивных веществ в районе взрыва был организован неохранный спецмогильник.

Проведенная радоновая съемка исследуемого района выявила интересные особенности. Во-первых, по предыдущим измерениям район подземных взрывов характеризовался малой проницаемостью геологических разломов и монолитностью основных блоков. Съемка показала, что в районе непосредственных взрывов наблюдается аномальная концентрация радона в почвенном воздухе (рис.22), которая достигает 10000-12000 Бк/м³, что превышает фоновые значения в пределах массива в 50-100 раз. Во-вторых, после взрыва резко возросла концентрация радона в почвенном воздухе в зонах разломов. В некоторых точках этих зон концентрация радона достигала 17000 Бк/м³. Таким образом, проницаемость всех разломов существенно повысилась и они четко выделяются по содержанию радона (рис.23).

В районе непосредственного заложения ядерных зарядов (два заряда на глубине приблизительно 1000 м, общая мощность взрывов около 10 килотонн) на поверхности земли ожидалось повышенное содержание цезия-137 и стронция-90 как следствие произошедшего газового выброса. Однако, проведенные в 1992г. измерения мощности гамма-поля показали, что непосредственно в районе взрывов мощность экспозиционной дозы не превышает значений 0,20-0,25 мкЗв/ч.

Измерения, проведенные в 1992г., показали, что радиоактивность подземных вод в различных направлениях от места взрыва достигает в отдельных пробах 120 Бк/л. Последнее, очевидно, связано как с процессами переноса радиоактивных продуктов подземными водами, так и процессами сорбции их массивом горных пород. Несмотря на то, что большинство радиоактивных продуктов за прошедшие 30 лет после проведения подземных ядерных взрывов распалось, к настоящему времени отчетливо виден ареал загрязненных цезием-137 подземных вод в южном направлении от места взрыва (рис.23). При этом в некоторых точках концентрация цезия-137 в подземных водах превышает предельно допустимую норму для питьевой воды. Однако население региона не информировано о реальной опасности употребления этой воды и до сих пор ис-

пользует её для хозяйственных нужд и при выращивании сельскохозяйственной продукции.

Проект "Гелий". Пять подземных ядерных взрывов было проведено в 80-е годы в Красновшерском районе на Гежском нефтяном месторождении. Взрывы были выполнены непосредственно в нефтедобывающих скважинах на глубине около 2500 метров. Общая мощность взрывов составила около 18 килотонн. По официальным данным, дополнительно было извлечено 5 млн. тонн нефти, за счет чего прибыль составила около 20 млн. рублей (в ценах 1988г). Измерения 1997-1998гг. показали, что несмотря на относительно благополучную радиационную обстановку на поверхности почвы (МЭД в районе взрывов составляет 0,2-0,25 мкЗв/ч), наблюдаются устойчивые выбросы радиоактивных газов из нефтеразведочных скважин.

Установлено, что, наряду с большим количеством радона в почвенном воздухе (до 28 кБк/м³), в нем наблюдаются высокие концентрации криптона-85 (до 40000 Бк/м³), который составляет около 50% всех газообразных продуктов взрыва и имеет достаточно большой период полураспада – 10,6 года. Детальные исследования показали, что на изучаемой площади в результате воздействия ударных волн ядерных взрывов образовалось несколько проницаемых зон, через которые интенсивно выделяются радон и криптон-85 (рис.24). Интересно, что проницаемые зоны только в одном случае связаны непосредственно с расположением зарядной скважины (скважина № 402), во всех же других они приурочены к разломной тектонике месторождения. Это свидетельствует о непредсказуемости существенных разрушений в массиве, которые произошли как непосредственно после взрыва, так и спустя значительное время. До сих пор нефть из добывающих скважин выходит с водой, обогащенной цезием-137, что вызывает загрязнение водной среды.

Проект "Тайга-1". В марте 1971г. на территории Чердынского района недалеко от Печоро-Ильчского заповедника был произведен наземный групповой ядерный взрыв с целью создания ложа канала Печора-Кама, согласно проекта поворота вод северных рек. Были взорваны три заряда на глубине около 130 м и на расстояниях около 160 м друг от друга. Предположительная мощность взрыва составляла 160 килотонн. К сожалению, ожидаемого направленного выброса грунта не получилось. В результате взрыва возникло озеро длиной около 700, шириной 340 и глубиной около 15 м с островом посередине. На четвертые сутки после взрыва максимальная мощность экспозиционной дозы на поверхности озера составляла 0,01 – 0,12 Зв/ч. К 1973 году она снизилась до 0,1 мЗв/ч, а к 1990г. - до 14 мкЗв/ч. В 1993г. в эпицентре взрыва мощность дозы достигала 2 - 3 мкЗв/ч, на берегу котлована в пределах отдельных участков - до 25 мкЗв/ч. Радиационное воздействие определяется кобальтом-60, цезием-137 и стронцием-90.

После взрыва в восточном направлении от озера образовался радиационный след длиной около 7,5 км при ширине до 1,5 км. Наличие в нем кобальта-60 свидетельствует о том, что при взрыве на поверхность были выброшены со-

стальные части взрывного устройства. До 1991г. территория озера считалась закрытой зоной и охранялась.

Содержание радионуклидов в пробах почв и растительности в районе взрыва "Тайга-1" в 1993г. представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Содержание радионуклидов в почве и растительности в районе взрыва "Тайга -1"

Радионуклид	Концентрация, Бк/кг	
	Почва	Растения
Цезий-137	До 11000	До 400
Стронций-90	До 1000	До 430

Сейчас стало известно, что печально знаменитый план поворота северных рек включал в себя проведение 250 подземных ядерных взрывов, предназначенных для удаления грунта. Счастливым образом мы избежали реализации этого чудовищного проекта, который мог бы привести к радиоактивному загрязнению огромных территорий.

Оренбургская область

В Оренбургской области (рис.7), кроме упомянутого ранее Тощого ядерного взрыва, проводились многочисленные промышленные подземные взрывы. В частности, на полигоне, расположенном на границе с Казахстаном недалеко от г.Илека, в 1983-1984гг. с целью создания объемного газоохранилища было взорвано 6 ядерных зарядов. Южнее Оренбурга в 1971 и 1973 годах и на крайнем западе области в 1972г. прогремели подземные ядерные взрывы. Основная задача взрывов та же - создание подземных газовых хранилищ. Всего в пределах Оренбургской области было произведено 10 технологических взрывов. Данные о радиационной обстановке в районах этих взрывов пока отсутствуют. Можно только полагать, что она немногим отличается от ситуации в Пермской области.

Башкортостан

В Башкирии (рис.7) были произведены взрывы ядерных зарядов южнее Ишимбая (1970г.) и на западе республики (1973 и 1974 гг.) с целью повышения нефтеотдачи пластов на месторождениях нефти. Всего было произведено 4 подземных ядерных взрывы. Однако, как и для Оренбургской области, данные о сегодняшней обстановке в районах этих взрывов практически отсутствуют.

ГЛАВА 6. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА КАК РЕЗУЛЬТАТ ЯДЕРНЫХ АВАРИЙ

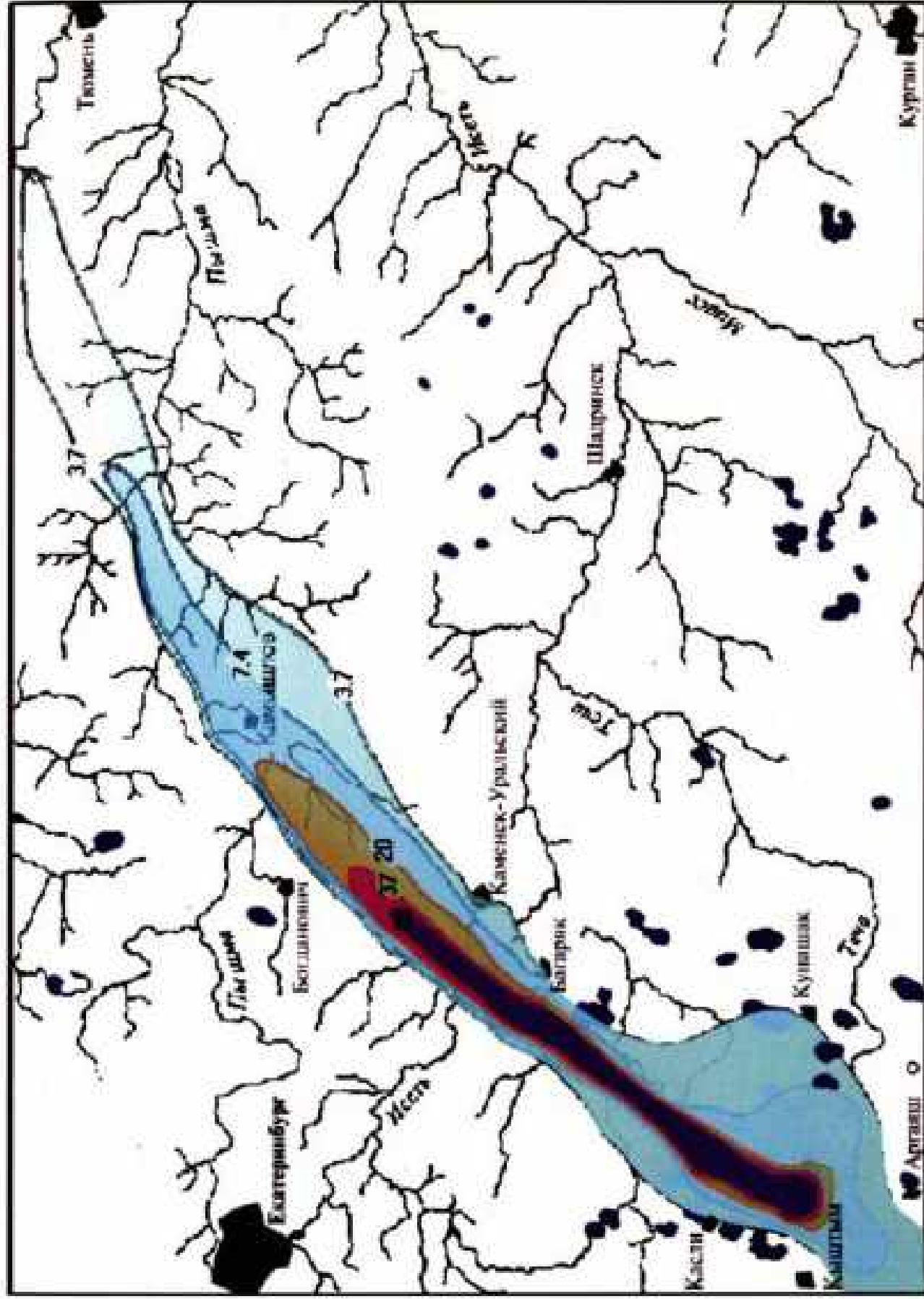
6.1. Восточно-Уральский радиоактивный след

6.1.1. Описание аварии

29 сентября 1957 г. на ПО МАЯК произошла крупнейшая радиационная авария с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду. Ее причиной явились нарушения в системе охлаждения бетонной емкости объемом 300 м^3 и обусловленные этим испарение воды, саморазогрев и взрыв хранившихся 70-80 т высокорadioактивных отходов, которые находились преимущественно в виде нитратно - ацетатных соединений. В сферу взрыва было вовлечено свыше 740 ПБк радиоактивных веществ (для сравнения: при аварии на ЧАЭС - около 1850 ПБк), из которых более 10% было рассеяно в окружающей среде по мере прохождения радиоактивного облака. Большая часть радионуклидов (670 ПБк) осела вокруг хранилища, а жидкая пульпа, активность которой составляла 74 ПБк, была поднята на высоту 1-2 км и образовала радиоактивное облако, состоящее из жидких и твердых аэрозолей. Основную долю радиоактивности формировали: церий-144 (66%), цирконий-95+ниобий-95 (24,9%), стронций-90+иттрий-90 (5,4%) и рутений-106. Кроме того, в выбросе присутствовал цезий-137 (0,036%). Мощность экспозиционной дозы достигала в эпицентре 12 Зв/ч. Осаждение радионуклидов из облака, перемещавшегося под действием ветра в северо-восточном направлении, привело к загрязнению части территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей с общей площадью более 23 тыс. км^2 . Образовавшееся радиоактивное загрязнение получило название Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) (рис. 25).

Внешняя граница следа определялась величиной плотности загрязнения $3,7 \text{ ГБк/км}^2$ по стронцию - 90 (удвоенный уровень глобального радиоактивного фона) и включала в себя территорию длиной примерно 300 км при ширине до 30-50 км с общей площадью 23 тыс. км^2 . Площадь загрязнения с концентрацией стронция-90 более 74 ГБк/км^2 составила 1000 км^2 , более 370 ГБк/км^2 - 400 км^2 , более 3700 ГБк/км^2 - 117 км^2 . Из хозяйственного использования было выведено 106 тыс. га земель в Челябинской и Свердловской областях. Из них 55% составляли сельхозугодья. Повышенному радиационному воздействию подверглись более 335000 человек, которые проживали в 392 населенных пунктах, расположенных на территориях, загрязненных до уровня $7,4 \text{ ГБк/км}^2$ по стронцию-90. Коллективная доза, обусловленная аварийной ситуацией, составила 6770 чел.-Зв. После аварии из ряда районов Челябинской области было переселено 10200 человек. Среди выселенных поселков и деревень оказались Бердяуш, Кожанкуль, Салтыково, Талимасец, Кирпичниково, Караболка, Трошниково, Юго-Консво и др. (рис. 26).

Метеорологические условия в районе аварии в момент радиоактивного выброса определял порывистый юго-западный ветер со скоростью 5 м/с на высоте 10-12 м. Через 6-8 часов после образования радиоактивного облака оно



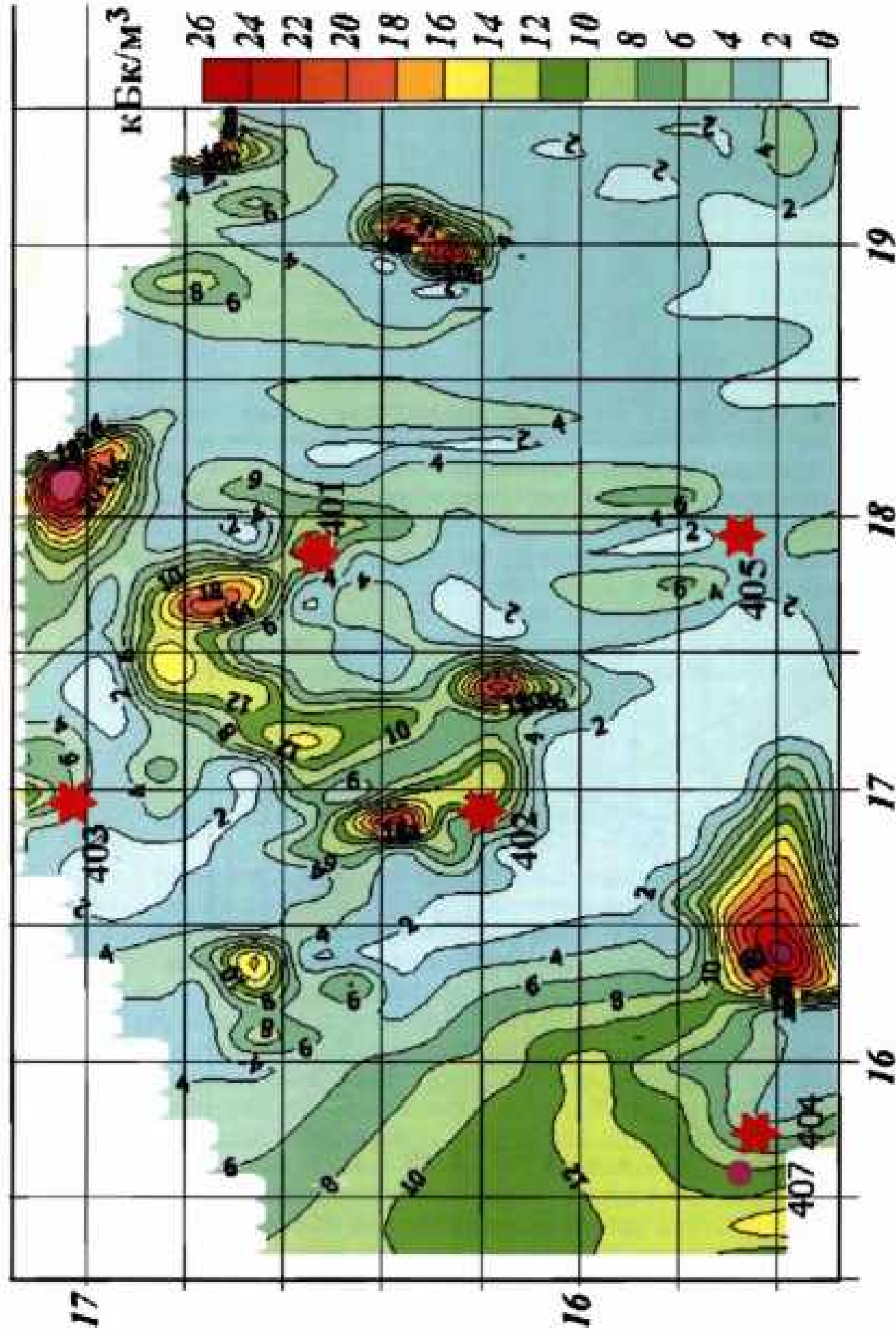


Рис.24. Распределение концентраций радона и криптона в почве по площади Гежского месторождения нефти в Пермской области

было отнесено ветром на расстояние 345 км от места взрыва. За это время в верхних слоях атмосферы ветер изменил направление на восточное, в результате чего радиоактивное облако стало смещаться на восток, поэтому выпадение радиоактивных веществ оказалось несимметричным относительно его оси. Формирование радиоактивного следа завершилось в основном через 10-11 часов после взрыва. В это время атмосферных осадков не было, и до установления снежного покрова стояла сухая ветреная погода, что вызвало перераспределение радиоактивных веществ на местности (ветровой перенос) и дополнительное загрязнение прилегающей к основанию следа территории.

При анализе формы ВУРСа обращает на себя внимание его значительная вытянутость в северо-восточном направлении. Отношение осей эллипсов рассеяния радиоактивных выпадений составляет 1:10 – 1:13. Такая локальная структура распространения радионуклидов явно не типична для рассеяния в воздухе, где подобное отношение обычно составляет 1:3 – 1:4. Только в последние годы этому явлению было дано удовлетворительное объяснение.

Рассмотрим ситуацию, которая возникла после взрыва. очевидцы взрыва рассказывают, что свечение облака, которое поднялось на высоту до 5 км, было настолько сильным, что его было видно даже в г. Челябинске, где свечение приняли за полярное сияние. Это значит, что радиоактивное облако было исключительно сильно ионизировано. Поднявшийся ветер начал смещать облако к северо-востоку. На карте-схеме хорошо видна горная гряда, которая сформировала поток воздуха северо-восточного направления (рис.27).

Дальнейшее поведение облака также достаточно странно. Сначала оно сжимается и распространяется узкой струей, потом расширяется, а далее опять сжимается. При этом в своем движении на северо-восток облако отклоняется от прямой линии в южном направлении. Такое поведение можно объяснить, если рассмотреть геофизическую ситуацию по маршруту движения облака. На рис. 28 представлена карта магнитного поля Урала, где выделено главное магнитное поле Земли, нанесены его изолинии и указаны значения поля в эрстедах, а также в виде растушевки обозначено аномальное магнитное поле, которое отражает изменение магнитных свойств горных пород. На представленной карте видно, что облако радионуклидов, двигаясь в северо-восточном направлении, пересекает практически перпендикулярно силовые линии вертикальной составляющей геомагнитного поля и движется в сторону их увеличения. Поскольку облако, содержащее радионуклиды, сильно ионизировано, оно реагирует с геомагнитным полем. Взаимодействие невелико по величине, но ввиду значительных пространственных масштабов, силы взаимодействия изменяют прямолинейное движение облака, придавая его траектории вид дуги, что и показано на рисунке 28.

Другой характерной особенностью поведения облака является его "фокусировка" при движении поперек магнитных силовых линий в сторону их увеличения. Этот эффект давно известен, но для природных объектов в таком явном виде наблюдается впервые. При пересечении линии геомагнитного поля величиной 0,54 эрстеда облако радионуклидов встречается с сильным искажением равномерного поля, связанным с наличием в этом районе небольшого железорудного месторождения, которое создает аномальное поле при его вертикальной

составляющей порядка 6-10 миллизрстед. Это аномальное поле нарушает условия фокусировки, и поперечный размер облака увеличивается. Затем поле выравнивается, и поперечный размер облака снова уменьшается.

Рассмотренные особенности динамики поперечного размера движущегося облака радионуклидов приводят к важным последствиям, которые заключаются в следующем. Во-первых, ввиду малого поперечного размера облака радиоактивные выпадения концентрируются вдоль оси его движения, и удельная плотность радиоактивного поверхностного загрязнения существенно возрастает. Во-вторых, ввиду фокусировки ионизированного облака в земном магнитном поле радионуклиды распространились почти без рассеяния атмосферой на большое расстояние.

6.1.2. ВУРС в Челябинской области

Наибольший ущерб ВУРС нанес Челябинской области. В смеси радиоактивных веществ, выпавших здесь в результате аварийного выброса, присутствовал в большом количестве долгоживущий радионуклид стронций-90 (период полураспада 28,4 лет), который в дальнейшем практически стал определять изотопный состав всех загрязненных объектов внешней среды (рис.29).

Авария на ПО МАЯК привела к стойкому радиоактивному загрязнению территории, ликвидация последствий которого не могла быть ограничена проведением только экстренных защитных мер в первый период после аварии. В данном случае был необходим долгосрочный прогноз радиационной обстановки и осуществление плановых защитных мероприятий.

Максимальная плотность общего радиоактивного загрязнения региона по оси следа вблизи источника выброса достигала 55 ЭБк/км^2 , в том числе стронцием-90 160 ТБк/км^2 . В начальный период образования радиоактивного следа средняя энергия бета-излучения в результате распада стронция-90 составляла 7,63 МэВ. Мощность экспозиционной дозы на открытых местах в зоне с плотностью загрязнения 37 Бк/км^2 на высоте 1 м достигала $1,5 \text{ мкЗв/ч}$, причем 90 % этой дозы определяли цезий-95+ниобий-95. При плотности загрязнения 160 ТБк/км^2 мощность экспозиционной дозы достигала 6 мЗв/ч . Однако, нередко наблюдались существенные отклонения этого показателя от среднего значения. Поскольку кроны деревьев первоначально задержали до 90 % выпавших радиоактивных веществ, над землей образовались объемные источники излучения, поэтому мощность дозы на высоте 1 м в лесу была в 2-3 раза выше, чем на открытой местности. Загрязнение лесов по общей радиоактивности более 500 ТБк/км^2 привело к полной гибели всех хвойных деревьев. Поражение березы происходило при уровне загрязнения примерно в 10 раз выше. Иная картина наблюдалась над поверхностью озер: быстрое оседание и разбавление радиоактивных веществ привело по меньшей мере к десятикратному ослаблению излучения.

В последующие годы радиационная обстановка на территории радиоактивного следа стала улучшаться. Опасность облучения снизилась в основном под действием четырех факторов: радиоактивного распада короткоживущих радионуклидов, перераспределения радиоактивных веществ за счет их проник-

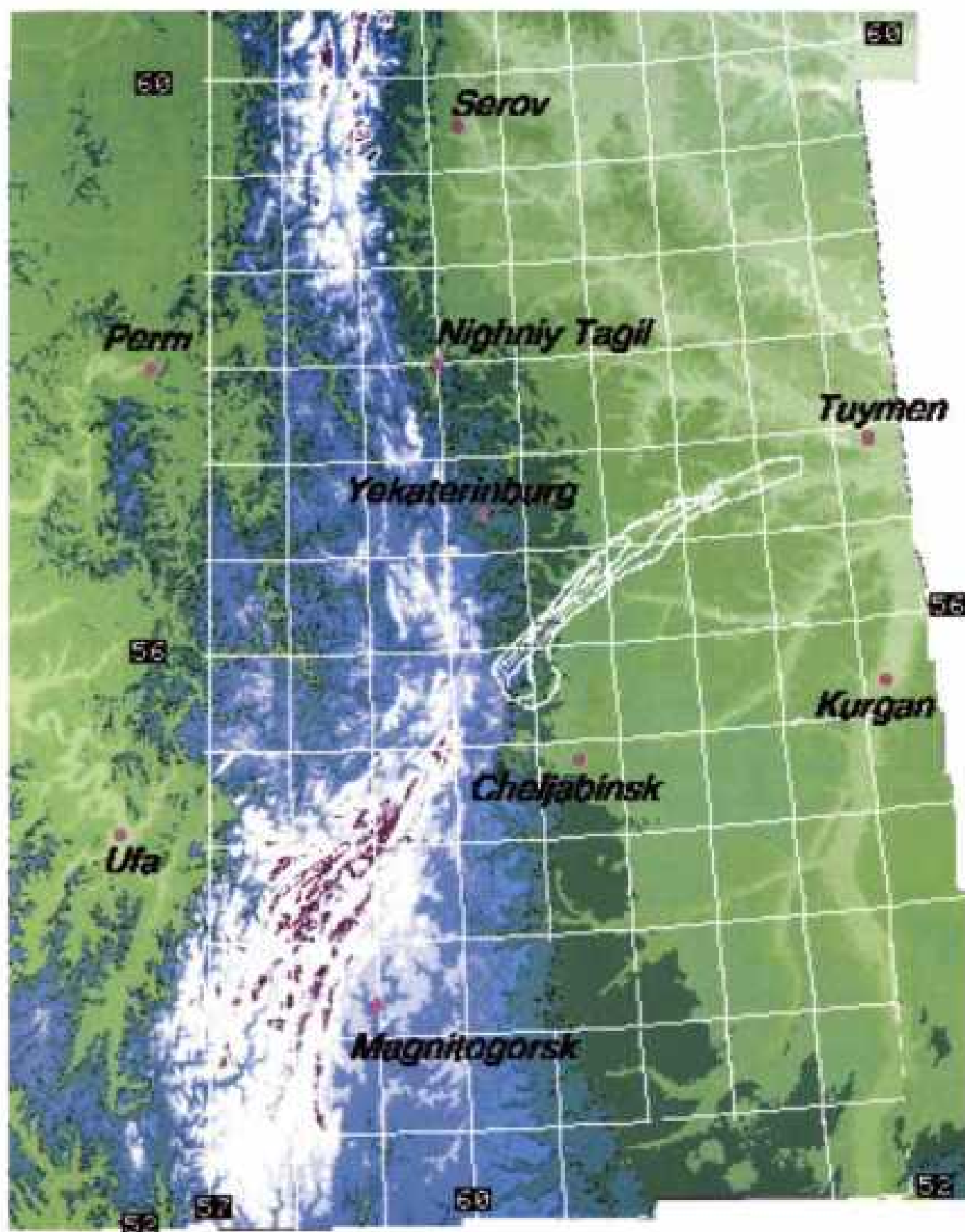


Рис.27. Схема формирования направления ветра в период аварии на ПО МАЯК. Темным цветом выделены повышенные участки рельефа

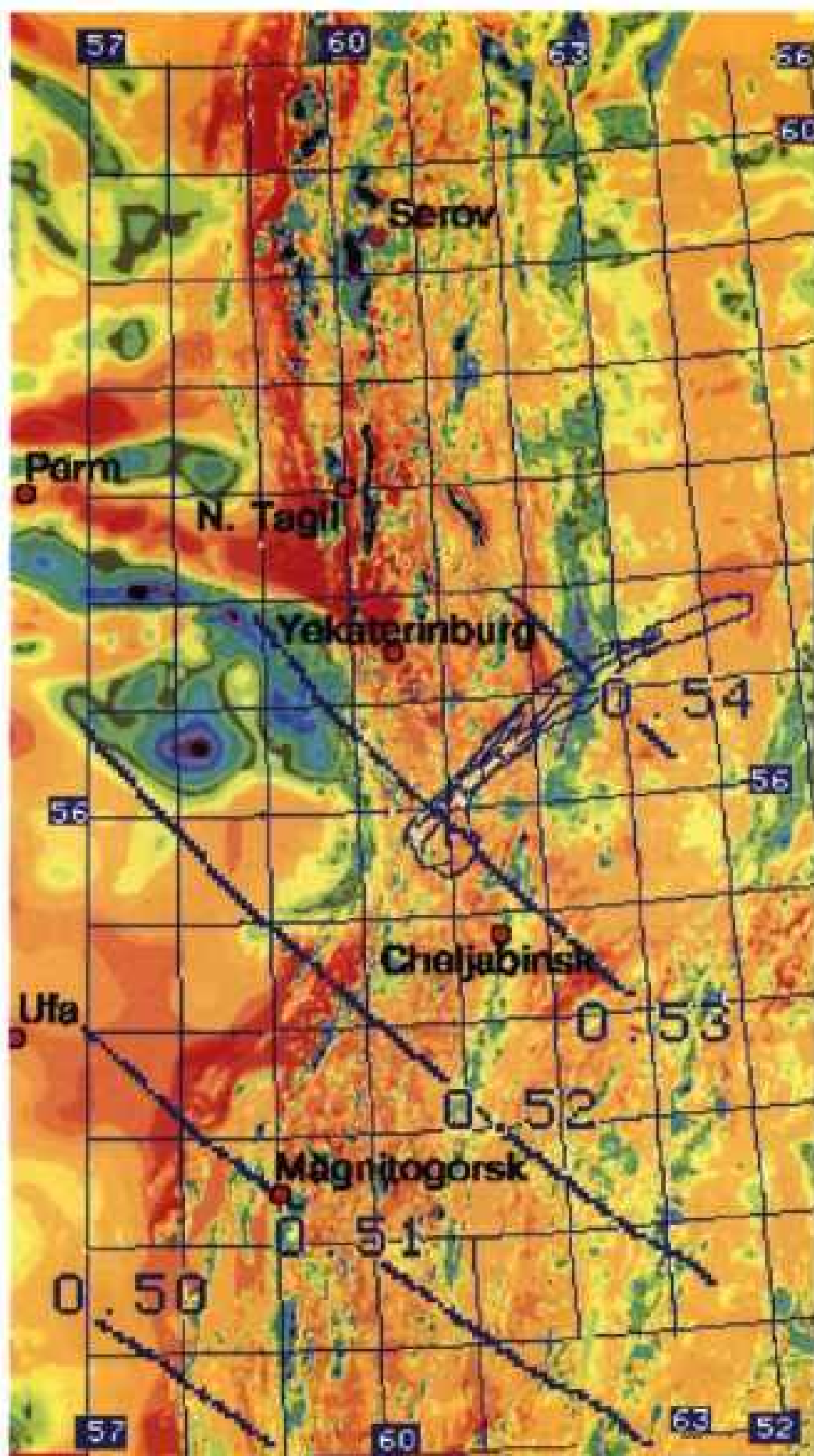


Рис.28. Карта - схема формирования радиоактивного облака взрыва магнитным полем Земли. Синими линиями выделено главное магнитное поле, растушевкой - аномальное магнитное поле. Синим цветом обозначены высокие значения поля (0,02 - 0,05 эрстеда)

повеция в почву и донные отложения, изменения способов поступления радионуклидов в растительность, так как прекратилось непосредственное поверхностное загрязнение растений и снизилось загрязнение, обусловленное ветровым переносом, и, наконец, в результате хозяйственной деятельности человека и мероприятий по радиационной защите населения. Вследствие радиоактивного распада плотность загрязнения среды смесью радионуклидов за 30 лет уменьшилась более чем в 30 раз, а стронцием-90 - примерно в 2 раза.

Территория, подвергаясь радиоактивному загрязнению, является регионом достаточно интенсивного сельскохозяйственного использования: 60 % загрязненной площади занимают сельскохозяйственные угодья, в том числе 40 % - пашня, где выращивается в основном пшеница. Направление сельскохозяйственного производства на этой территории — животноводческо - зерновое. Население на приусадебных участках выращивает овощи и картофель, целинные участки земель используются, главным образом, под выпас животных, а также для заготовки сена.

Авария произошла в конце сентября, когда уборка всех сельскохозяйственных культур в основном завершилась, что, несомненно, сыграло положительную роль в ограничении уровня загрязнения продукции растениеводства, произведенной в первый послеварийный год. Однако, содержание радионуклидов в пастбищной растительности, различных сельскохозяйственных культурах, пищевых продуктах, фураже и питьевой воде было достаточно высоким. Так, на расстоянии 12,5—18 км от места аварии концентрация смеси радионуклидов в травянистой растительности через несколько суток после выброса достигала до 350 ГБк/кг. Через 20 суток концентрация радионуклидов в сене составила около 25 МБк/кг, молоке — 8,9 кБк/кг, воде 78 кБк/л. С первого по восьмой месяцы после аварии в продукции растениеводства и воде преобладали радионуклиды редкоземельных элементов, а в молоке — стронций-90.

В момент прохождения радиоактивного облака и в последующие дни сельскохозяйственные животные находились на пастбищах, что обусловило загрязнение их внешнего покрова и интенсивное поступление радионуклидов с травой в организм. В близлежащих к месту выброса населенных пунктах концентрация бета-излучающих радионуклидов в разных органах и тканях животных достигала 1,1 МБк/кг. При такой концентрации радионуклидов через 9—12 суток после выброса началась гибель животных с признаками острой лучевой болезни.

Плотность радиоактивного загрязнения территории менее 166 ТБк/ км² не приводила к явной гибели сельскохозяйственных животных в течение 6 месяцев, однако в этот период у них наблюдались изменения в кроветворной системе. После вывода животных из загрязненной зоны их жизнедеятельность нормализовалась.

Практически полное отсутствие в выпавшей смеси долгоживущих гамма-излучателей спустя год после аварии определило характер воздействия главно-

го радиационного фактора, которым в данном случае стало внутреннее облучение за счет стронция-90, находящегося в местных продуктах питания и воде.

Основными продуктами, с которыми стронций-90 поступал в организм человека в первоначальный период, были хлеб и молоко, а позже к ним прибавилась вода. Через 8 лет после аварии с молоком попадало 50 % всего стронция-90, поступающего с пищей, на долю овощей приходилось 15 %, картофеля - 12 %, яиц - 8 %, мяса — 7 %, хлеба — 4 %. Через 30 лет после аварии суточное поступление стронция-90 в организм человека с пищей снизилось в 1300 раз по сравнению с начальным периодом после выброса радиоактивных веществ и в 200 раз по сравнению с 1958 г. Это произошло благодаря уменьшению содержания радионуклида в молоке и других сельскохозяйственных продуктах в среднем в 110 раз под действием физико-химических процессов трансформации этого радионуклида в почве и других природных процессов. Превышение предела годового поступления стронция-90 (до 11,8 кБк/год) наблюдалось в первые 4 года после аварии для людей, проживавших на территории с плотностью загрязнения стронцием-90 более 37 ГБк/км².

Леса с плотностью радиоактивного загрязнения свыше 150 ГБк/км² были переданы в ведение специально созданного лесхоза, хозяйственная деятельность которого осуществлялась на основании разработанных инструкций и рекомендаций, обеспечивающих радиационную безопасность персонала и производство пригодной для реализации продукции. Использование основной продукции леса (древесины) было разрешено на участках с плотностью загрязнения стронцием-90 до 1850 ГБк/км². В соответствии с нормативами Министерства здравоохранения СССР были введены ограничения на сбор грибов и ягод в загрязненных лесах.

В зависимости от уровня радиоактивного загрязнения рек и озер в некоторых из них были запрещены рыболовство и охота на водоплавающую птицу. Охота на боровую дичь была запрещена в лесах с уровнем загрязнения стронцием-90 выше 150 ГБк/км². На территории, наиболее загрязненной радионуклидами (в ближней зоне радиоактивного следа), были созданы заповедник и Опытная научно-исследовательская станция (ОНИС ПО МАЯК), на базе которой до настоящего времени ведутся работы по изучению различных проблем радиэкологии и радиобиологии, возникших после аварии.

На территории радиоактивного следа оказалось 217 населенных пунктов, расположенных на участках с различным уровнем радиоактивного загрязнения (табл. 6.1). К концу первых суток после аварии было принято решение о немедленной эвакуации жителей трех наиболее загрязненных населенных пунктов, в которых проживало более 1 тыс. человек. Все население этих деревень вывезено и временно размещено на относительно чистой территории. В течение последующих 1-2 лет эвакуировано еще более 9 тыс. человек из населенных пунктов, в которых суточное поступление стронция-90 с местными продуктами питания не соответствовало предельно допустимому уровню.

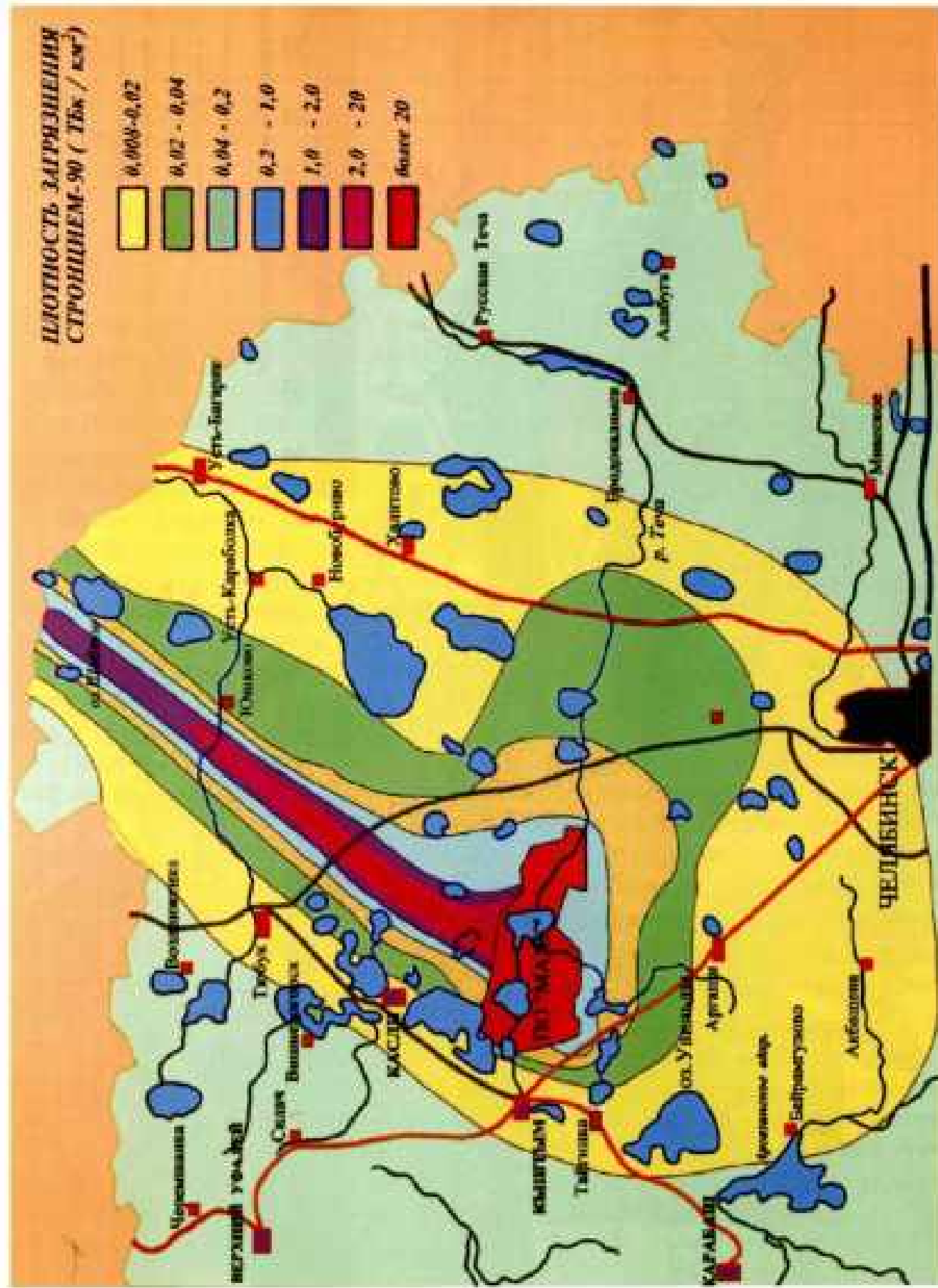


Рис.29. Схема распределения строинция-90 на территории Челябинской области после аварии

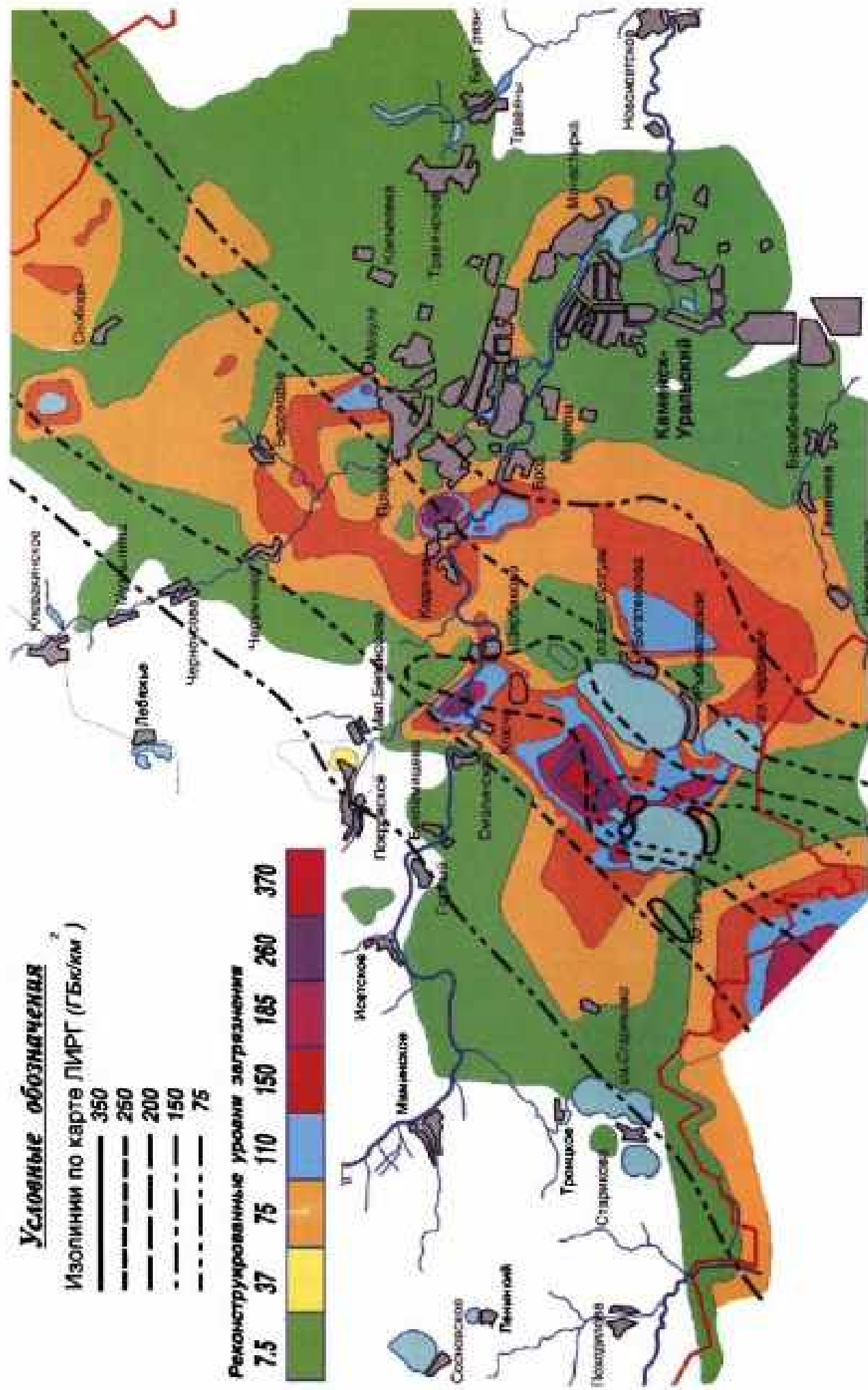


Рис.30. Схема распределения стронция-90 на территории Каменского района Свердловской области по данным ЛИРГа (1958г.) и результатам реконструкции измерений ИПЭУРО РАН в 1993г.

Таблица 6.1. Площадь, населенные пункты и население на загрязненной территории Челябинской области

Показатель	Плотность загрязнения стронцием-90, ГБк/км ²			
	> 3700	> 370	> 37	> 3,7
Площадь, км ²	200	400	1400	23000
Число населенных пунктов, ед.	3	13	71	217
Население, тыс. человек	1,5	5	17	270

Эвакуированное население подвергалось санитарной обработке и обеспечивалось чистой одеждой. Из населенных пунктов ничего не вывозилось, а впоследствии все, включая постройки, было уничтожено. Сельскохозяйственные животные частного сектора также были уничтожены и захоронены в специальных могильниках. Однако сроки эвакуации были затянуты, что объяснялось внезапностью ситуации и отсутствием опыта, а также неоперативностью в решении финансовых и организационных вопросов.

Дозы облучения населения. Радиационная опасность для населения в начальный период после загрязнения территории состояла из внешнего гамма-облучения, радиоактивного загрязнения жилищ, одежды, поверхности тела, потребления загрязненных пищевых продуктов и питьевой воды (производимых или получаемых в местах проживания). При этом основная доза формировалась за счет внешнего гамма-облучения всего тела и внутреннего облучения желудочно-кишечного тракта от поступивших с пищей радионуклидов. В этот период 2280 человек за 250 дней проживания на территории ВУРСа получили дозу около 17 сЗв и 7300 человек за 330-770 дней проживания - около 6 сЗв. Жители трех населенных пунктов - Бердяниш, Салтыково и Галикаево (всего 1054 человек) за 7-10 дней проживания на территории ВУРСа до отселения получили среднюю эффективную эквивалентную дозу 57 сЗв.

По истечении первых 1 -1,5 лет главным стало внутреннее облучение скелета и красного костного мозга в результате поступления стронция-90 с пищей и отложения его в костной ткани. В расчете на единичную плотность радиоактивного загрязнения территории по стронцию-90 и при отсутствии мер радиационной защиты доза внешнего облучения населения за первый год составила около 2 мЗв, тогда как доза внутреннего облучения желудочно-кишечного тракта - 16 мЗв. Из таблицы 6.2 видно, что за 25 лет жизни на территории с концентрацией стронция-90 37 ГБк/км² величина эффективной эквивалентной дозы составила примерно 12 мЗв, при этом доза облучения костной ткани оценивалась в 78 мЗв, красного костного мозга - 24 мЗв, в то время как неизменное внешнее облучение за все эти годы дает эффективную эквивалентную дозу равную 2,3 - 2,6 мЗв.

Таблица 6.2. Доза облучения населения (мЗв) за 25 лет проживания на загрязненной территории с концентрацией стронция-90 37 ГБк/км² без применения специальных мер радиационной защиты

Облучение	Время после аварии						
	10 суток	20 суток	1 год	2 года	5 лет	10 лет	25 лет
Внешнее облучение	0,33	1,40	2,20	2,30	2,50	2,60	2,60
Внутреннее облучение:							
- желудочно-кишечный тракт	2,50	12,00	16,00	18,00	19,0	19,00	19,0
- кость	0,031	0,46	7,20	15,00	33,0	54,00	78,0
- костный мозг	0,01	0,14	2,20	4,90	10,0	17,00	24,0
Эффективная эквивалентная доза	0,93	4,50	7,00	7,80	9,20	11,00	12,0

В качестве критерия безопасного проживания населения была установлена предельная плотность загрязнения территории 74 ГБк/км² по стронцию-90 или 3,0 мкЗв/ч по начальной мощности экспозиционной дозы гамма-излучения. Эти критерии были положены в основу при проведении эвакуации населения, введения режима ограничения доступа на загрязненные территории и их хозяйственного использования.

Состояние здоровья населения. Одновременно с изучением радиационно-гигиенической и экологической обстановки, возникшей на территории ВУРСа, среди проживающего населения специальные бригады медиков проводили лечебно-диагностическую и санитарно-просветительную работу. Последняя сводилась к пропаганде личной гигиены с целью предупреждения поступления в организм радионуклидов, выбраковку продуктов питания со степенью загрязнения выше установленных нормативов и замене этих продуктов чистыми.

Отселенные жители с территории ВУРСа, а также оставшиеся жить на ней с первых лет после аварии до настоящего времени находятся под наблюдением различных медицинских служб, которые исследуют их физическое здоровье, работу кроветворной системы, неврологический статус, состояние здоровья новорожденных, физическое развитие детей, инфекционную заболеваемость и т.д. Важным медицинским показателем, характеризующим потенциальную опасность проживания на территории ВУРСа, является частота онкозаболеваемости. Анализ, проведенный за последние 10 лет по всем возрастным группам населения в гг. Кыштым и Касли, а также в сельских районах (Каслинский, Аргаяшский, Соеновский, Красноармейский) показал, что в детском и молодом возрастах у мужского населения не обнаружено достоверного превышения онкозаболеваемости над контролем (Чебаркуль и Чебаркульский район). Однако в старших возрастных группах (50-59, 60-69 лет) такие различия найдены. Они касаются в основном органов дыхания и пищеварения, по которым степень

превышения над контролем составила 1,5 – 2 раза. У женского населения г. Кыштыма рак молочной железы и женских половых органов в возрастной группе 50-59 лет встречается чаще, чем в контроле. У мужского населения Аргаяшского и Каслинского районов также выявлена повышенная онкозаболеваемость. Как и в городах, наибольшее увеличение частоты раковых заболеваний регистрируется для органов пищеварения и дыхания (в Аргаяшском районе – по нескольким возрастным группам по большому числу локализаций, в Каслинском – только в возрасте 50-59 лет по всем локализациям). Среди женского населения наиболее распространен рак органов пищеварения и мочеполовой системы, молочной и щитовидной железы. При этом в Аргаяшском и Каслинском районах частота заболеваний для старших возрастных групп выше, чем в контрольной группе.

Таким образом, несмотря на достаточно большой период времени, прошедшего с момента аварии, в ряде городов и районов Челябинской области, оказавшихся в зоне ВУРСа, существует повышенная заболеваемость злокачественными образованиями.

6.1.3. ВУРС в Свердловской области

В Свердловской области наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись территории Каменского, Богдановичского и Камышловского районов. Карта - схема плотностей радиоактивных выпадений, измеренных Ленинградским институтом радиационной гигиены в 1957-1958 гг. и реконструированных Институтом промышленной экологии УрО РАН на основе данных 1993 г., представлена на рис. 30.

В конце 1957 года по решению правительства Свердловской области было произведено обследование г. Каменск-Уральского и прилегающих к нему районов. Основным радиоактивным загрязнителем местности оказался стронций-90. Полоса загрязнения имела ширину 12-18 км и простиралась в направлении с юго-запада на северо-восток.

Приблизительно 30% зоны ВУРСа в Свердловской области составляют леса. Концентрация стронция-90 в подстилке лесов обследованной зоны возрастала от 200 -500 Бк/кг в зонах с минимальной плотностью загрязнения до 800-900 Бк/кг в зонах с максимальным загрязнением. Соответствующие концентрации цезия-137 составляли от 300-570 до 500-1660 Бк/кг.

Радиоактивность подстилок была, как правило, в 2-4 раза выше, чем листья березы и осины и в десятки раз выше, чем хвой сосны. Это создавало чрезвычайно высокую опасность вторичного радиационного загрязнения в случае возникновения и развития низовых пожаров, особенно в лесах с высокой плотностью загрязнения почв стронцием-90. Особенно опасны были действующие пожары, так как дыхание в атмосфере с высокой концентрацией радионуклидов в газодымовой эмиссии сопровождается высокими дозами инкорпорированной радиации.

Оценка уровней содержания радионуклидов в лесной травянистой растительности, а также в моховом покрове лесов в зоне ВУРСа весьма важна с точ-

ки зрения возможности ее использования для выпаса скота и сенозаготовок. Судя по результатам обследования 17 пробных площадей, концентрация стронция-90 в злаках и разнотравье березовых лесов варьировала от 80 до 2730 Бк/кг, а цезия-137 - от 30 до 1720 Бк/кг.

При обследовании поголовья скота у животных ряда деревень Каменского района были обнаружены признаки лучевой болезни. Так в деревне Кодинке клинические признаки заболевания наблюдались у 45-50% животных.

В сентябре-октябре 1958 г. Институтом радиационной гигиены Министерства здравоохранения РСФСР были проведены исследования содержания радионуклидов в аварийной зоне в пределах Свердловской области. Оказалось, что большая часть почв имела уровень радиоактивного загрязнения около 148 ГБк/км², однако отдельные пятна имели загрязнение около 370 ГБк/км² и даже 440-460 ГБк/км² по стронцию-90, например, район оз. Тыгитц. Было принято решение об образовании санитарно-защитной зоны, ограниченной изолинией 148 ГБк/км². На территории этой зоны располагались 14 населенных пунктов, среди них - дер. Тыгитц, Смолнинское, Ключи, Щербаково, Клюкино, Четыркино, Богатенково, восточная часть с. Рыбниковского, Поплытино, Свободный труд и др.

Впоследствии границы загрязненной территории неоднократно уточнялись. В настоящий момент территория ВУРСа в пределах Свердловской области, ограниченная изолинией 3,7 ГБк/км², включает 267 населенных пунктов, в том числе города Каменск-Уральский, Камышлов, Талицу и поселки городского типа Пыппа, Троицкое. 15 населенных пунктов, в которых проживает более 115 тыс. человек, находятся на территории ВУРСа с плотностью загрязнения почвы 37-74 ГБк/км².

Основные дозы облучения населения сформировались в первые два года после аварии. Накопленные эффективные дозы для жителей 40 населенных пунктов превысили 4 сЗв. Коллективная доза, обусловленная аварийным воздействием, составила 6,6-8,3 тыс.чел.-Зв. Существенный дополнительный вклад в облучение населения южной части Свердловской области, проживающего на территории ВУРСа, внесли газоаэрозольные выбросы ПО МАЯК. Обусловленная ими коллективная доза достигла 7,2 тыс. чел.-Зв.

В период после аварии на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа были проведены специальные реабилитационные мероприятия, направленные на снижение негативных последствий облучения для населения. Было принято решение об отселении людей из пунктов Тыгитцкого, Четыркина, Клюкина. Приняты меры по дезактивации некоторых территорий, установлен контроль за продуктами питания, в частности, за приемом молока от населения, ограничено водопользование из озер Тыгитц и Сунгуль, запрещен отлов рыбы в этих озерах. Был также введен запрет на производство картофеля и овощей в Покровском и Богдановическом районах. Приняты меры по выбраковке скота и организована проверка производимых мясопродуктов. В ряде пунктов были созданы специальные ветеринарные радиологические лаборатории для контроля за загрязненной территорией.

К середине мая 1958 г., когда более детально была выявлена радиационная обстановка в пострадавших от аварии регионах, принято постановление о дополнительных мерах по ликвидации последствий аварии, согласно которому в преде-

лах ряда населенных пунктов и прилегающих к ним территориях не допускалось размещение пионерских лагерей, детских оздоровительных учреждений, выпас скота, сбор ягод, грибов, лекарственных трав, заготовка кормов и дров, охота на все виды животных, в том числе на птиц. Приписывалось принять меры к завозу чистого зерна и фуража в совхозы и колхозы взамен уничтожаемых.

Система мероприятий на загрязненной территории была направлена на специализацию сельскохозяйственного производства. В частности, в ряде колхозов Покровского и Богдановичского районов было предложено в зоне промышленного выброса исключить производство товарных овощей и картофеля и перейти к возделыванию зерновых кормовых культур, сеяных трав. При обработке почв после загрязнения рекомендовалось производить вспашку на большую глубину (25-30 см) и с предпосевником, чтобы путем перераспределения радионуклидов в большем объеме почвы снизить их концентрацию и за счёт этого уменьшить поступление в растения. Вместо загрязненного навоза для удобрения полей предлагалось использовать торф, минеральные удобрения; на кислых почвах следовало проводить известкование. Согласно архивным материалам, поставочные реабилитационные мероприятия на территории ВУРСа продолжались до 1965 года.

В 1966-1967 гг. анализ годовых отчетов радиологических лабораторий и санитарных служб, работавших в течение 10 лет, подтвердил общую тенденцию к улучшению радиационной обстановки в зоне ВУРСа. Вскоре после этого ограничения на ведение сельского хозяйства были частично сняты, что позволило постепенно нормализовать производственно-хозяйственную деятельность совхозов и колхозов и предприятий перерабатывающей промышленности. Однако в целом меры по ограничению ведения хозяйства отчасти сохранились вплоть до 1980 года.

В 1992-1995 гг., в соответствии с государственной и федеральной программами, вновь было произведено комплексное обследование территории ВУРСа для получения данных о современных уровнях её загрязнения. В частности, такое обследование проводилось Институтом экологии растений и животных УрО РАН г. Екатеринбурга с привлечением группы ученых Международного союза радиозкологов из Дании. Картина загрязнения почти через 40 лет после аварии оказалась довольно пестрой. На основной территории следа плотность загрязнения почв в пределах слоя 0-30 см, где находилась преобладающая часть радионуклидов, варьировала в следующих пределах: стронций-90 - от 2 до 400 кБк/м² (уровень фона 1,5 кБк/м²), цезий-137 - от 4 до 93 кБк/м² (уровень фона 2,4 кБк/м²), плутоний-239 + плутоний -240 - от 60 до 1300 Бк/м² (уровень фона 60 Бк/м²). Кроме того, в почвах были обнаружены плутоний -238 (от 2 до 217 Бк/м²) и америций -241 (от 25 до 250 Бк/м²). Однако в регионе, расположенном ближе к месту аварии, особенно в северо-восточном направлении, были отмечены более высокие концентрации изотопов (стронция-90 -2070 кБк/м², цезия-137 - 93 кБк/м², плутония-239 + плутония-240 - до 5200 Бк/м²).

В целом современная картина радиационного загрязнения Каменского района представляет собой достаточно пеструю картину (рис.31). Это связано с тем, что за прошедшие годы перенос и перераспределение радиоактивного материала существенно изменили ситуацию. При сравнении схем, представленных

на рисунках 30 и 31, видно, что наибольшее загрязнение наблюдается в низинных местах, которые, как правило, приурочены к озерам, рекам и болотам рассматриваемого района. Повышенное радиоактивное загрязнение прослеживается в растительном покрове, а также воде, водных растениях и грунтах озер Тыгид, Сунгуль и Червяное по сравнению с контрольной территорией, расположенной за пределами радиоактивного следа.

Определенное негативное воздействие на территорию ВУРСа в Свердловской области оказали газомрозольные выбросы многочисленных промышленных предприятий, в том числе г. Каменск-Уральского, загрязняющие среду тяжелыми металлами, диоксидами серы и азота, бензапиреном, фтором и другими соединениями, многие из которых являются мутагенами.

Для изучения качества среды обитания на территории ВУРСа были проведены специальные опыты на растениях и животных, в которых изучались различные популяционные и мутагенные эффекты. В частности, на одном из участков района оз.Тыгид, где плотность загрязнения по стронцию-90 достигала $85,5 \text{ кБк/м}^2$, в популяции одуванчика обнаружен в 4-5 раз более высокий по сравнению с контролем уровень цитогенетических повреждений меристематических клеток. Аналогичные результаты получены на популяциях василька в районах радиоактивного загрязнения от 4 до 140 МБк/м^2 . В растениях зарегистрирована повышенная скорость мутационного процесса, более высокий уровень хромосомных aberrаций и пигментных мутаций, а также повышенная устойчивость их к дополнительному воздействию гамма-лучей. Длительные эксперименты на ВУРСе привели к заключению, что в хронически облучаемых популяциях растений возникают генетические отклонения, однако высокая численность растительных популяций, малое время регенерации и интенсивный отбор приводят к тому, что эти последствия не сказываются на общей жизнеспособности.

В исследованиях на животных (диких мышах, полевках, остроухих лягушках) зафиксированы различные сдвиги в состоянии природных популяций: изменение половозрастной структуры, плодовитости, показателей системы крови, увеличение частоты хромосомных аномалий, повышение частоты хромосомных aberrаций, появление наследуемых хромосомных мутаций. Все это свидетельствует о генетической опасности среды обитания ВУРСа, обусловленной совокупным влиянием радиоактивного и химического загрязнения.

В соответствии с программой по радиационной реабилитации населения и территорий Уральского региона, пострадавших вследствие аварии на ПО МАЯК, было проведено обследование населения. Отмечен повышенный уровень общей детской заболеваемости в г. Каменск-Уральском и Каменском районе по сравнению со среднеобластным. Показатели младенческой смертности превышали среднеобластную в 1,3-1,7 раза. Заболеваемость злокачественными новообразованиями и смертность от них, а также частота болезней крови превышали средние показатели по Свердловской области. Таким образом, зарегистрировано заметное ухудшение здоровья населения пострадавших территорий по сравнению с населением Свердловской области в целом, хотя она в этом плане не является благополучной.

Сравнение показателей состояния здоровья населения на территории ВУРСа с таковыми контрольного региона, расположенного за пределами ава-

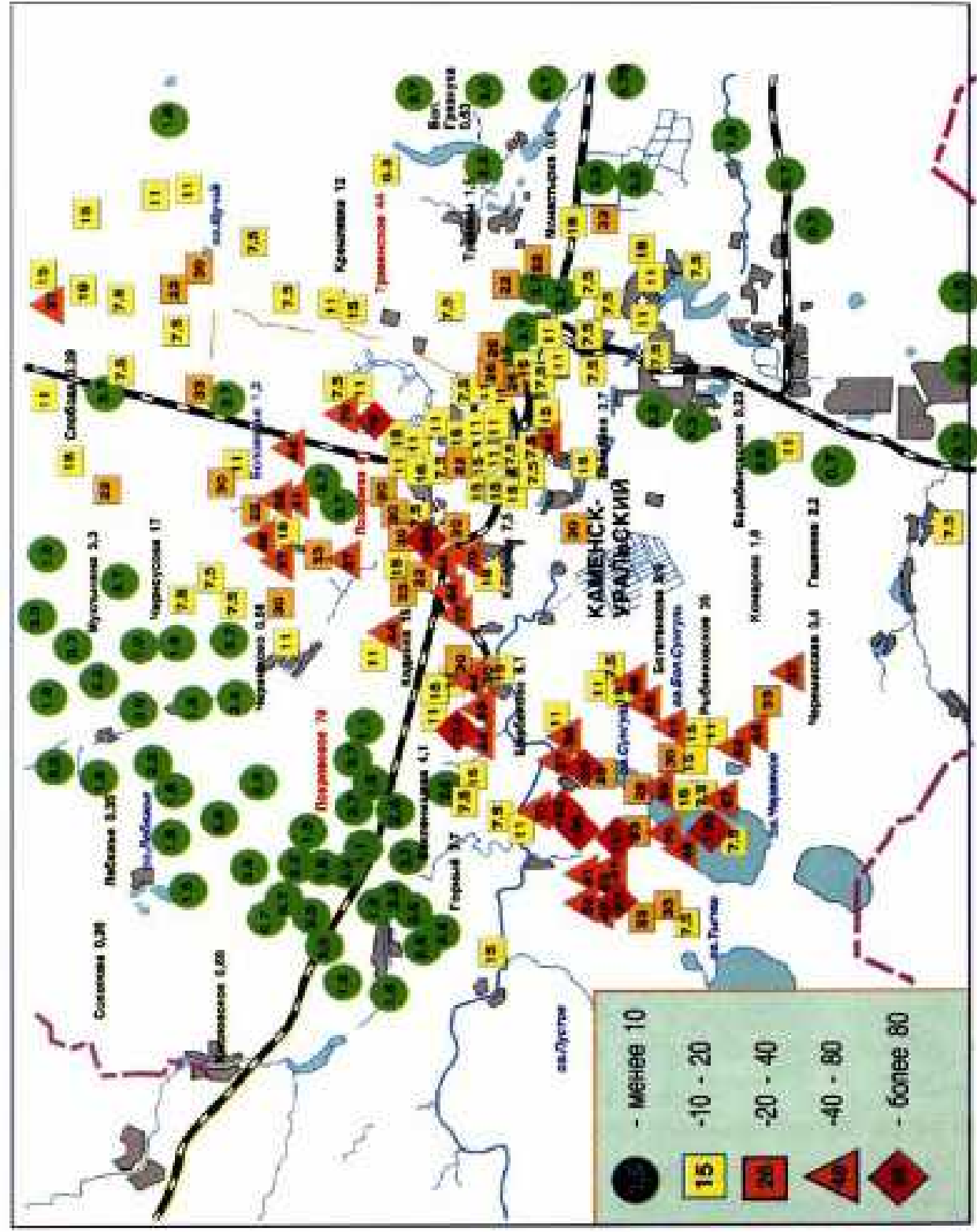


Рис.31. Схема распределения стронция-90 (кБк/м^2) по территории Каменского района Свердловской области (1997г.)

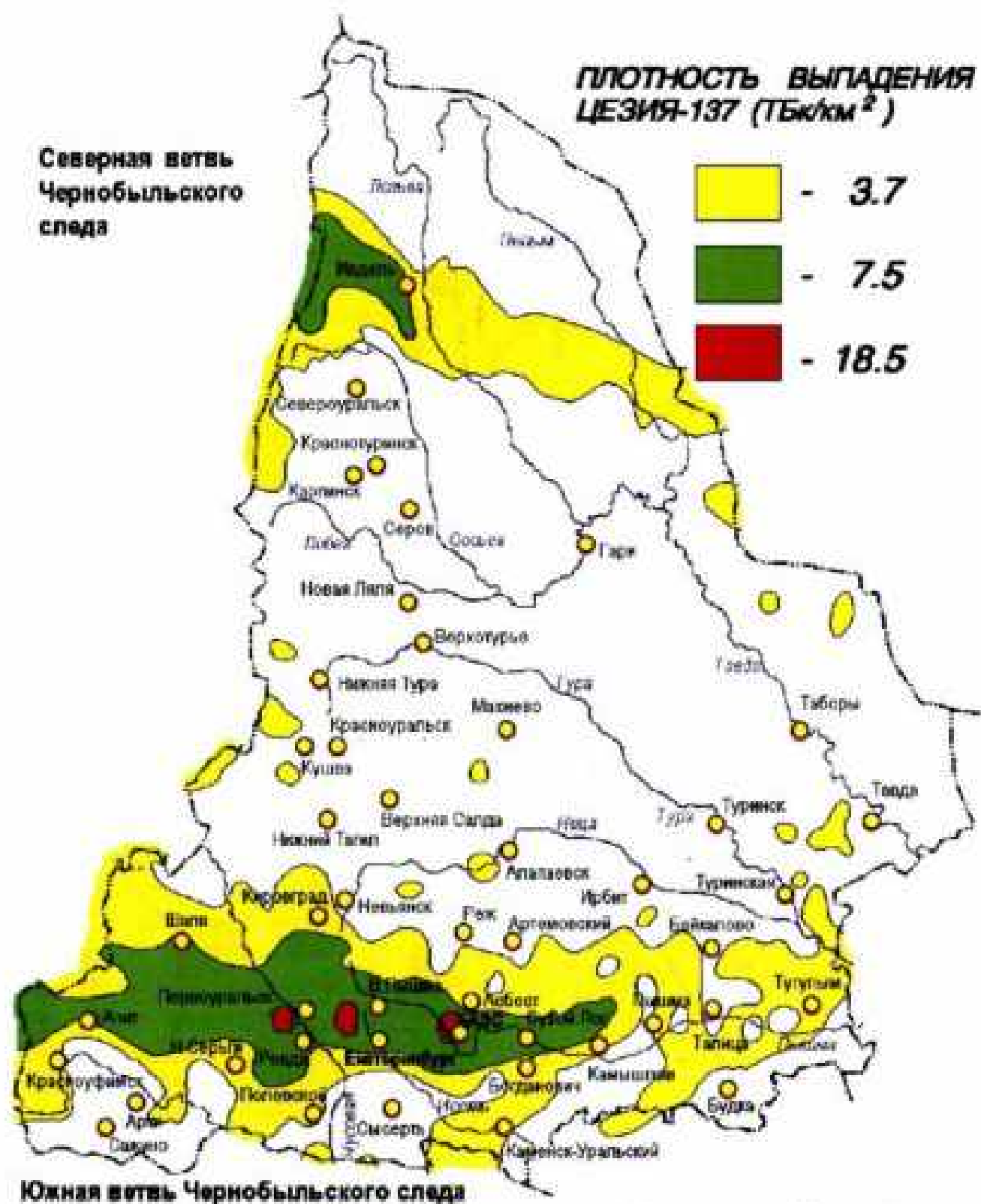


Рис.32. Карта-схема распространения Восточно-Чернобыльского следа по территории Свердловской области (1986-1987гг.)

рийного следа, подтверждает факт более высокой заболеваемости и смертности населения из района аварии. В частности, в г. Каменск-Уральском по сравнению с контролем сокращена общая продолжительность жизни у мужчин, в городе выше онкологическая смертность, частота реализации летального исхода от опухолей повышена в Красногвардейском районе г. Каменск-Уральского в возрастных группах от 0 до 55 лет, а в Синарском - от 16 до 70 лет. В г. Каменск-Уральском по сравнению с контролем чаще регистрируются врожденные аномалии у новорожденных, более чем в 15 раз выше перинатальная смертность. Среди детского населения сельской местности Каменского района по сравнению с контролем выявлено повышенное распространение инфекционных болезней, болезней нервной системы, кожи. Выше суммарная заболеваемость по всем классам болезней. Взрослое население чаще страдает от заболевания системы крови, органов дыхания, пищеварения, мочеполовой и костно-мышечной систем. У женщин чаще встречаются осложнения беременности и родов.

В Богдановическом районе по сравнению с контрольным дети чаще болеют инфекционными болезнями, болезнями нервной системы, крови, органов дыхания, пищеварения, кожи, костно-мышечной системы, онкологическими болезнями. Взрослое население Богдановического района относительно контроля чаще страдает от инфекционных болезней, новообразований, психических расстройств, болезней органов кровообращения, дыхания, пищеварения, мочеполовой системы, болезней кожи, врожденных аномалий. Существенны различия по суммарному числу случаев заболеваний от всех видов болезней (для взрослых - в 1,8 раза, для детей - в 2 раза).

Медико-статистический анализ выявил существенное увеличение смертности по сравнению с контролем только на наиболее загрязненных территориях - в г. Каменск-Уральском и Каменском районе. В Богдановическом и Камышловском районах, меньше подвергшихся радиационному воздействию, повышение смертности по сравнению с контролем не обнаружено. В г. Каменск-Уральском 67 % превышения смертности над контролем обусловлено онкологическими заболеваниями.

В целом, как показали исследования, до настоящего времени общая техногенная экологическая обстановка на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в пределах Свердловской области остается неблагоприятной за счет суммарного воздействия постоянно действующего радиационного фактора и химического загрязнения; последний в ряде случаев оказывает даже более сильное негативное воздействие, чем первый. Несомненно, такая территория требует проведения дополнительных реабилитационных мероприятий.

6.2. Восточно-Чернобыльский след

Ночью 26 апреля 1986 года из-за грубейших технологических ошибок в управлении четвертым блоком Чернобыльской атомной электростанции произошла самая крупная в мире радиационная авария. Она относится к категории 7 по шкале INES (международной классификации радиационных аварий).

В результате аварии была разрушена активная зона реактора, произошёл пожар с горением графита, было разрушено здание, где размещался реактор

РЕМК-1000. В реакторе находилось 190,5 тонн урана-238, 3,8 тонн урана-235 и отработанное топливо, в частности, около 900 кг различных изотопов плутония (239, 240, 241), йод-131, церий-144 и другие искусственные радионуклиды. Высвободившиеся радиоактивные материалы в большом количестве были подняты на высоту 1200 м и разнесены потоками атмосферного воздуха в виде газов и горячих частиц пыли на значительной территории Белоруссии, Украины, России, закавказских республик, стран Средней и Восточной Европы и выпали на площади, измеряемой сотнями тысяч квадратных километров.

Общая радиоактивность, выброшенная в атмосферу, поглощенная почвами и растительностью и перенесенная водными потоками оценивается в 2,1 ЭБк, не считая инертных радиоактивных газов криптона-85 и ксенона-133.

Через всю территорию Европейской части России прошёл так называемый Восточно-Чернобыльский радиоактивный след, охвативший территорию Брянской, Тульской, Ульяновской областей, южную часть Пермской области и распространившейся вдоль оси Ачит - Первоуральск - северная часть г.Екатеринбурга - Верхняя Пышма - Сухой Лог. Далее этот след частично прошёл по более раннему Восточно-Уральскому радиоактивному следу и территории ветрового переноса радионуклидов из прибрежной зоны оз.Карачай. 30 апреля 1986 года радиоактивный след, преодолев тысячи километров, достиг города Екатеринбурга. Карта - схема выпадений цезия-137, связанных с Чернобыльской аварией, по Свердловской области представлена на рис.32.

В момент прохождения чернобыльского облака над территорией Свердловской области отмечались следующие постоянные соотношения между основными искусственными радионуклидами, которые характерны для облака Чернобыльского взрыва:

$$\text{цезий-137} / \text{стронций-90} = 110$$

$$\text{цезий-144} / \text{цезий-137} = 0.5$$

$$\text{йод-131} / \text{цезий-137} = 25.$$

Прохождение радиоактивного облака над Свердловской областью сопровождалось выпадением осадков в виде дождя и снега. Это привело к образованию многочисленных радиационных аномалий. Так в Екатеринбурге на асфальте доза внешнего облучения составила 0,25 - 0,5 мкЗв/ч, на газонах - до 0,60, а в сугробах снега - до 2,15 мкЗв/ч при естественном радиационном фоне в городе 0,09 мкЗв/ч. 30 апреля наиболее вероятная доза внешнего облучения населения г.Екатеринбурга была 0,72 мкЗв/ч, Каменск-Уральского - 0,27 мкЗв/ч, Нижнего Тагила - 0,17 мкЗв/ч, Краснотурьинска - 0,14 - 0,15 мкЗв/ч. В первый год после аварии индивидуальная годовая доза облучения для жителей г.Екатеринбурга составляла 117 мкЗв, г.Каменск-Уральского - 41,7 мкЗв. В 1988 г. техногенное радиационное загрязнение Железнодорожного, Ленинского, Орджоникидзевского и Кировского районов г.Екатеринбурга в 2 раза превысило естественный фон 1975 г. Радиоактивные осадки чернобыльского происхождения к этому времени были смыты с крыш, покрытых асфальтом дорог и других территорий. В этот период проявились многочисленные аномалии радиационного фона у водосточных труб, колодцев, углублений около жилых и административных зданий с дозой внешнего облучения от 0,65 до нескольких мкЗв/ч. Плотность поверхностного загрязнения цезием в этих локальных аномалиях достигла 74 -

111 ГБк/км². В настоящее время загрязнение сохранилось только в лесопарковой зоне г.Екатеринбурга.

Произведена оценка индивидуальной эффективной эквивалентной дозы за 50 лет для взрослых (1,37 мЗв) и за 70 лет для детей (1,59 мЗв), что при пороге в 70 мЗв составляет 1,9 – 2,3% предельно-допустимой дозы. И хотя это вполне допустимое облучение с точки зрения НРБ-96, ожидаемая коллективная доза за 50 лет по г.Екатеринбургу оценивается не менее, чем в 1800 чел.-Зв (1 чел.-Зв на 1 год жизни). Даже заниженная оценка ущерба для жителей г.Екатеринбурга от Чернобыльского следа, рассчитанная по международной методике (1 чел.-Зв - 10000 долларов), составила около 14 млн. долларов (400 млн. рублей) в текущих ценах.

Изучение структуры радиоактивного следа позволило установить в нём пятнистую неравномерность радиационного загрязнения, которая от нескольких раз до порядка величины превышает средний уровень загрязнения.

В пределах Восточно-Чернобыльского радиоактивного следа среднее поверхностное загрязнение территории составляло 7,5 ГБк/км², а в пятнах - до (18-37) ГБк/км². За счёт радиоактивного распада активность уменьшается примерно на 2% в год от первоначальных значений, то есть за 14 лет наблюдается уменьшение до 30%.

В настоящее время с помощью современной аппаратуры поверхностное загрязнение по цезию-137 в лесных почвах в районе ст.Исеть, в районе Палкинского торфяника и южнее Верх-Исетского пруда определяется в 10-15 ГБк/км², а в районе п.Сарапулка и п.Садовый - в 7,5 ГБк/км². Эти загрязнения находятся в почвенном слое глубиной 1-15 см, там, где в результате рубки и трелевки леса почвенный слой нарушен, загрязнение отсутствует.

К сожалению, в момент Чернобыльской катастрофы системных радиометрических измерений в г.Екатеринбурге органами Гидромета и ЦСЭН не проводилось. Хотя это было необходимо, чтобы в момент прохождения радиоактивного облака над городом предупредить население об элементарных мерах защиты: закрыть окна, детям меньше находиться вне помещений, использовать противопылевые маски и йодотерапию, ограничить сбор грибов и ягод в зоне следа. С научной точки зрения следовало бы обратить внимание на необходимость определения содержания йода -131, инертных газов и аэрозолей в воздушной среде, что в данном случае, как и в случае с ВУРСом, не выполнялось, поэтому данные о них полностью отсутствуют.

В подобных случаях население города должно быть немедленно оповещено обо всех внештатных ситуациях на атомных объектах с указанием необходимых мер предохранения от радиационного воздействия, потому что при авариях на АЭС и взрывах в атмосфере переносы радиоактивных веществ и аэрозолей в северном полушарии происходят достаточно быстро и на большие расстояния, измеряемые тысячами километров от источника аварии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уходит в прошлое бурный XX век, век великой технической революции, век открытий, в числе которых - использование энергии атомного ядра. Вместе с ним уходят в прошлое годы великого противостояния великих держав, которое больше известно как "холодная война", и порождение ее - атомная эйфория середины XX века. Подавляющее число специалистов и не специалистов понимает, что атомная бомба нужна не для военных действий, не для массового поражения и уничтожения противника, а для сдерживания ядерных авантюристов. Эту роль она уже сыграла в истории человечества, и на первое место вышли другие проблемы, связанные с мирными ядерными технологиями, связанные с ликвидацией последствий "холодной войны". Как показывает опыт Уральского региона, мы оказались не готовы к решению двух последних задач.

Член-корреспондент РАН А.В.Яблоков в своей книге "Атомная мифология" указывает на непредвиденные ранее в процессе развития ядерных исследований и пока непреодолимые риски, связанные с развитием "мирных" ядерных программ. К ним относятся :

- неизбежное производство плутония, который не только навечно отравляет атмосферу, но и ведет к неконтролируемому распространению ядерного оружия;
- опасное для всего человечества и для всего живого на планете увеличение техногенной радиоактивности, которая нарастает катастрофическими темпами ввиду работы огромного количества атомных силовых установок;
- создание неприемлемо опасных ядерных технологий, что привело к крупным ядерным авариям на суше (ПО МАЯК и Чернобыль) и на море (аварии на подводных лодках);
- создание условий для небывалого в истории человечества роста неотразимых террористических угроз;
- нарушения фундаментального права человека на защиту от экологической опасности: авария на ПО МАЯК и взрыв на Чернобыльской АЭС показали, что на Земле в принципе нет места, защищенного от радиоактивного поражения в случае ядерной аварии.

Состояние радиационной обстановки по Уральскому региону свидетельствует о том, что безудержное, связанное с режимом "холодной войны", развитие ядерных программ привело к потрясающему по масштабам загрязнению окружающей среды и экологической опасности для населения. Несмотря на то, что существующие сегодня атомные технологии обладают заметно большей экологической чистотой, мы должны признать, что развитие существующих ядерных программ не делает наш мир менее опасным.

Опыт Урала показывает, что существует еще много не решенных проблем, связанных с воздействием радиации на здоровье человека. Степень радиационного воздействия на человека оценивается специалистами неоднозначно. Если влияние больших доз радиации более или менее неоспоримо и разногласий не вызывает, то вопрос о влиянии малых доз дискутируется очень давно.

К сожалению, при этом возникает множество спекуляций, основанных на неоправданной радиофобии большей части населения. Имеются данные о том, что многие пациенты заболели не от величины дозы облучения, а от сознания того, что они просто облучились. Имеющиеся материалы по Уральскому региону показывают противоречивость данных о медицинских последствиях облучения организма. Вероятно, это связано с высоким уровнем техногенного (нерadioактивного) загрязнения в Уральском регионе, поэтому существует проблема разделения влияния химического и радиационного поражения живых организмов, а также оценки их синергического влияния на организмы. В этом плане на Урале предстоит большая работа научных и практических работников.

Другой не менее важной проблемой Урала и связанных с ним регионов Западной Сибири является исследование переноса и перераспределения радиоактивного загрязнения. На примерах Восточно-Уральского и Восточно-Чернобыльского следа видно, что с течением времени наблюдаются динамические изменения радиоактивного загрязнения, связанные как с морфологией земной поверхности, так и геолого-геофизическими особенностями регионов. При анализе существующей радиационной обстановки и прогнозе развития ситуации необходимо более тщательно оценивать геологическое строение местности, особенности гидрогеологического режима и различных геофизических полей. Эти задачи должны привлекать все больше внимания также по причине увеличивающейся сейсмичности Уральского региона. В ближайшие годы сейсмическая катастрофа нам не грозит, но постоянно увеличивающаяся естественная и техногенная микросейсмическая активность может внести свои коррективы в процессы переноса и перераспределения радиоактивных загрязнений.

На Урале остается не решенной проблема плутония, который признается в настоящее время одним из самых опасных веществ на планете. С одной стороны, использование плутония - это этап разоружения и мирного использования оружейного материала, а с другой - это большой риск для жизни. В данном случае проблемы экологической культуры предприятий ядерного цикла выходят на первый план. Мы должны думать о будущем и не скрываться за цифрами предельно допустимых выбросов. Период полураспада плутония более 20 тысяч лет и, если скорость загрязнения среды этим радионуклидом будет возрастать, проблема плутония будет большой заботой для наших детей и внуков.

Проблема ликвидации радиоактивных отходов выходит на первый план не только на предприятиях ядерного цикла. Распространение, перенос и перераспределение радиоактивных загрязнений должно беспокоить не только руководителей ПО МАЯК, Белоярской АЭС и научно-исследовательских организаций, но и руководителей всех уровней управления от поселка и города до области и федерального округа. Экономия на изучении и решении этих проблем может обернуться невосполнимыми потерями здоровья людей, потерями в производстве продуктов питания и наличии питьевых вод, потерями будущих поколений уральцев.

Ядерный джин выпущен на волю, и мы вынуждены жить рядом с ним. Поэтому каждый человек имеет право знать о реальной экологической, в том числе и радиационной, обстановке, о возможном потенциале риска для его

здоровья в зоне проживания. В этом плане мы должны брать пример с наших заокеанских коллег, которые предлагают по сети Интернет автоматическое вычисление ожидаемого риска проживания для любой территории США. К сожалению, непродуманный уровень секретности и умышленное искажение данных, часто просто очевидное, были характерны для всей деятельности нашей атомной промышленности. Именно она определенное время скрывала истинную информацию о Кыштымской, Чернобыльской авариях, ситуации на р.Тече, Тощом ядерном взрыве и т.д. По ее вине было упущено время для проведения первоочередных действий, необходимых для защиты пострадавшего населения, которое во многих регионах до сих пор остается ее заложником. Нельзя не признать парадоксальной ту ситуацию, когда для доказательства малого влияния ВУРСа на крупный промышленный центр г.Каменск-Уральский на некоторых картах конца пятидесятых годов город был смещен вниз по течению реки Исети, а сам ВУРС необъяснимым образом обогнул городскую территорию. Тем не менее, фактические данные о загрязнении города все равно стали известны, но время для первоочередных мер было упущено. Сегодня мы уже забыли и не вспоминаем об этом факте. Проблема получения объективной информации для населения остается. При этом необходимо понимать, что это важно для самих предприятий, для повышения их авторитета и авторитета самой атомной промышленности, но... надо быть предельно выдержанными и честными, ибо "один раз солгав, тебе уже никто не поверит".

Даже в таком промышленном регионе как Урал оказался необычайно низким уровень радиоз экологического образования. Вопрос об ионизирующей радиации, хотя и обсуждается постоянно в средствах массовой информации, тем не менее, до сих пор остается наиболее "мистифицированным" и трудно понимаемым массовым читателем без предоставления ему некоторого "атомно-ядерного ликбеза". Поэтому радиоз экологическое просвещение населения должно быть неслучайной частью всех образовательных программ. Это особо касается Уральского региона, где относительно много людей проживает в условиях повышенного фона ионизирующей радиации и на радиоактивно загрязненных территориях. Радиоз экологические знания позволяют избежать тех негативных последствий, которые связаны с дополнительным облучением и поступлением радионуклидов в организм с продуктами питания и водой.

Затронутые в данной книге вопросы относятся как к самым общим проблемам радиоз экологии, так и ее региональным аспектам. Необходимо признать, что в настоящее время и в обозримом будущем при решении проблем природопользования приходится исходить из концепции невозможности полного предотвращения влияния человека на окружающую среду даже при условии совершенствования производства. Сегодня основой нормирования воздействий на окружающую среду являются санитарно-гигиенические нормы, приоритет которых заключается в защите, прежде всего, жизни человека, в обеспечении его личной безопасности. Однако, воздействие на биосферу различных антропогенных факторов неизбежно уже в силу чрезвычайных материальных затрат, необходимых для обеспечения полной экологической чистоты существующих производств. Атомная энергетика имеет ряд известных преимуществ перед дру-

гими технологиями получения электроэнергии. Однако имевшие место инциденты подрывали доверие к этому величайшему достижению науки. Сегодня человечество не хочет быть заложником непродуманного развития ядерной энергетики и требует обеспечения безопасной среды обитания. Поэтому, исходя из общечеловеческих принципов морали, необходимо признать, что дальнейшее радиоактивное загрязнение природной среды недопустимо. Дальнейшее развитие атомной промышленности возможно только при условии обеспечения приемлемого уровня экологической безопасности. Похоже, однако, что обеспечение этого уровня оказывается невыносимо тяжелым для нашего общества.

Развитие существующих ядерных технологий делает наш мир все более опасным. Настало время, когда человечество должно внимательно, без лишних эмоций, проанализировать свое отношение к ядерным проблемам и пересмотреть многие принятые ранее решения. В XXI веке должен быть один приоритет - **ПРИОРИТЕТ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ** ядерных технологий. Это значит, что мир должен быть свободен от опасной радиации, ядерных катастроф и аварий во имя жизни и здоровья настоящего и будущих поколений.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Активность радиоактивного вещества - мера количества радиоактивного вещества, выраженная числом актов распада атомов ядер этого вещества в единицу времени.

Активность удельная (объемная) - отношение активности радионуклида в веществе к массе (объему), выражается в Бк/кг или Бк/л, Бк/м³.

Альфа-излучение - ионизирующее излучение, состоящее из альфа-частиц (ядер гелия), испускаемых при ядерных превращениях. Имеет высокую ионизирующую и малую проникающую способность.

Альфа-распад - самопроизвольное испускание альфа-частиц тяжелыми ядрами радиоактивных элементов.

Антропогенные источники излучения - источники внешнего и внутреннего облучения, созданные человеком.

Атом - наименьшая (элементарная) часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств.

Атомный номер - номер химического элемента в Периодической системе элементов. Атомный номер равен числу протонов в атомном ядре.

Беккерель (Бк) - единица активности в системе СИ, равная одному распаду в секунду.

Бета-излучение - корпускулярное излучение, состоящее из отрицательно или положительно заряженных частиц (электронов или позитронов) и возникающее при радиоактивном бета-распаде. Имеет малую ионизирующую и большую (в сравнении с альфа-излучением) проникающую способность.

Бета-распад - самопроизвольное превращение нестабильного ядра в ядро с зарядом, отличающимся на единицу. При этом испускается бета - излучение.

Бэр - единица эквивалентной дозы.

Вещество радиоактивное - вещество в любом агрегатном состоянии, содержащее радионуклиды.

Внешнее облучение - воздействие на организм ионизирующего излучения от внешних по отношению к нему источников излучения.

Внутреннее облучение - воздействие на организм ионизирующего излучения радиоактивных веществ, находящихся внутри организма.

Гамма-излучение - электромагнитное ионизирующее излучение, испускаемое при ядерных превращениях или аннигиляции частиц. Распространяется со скоростью света, обладает большой энергией и проникающей способностью.

Грей (Гр) - единица поглощенной дозы в системе СИ, равная энергии в 1 Дж, поглощенной массой в 1 кг.

Деактивация поверхности - удаление радиоактивного загрязнения с поверхности физико-химическим или механическим способами с целью предупреждения разноса радиоактивного загрязнения и действия его как потенциального источника внешнего и внутреннего облучения.

Доза поглощенная (Д) - фундаментальная дозиметрическая величина, опре-

деляемая как средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу на единицу *массы*. В системе СИ поглощенная доза измеряется в *греях (Гр)*.

В радиобиологии и радиационной гигиене широкое применение получили внесистемные единицы поглощенной дозы - *рад и рентген*:

1 рад = 100 эрг/г = 0,01 Дж/кг = 0,01 грей; 1 грей = 100 рад.

1 грей = 114 Р; 1 Р = 8,77 мГр = 877 рад

Доза эквивалентная ($З_е$) - основная дозиметрическая величина, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от постоянного воздействия ионизирующего излучения. Эквивалентная доза равна произведению поглощенной дозы на коэффициент качества ионизирующего излучения.

Доза эквивалентная эффективная ($З_е$) - эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных биологических тканей к облучению.

Доза эквивалентная коллективная (чел. $З_е$) - суммарная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации.

Доза экспозиционная - количественная характеристика рентгеновского и гамма-излучения, выраженная суммарным электрическим зарядом ионов одного знака, образованных в единице объема воздуха в условиях электронного равновесия. За единицу экспозиционной дозы принимают величину электрического заряда, выраженную в кулонах на единицу массы (кулон на килограмм) или *рентген*.

Допустимая концентрация (ДК) - допустимый уровень объемной активности радионуклида в атмосферном воздухе или питьевой воде.

Допустимая мощность дозы (ДМД) - допустимый уровень усредненной за год мощности эквивалентной дозы облучения.

Допустимые уровни - нормативные значения поступления радиоактивных веществ в организм, содержания радиоактивных веществ в организме, в воде, воздухе и продуктах питания, мощности дозы и т.д., рассчитанные из значений основных дозовых пределов (пределов допустимого годового поступления и предела дозы).

Загрязнение радиоактивное - присутствие радиоактивных веществ техногенного происхождения на поверхности или внутри материала или тела человека, в воздухе или в другом месте, которое может привести к облучению в индивидуальной дозе более 10 мкЗв/год или коллективной дозе 1 чел.-Зв/год.

Закон радиоактивного распада - экспоненциальный закон уменьшения во времени среднего числа радиоактивных ядер. Закон отражает независимость распада отдельного ядра от остальных ядер.

Зиверт ($З_е$) - единица эквивалентной дозы в системе СИ. Представляет собой единицу поглощенной дозы, умноженную на коэффициент качества излучения, учитывающий неодинаковую радиационную опасность для организма разных видов излучения. $1 \text{ зиверт} = Q \times 1 \text{ грей}$, где Q - коэффициент качества излучения. 1 зиверт равен 1 грею для рентгеновского, бета- и гамма-излучения.

Изотоп радиоактивный - радионуклиды элемента, ядра которых имеют одно и то же число протонов, но различаются числом нейтронов, например, радиоактивный изотоп кобальта - кобальт-60.

Ионизирующее излучение - излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию ионов с разными электрическими зарядами.

Источник ионизирующего излучения (ИИИ) - устройство или радиоактивное вещество, испускающее или способное испускать ионизирующее излучение.

Класс работ с открытыми источниками - характеристика работ по группе радиационной опасности радионуклида и его фактической активности на рабочем месте. Класс работ определяет требования к обеспечению радиационной безопасности. В порядке уменьшения объема указанных требований выделяют I, II и III классы работ.

Контроль радиационный - получение информации о радиационной обстановке в окружающей среде и об уровнях облучения людей, безопасности, обеспечения дальнейшего снижения облучения персонала и населения, радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Космическое излучение - поток заряженных частиц и фотонов, приходящих к Земле со всех направлений космического пространства и рождающихся в земной атмосфере.

Коэффициент качества излучения (Q) - безразмерный коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма.

Коэффициент эманирования - отношение количества радона, выделяющегося с поверхности вещества, к количеству радона, рождающегося в данном веществе в условиях радиоактивного равновесия.

Критический орган - орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которого в данных условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомству.

Мониторинг окружающей среды - система постоянного контроля за состоянием окружающей среды с целью предупреждения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации.

Мощность дозы - величина поглощенной дозы (эквивалентной или эффективной дозы) за единичный интервал времени. На практике за единицу времени могут приниматься секунда, минута, час, сутки или год.

Облучение - воздействие на людей ионизирующего излучения от внешних или внутренних источников.

Отходы радиоактивные - жидкие и твердые радиоактивные вещества, образующиеся в результате деятельности предприятия, общая активность которых превышает уровни, установленные нормативами.

Открытый источник - радиоактивный источник излучения, при использовании которого возможно попадание содержащихся в нем радиоактивных веществ в окружающую среду.

Период полураспада - время, за которое активность радионуклида в организме уменьшается в результате естественного обмена веществ в два раза.

Период полураспада радионуклидов ($T_{1/2}$) - время, в течение которого число ядер данного радионуклида в результате самопроизвольных ядерных превраще-

ний уменьшается в два раза.

Предельно допустимая доза (ПДД) - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья облучаемого и его потомства неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Протон - положительно заряженная частица, входящая в состав ядра атома.

Радиоактивные вещества - не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение.

Радиоактивность - самопроизвольное превращение нестабильного радиоизотопа в другой изотоп, сопровождающееся испусканием ионизирующего излучения.

Радиационная безопасность населения - состояние защищенности настоящего и будущего поколения людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Радиационный контроль - измерение параметров, позволяющих оценить внешнее и внутреннее облучение людей, радиоактивное загрязнение территории и различных объектов с целью оценки воздействия ионизирующих излучений, слежения за изменением радиационной обстановки и принятия необходимых и своевременных решений.

Радиоактивный распад - самопроизвольное (спонтанное) превращение неустойчивого радионуклида в другой нуклид (возможно также неустойчивый - радиоактивный), сопровождающееся испусканием ионизирующего излучения.

Радионуклид - радиоактивный атом с определенным массовым числом и атомным номером, который способен самопроизвольно превращаться в другой атом. Имеет специфические период полураспада, вид и интенсивность ионизирующего излучения.

Рентген - первая узаконенная, а ныне внесистемная единица измерения экспозиционной дозы. Установлена для измерения излучения, которое создает при ионизации в одном килограмме сухого воздуха общий заряд ионов равный одной единице электрического заряда в системе CGSE.

При измерении в воздухе дозы гамма-излучения равна: $1 \text{ Р} = 8.77 \text{ мДж / кг}$ или 8.77 мГр . Соответственно $1 \text{ Гр} = 114 \text{ Р}$.

Санитарно-защитная зона - территория, на которой уровень облучения людей в условиях нормальной эксплуатации данного источника может превысить установленный предел дозы облучения населения. В ее пределах запрещено размещение жилых зданий, детских учреждений, а также промышленных и подсобных сооружений, не относящихся к предприятию, для которого установлена санитарно-защитная зона.

Техногенный радиационный фон — излучение, создаваемое искусственными радионуклидами, образовавшимися в результате деятельности человека.

Фон радиационный естественный (природный) - ионизирующее излучение, состоящее из космического излучения и излучения естественно распределенных природных радиоактивных веществ (на поверхности Земли, в приземной атмосфере, в продуктах питания, воде и организме человека) .

Экологическая катастрофа - глубокие (необратимые) нарушения экологического равновесия в природе в результате разрушительного воздействия поражающих факторов, опасных природных явлений, техногенных аварий и катастроф.

Экспозиционная доза (ЭД) - доза рентгеновского и гамма-излучений, определяемая по ионизации воздуха.

Экспертиза экологическая - установление соответствия намечаемой хозяйственной или иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы в целях предупреждения возможных неблагоприятных воздействий этой деятельности на окружающую среду и связанных с ними социальных, экономических и иных последствий реализации объекта экологической экспертизы.

Приложение 2

МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ В СИСТЕМЕ СИ, ИХ НАИМЕНОВАНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
$1\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{18}$	экса	T	Э
$1\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{15}$	пета	P	П
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	тера	N	Т
$1\,000\,000\,000 = 10^9$	гига	G	Г
$1\,000\,000 = 10^6$	мега	M	М
$1\,000 = 10^3$	кило	k	к
$100 = 10^2$	гекто	h	г
$10 = 10^1$	дека	da	да
$0,01 = 10^{-1}$	деци	d	д
$0,001 = 10^{-2}$	санти	c	с
$0,0001 = 10^{-3}$	милли	m	м
$0,000\,001 = 10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$	нано	n	н
$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	пико	p	п
$0,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	фемто	f	ф
$0,000\,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-18}$	атто	a	а

Приложение 3

ТАБЛИЦЫ ПЕРЕВОДА ЕДИНИЦ СИСТЕМЫ СИ ВО
ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Кюри	ГБк	Кюри	ГБк	Кюри	ГБк	Кюри	ГБк
0,1	3,7	1,0	37	10	0,37	100	3,7
0,2	7,4	2,0	74	20	0,74	200	7,4
0,3	11,1	3,0	111	30	1,11	300	11,1
0,4	14,8	4,0	148	40	1,48	400	14,8
0,5	18,5	5,0	185	50	1,85	500	18,5
0,6	22,2	6,0	222	60	2,22	600	22,2
0,7	25,9	7,0	259	70	2,59	700	25,9
0,8	29,6	8,0	296	80	2,96	800	29,6
0,9	33,3	9,0	333	90	3,33	900	33,3
1,0	37	10	370	100	3,70	1000	37,0

Микро- рентген	Микро- зиверт	Микро- рентген	Микро- зиверт	Милли- рентген	Микро- зиверт	Милли- рентген	Микро- зиверт
10	0,088	100	0,877	1	8,77	10	87,8
20	0,175	200	1,754	2	17,54	20	175,4
30	0,263	300	2,631	3	26,31	30	263,1
40	0,351	400	3,508	4	35,08	40	350,4
50	0,438	500	4,385	5	43,85	50	438,5
60	0,526	600	5,262	6	52,62	60	526,2
70	0,614	700	6,139	7	61,39	70	613,9
80	0,702	800	7,016	8	70,16	80	701,6
90	0,789	900	7,893	9	78,93	90	789,3
100	0,877	1000	8,77	10	87,7	100	877,0

ЛИТЕРАТУРА

- Аксеев А.В., Голощапов П.В., Дегтева М.О. и др. Радиоактивное загрязнение окружающей среды в регионе Южного Урала и его влияние на здоровье населения. М.: ЦНИИАтоминформ, 1991. 63 с.
- Атомные взрывы в мирных целях: Сб. статей / Под ред. И.Д.Морохова. М.: Атомиздат, 1970. 176 с.
- Бидяев В.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1990. 208 с.
- Булатов В.И. 200 ядерных полигонов СССР: География ядерных катастроф и загрязнений. Новосибирск: ЦЭРИС, 1993. 88 с.
- Булатов В.И. Россия радиоактивная. Новосибирск, 1996. 271 с.
- Восточно-Уральский радиоактивный след: (Свердл. обл.) / Под ред. В.Н.Чуханова. Екатеринбург : УрО РАН, ИПЭ. 1996. 168 с.
- Восточно-Уральский радиоактивный след: Проблемы реабилитации населения и территорий Свердл. обл. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 284 с.
- Давыдов А.В., Игумнов С.А., Талалай А.Г., Уткин В.И., Фоминых В.И., Хайкович И.М. РАДИОЭКОЛОГИЯ: Курс лекций. Екатеринбург: Ин-т испыт. мин. сырья УГГА, 2000. 351 с.
- Довгуши В.В., Тихонов М.Н., Решетов В.В., Егоров Ю.Н., Киселев М.Ф. Радиационная обстановка в Уральском регионе России: (справочник). СПб.: ВИФ "Балт-Норд", 2000. Т.1-2.
- Дрожко Е.Г., Иванов И.А. Современное состояние подземной гидросферы в районе ПО МАЯК // Вопр. радиац. безопасности / ПО МАЯК. 1996. №1. С.11-19.
- Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. РАДОН: измерения, дозы, оценка риска. Екатеринбург: УрО РАН, ИПЭ. 1997. 231 с.
- Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочем месте// Публикация 65 МКРЗ / пер. М.В.Жуковский, ред. А.В.Кружалов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
- Камышев А.П. Методы и технологии мониторинга природно-технических систем / Под ред. А.Л.Ревзона. М.: ВНИИгаздобыча, 1999. 196 с.
- Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. - 4-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1991. 352 с.
- Кравцова Э.М., Колотыгина Н.В., Терентьев М.В. Оценка облучения населения Уральского региона, проживающего на границах ВУРСа за счет природных источников илучения // Радиация, здоровье, экология. Екатеринбург, 1994. С.119-123.
- Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 257 с.
- Кузин А.М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М.: Наука, 1991. 117 с.
- Куликов Н.В., Молчанова Е.Н., Караваева Е.Н. Радиозкология почвенно-растительного покрова. Екатеринбург: УрО РАН, 1990. 170 с.
- Лучин И.А., Титов В.К., Лашков Б.П. Радон в почвах и зданиях. СПб.: ВИРГ, 1991. 16 с.
- Малкин П.М., Воробьев М.И. Радиационная обстановка на территории Восточно-Уральского следа: (обзор). Челябинск, УНПЦ РМ. 1993. 67 с.

- Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. М.: Энергоатомиздат, 1998. 224 с.
- Никипелов Б.В., Дрожко Е.Г. Взрыв на Южном Урале // Природа. 1990. №5. С. 48-49
- Никипелов Б.В., Романов Г.Н., Буддаков В.А. Радиационная авария на Урале в 1957 году // Атомная энергия. 1989. т.67, вып.2. С.74-80
- Новоселов В.Н., Толстиков В.С. Атомный след на Урале. Челябинск: Рифей, 1997. 240 с.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.758-99. М.: Госкомсанэпиднадзор РФ, 1999. 116 с.
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). М.: Минздрав России, 2000. 99 с.
- Отдаленные эколого-генетические последствия радиационных инцидентов: Тоцкий ядерный взрыв/ Под ред. А.Г.Васильева. Екатеринбург: УрО РАН ИЭРИЖ, 2000. 287 с.
- Пискунов Л.И. Ядерный объект за оклицей Уральской столицы / Ред. В.И.Уткин. Екатеринбург: Сред.-Урал.кн.изд-во, 1997. 80 с.
- Плутониевая экономика: выход или тупик: Плутоний в окружающей среде. / Сост. Н.И.Миронова. Челябинск, 1998. 74 с.
- Ползик Е.В., Казанцев В.С., Насыбулина Г.М. Кыштымская авария и ее влияние на здоровье населения Свердловской области. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 182 с.
- Проблемы развития атомной энергетики и радиационной безопасности населения регионов Урала и Западной Сибири: Материалы науч.-практ. конф./ Под ред. В.С.Соловьева. Тюмень: Тюмен. ГУ, 1998. 78 с.
- Радиационная безопасность и защита населения: Материалы междунар. науч.-практ. конф./ Ред. А.П.Ястребов. Екатеринбург: УГМИ, ЕС НПО, 1995. 108 с.
- Радиационная безопасность Урала и Сибири: Материалы науч. практ. конф. / Под ред. В.И.Уткина. ЕС НПО, Екатеринбург: 1997. 103 с.
- РАДИАЦИЯ: дозы, эффекты, риск / Пер. с англ. Ю.А.Банников. М.: Мир, 1988. 79 с.
- Реализация Государственной программы РФ по радиационной реабилитации Уральского региона. Материалы конф. / Ред. В.Н.Чуканов. Екатеринбург: ИПЭ УрО РАН, 1993. 90 с.
- Резонанс: Юж.-Урал атомная быть или не быть? / Под ред. А.Н.Пенягина. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1991. 56 с.
- Романов Г.Н., Воронов А.С. Кыштымская авария крупным планом: Радиационная обстановка после аварии // Природа. 1990. № 5. С.50-52.
- Трапезников А.В., Позолотина В.Н., Юшков П.И., Трапезникова В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н., Чеботина М.Я., Ааркрог А., Дальгаард Х., Нильсен С.П., Чен К. Исследование радиозкологической ситуации в реках Теча и Исеть, загрязненных сбросами ПО "Маяк" // Проблемы радиозкологии и пограничных дисциплин. Заречный: 1999. Вып. 2. С.20-66.
- Трейгер С.И., Пискунов Л.И., Смирнов Б.П. Естественная радиоактивность строительных материалов Среднего Урала. Свердловск: ПГО "Уралгеология", 1987. 52с.

- Урал атомный, Урал промышленный: Материалы VII Междунар. экол. симпоз. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 354 с.
- Утилизация плутония: проблемы и решения: Материалы "Российско-американских Слупаний. / Под ред. В.И.Уткина, Л.И.Пискунова. Екатеринбург: ЕС НПО, 2000. 92 с.
- Чеботина М.Я., Пискунов Л.И. К вопросу о допустимой концентрации радионуклидов в воде пресных водоемов//Дефектоскопия. 1998. №10. С.89-92
- Чеботина М.Я., Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Куликов Н.В. Радиоэкологические исследования Белоярского водохранилища. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 78 с.
- Чемерис Н.В. Радиационно-экологические аспекты обращения с радиоактивными отходами низкого и среднего уровней активности: Автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. 18 с.
- Что такое радон и как с ним бороться?/ Под ред. С.В.Кривашева. М.: МТМ-Защита, 1996. 70 с.
- Чуканов В.Н., Волобуев П.В., Дрожко Е.Г. и др. Генезис и концепция государственной программы РФ по радиационной реабилитации Уральского региона. Екатеринбург, 1993. 17 с.
- Экологическая безопасность регионов Урала и Западной Сибири: Материалы науч.-практ. конф. / Под ред. А.Н.Лебедева. Екатеринбург: Урало-Сиб. ассоциация НПО, 1998. 116 с.
- Экологические последствия радиоактивного заражения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. 163с.
- Экологические проблемы загрязненных радионуклидами территорий Уральского региона: Материалы конф. / Ред. Л.И.Пискунов. Екатеринбург: ЕС НПО, УрО РАН, 1992. 114с.
- Яблоков А.В. АТОМНАЯ МИФОЛОГИЯ: Заметки эколога об атомной индустрии. М.: Наука, 1997. 271 с.
- Bradley D.J. Behind the Nuclear Curtain: Radioactive waste management in the former Soviet Union. N.Y., 1995. 235 p.

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

1. Евстигнеев Анатолий Владимирович - ведущий геофизик Аэрогеофизической партии Уральской геофизической экспедиции ФГУПР;
2. Екидин Алексей Акимович - научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН;
3. Рыбаков Евгений Николаевич - мл.н.с. лаборатории ядерной геофизики Института геофизики УрО РАН;
4. Трапезников Александр Викторович - канд.биол.наук, Зав. отделом континентальной радиозкологии Института экологии растений и животных УрО РАН;
5. Уткин Владимир Иванович - профессор, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, Заслуженный деятель науки РФ, Зав. лабораторией ядерной геофизики Института геофизики УрО РАН;
6. Чеботина Маргарита Яковлевна - доктор техн. наук, с.н.с. Института экологии растений и животных УрО РАН;
7. Щапов Вячеслав Анатольевич - канд. геол. - мин. наук, с.н.с. лаборатории ядерной геофизики Института геофизики УрО РАН;
8. Юрков Анатолий Константинович - канд. геол. - мин. наук, с.н.с. лаборатории ядерной геофизики Института геофизики УрО РАН.

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. РАДИАЦИЯ И ЖИЗНЬ	
1.1. Радиоактивность как явление природы	6
1.2. Понятие об ионизирующей радиации и дозах	7
1.3. Радиация, которая нас окружает	9
ГЛАВА 2. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА УРАЛЕ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ПРИРОДНЫМ ФОНОМ	
2.1. Эколого-радиогеохимические зоны Урала	12
2.2. Космическое излучение.....	16
2.3. Тропосферные выпадения	17
2.4. Горные породы и строительные материалы	18
2.5. Продукты питания и питьевая вода	19
2.6. Радон и радоновая проблема на Урале.	21
ГЛАВА 3. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В ЗОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНО - ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА	
3.1. Производственное объединение МАЯК	
3.1.1. Общая характеристика обстановки	29
3.1.2. Радиозоологическое состояние водоемов – отстойников и оз.Карачай	30
3.1.3. Загрязнение бассейна р.Теча	33
3.2. Белоярская атомная электростанция	39
ГЛАВА 4. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ПУНКТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	
4.1. Спецкомбинат "РАДОН"	43

	93
4.2. Государственное предприятие "Уралмонацит"	44
4.3. Зброшенный завод	48
4.4. Ключевской завод ферросплавов	50
4.5. Радиоактивное загрязнение г.Екатеринбурга	52
ГЛАВА 5. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА УРАЛЕ	
5.1. Тощие учения	55
5.2. Технологические ядерные взрывы	60
ГЛАВА 6. РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА КАК РЕЗУЛЬТАТ ЯДЕРНЫХ АВАРИЙ	
6.1. Восточно-Уральский радиоактивный след	
6.1.1. Описание аварии	64
6.1.2. ВУРС в Челябинской области	66
6.1.3. ВУРС в Свердловской области	71
6.2 Восточно-Чернобыльский след	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
Приложение 1	82
Приложение 2	86
Приложение 3	87
ЛИТЕРАТУРА	88
КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ	91

Научно-популярное издание
РАДИОАКТИВНЫЕ БЕДЫ УРАЛА

Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института геофизики
и НИСО Уральского отделения РАН
ЛР № 020764 от 24.04.98

Ответственный за выпуск М.Я. Чеботина

НИСО УрО РАН № 192(00) Подписано в печать 28.12.2000 Формат 60х84 1/16

Печать офсетная Бумага «Снегурочка» Усл.печ.л. 7,5

Уч.-изд.л. 8,0 Тираж 300 экз. Заказ №2

Институт геофизики УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

Типография ООО "ИРА УТК", 620219, Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42