

В.Г. Булгаков, С.М. Вакуловский,
И.И. Крышев, В.Д. Гниломедов, М.Н. Каткова,
В.Д. Уваров, О.Н. Полянская, В.Н. Яхрюшин,
Г.Б. Артемьев, А.А. Сапожникова, А.А. Бурякова

Мониторинг радиационной обстановки на территории России

Под редакцией В.М. Шершакова

2018

Содержание

Введение.....	4
Динамика техногенного радиационного фона.....	7
Дальний водный перенос радионуклидов	14
<i>Радиоактивное загрязнение реки Енисей</i>	<i>14</i>
<i>Перенос радиоактивных сбросов с промышленного предприятия</i> <i>Великобритании (Селлафилд)</i>	<i>16</i>
<i>Радиоактивное загрязнение морских вод в результате аварии на АЭС «Фукусима».....</i>	<i>18</i>
<i>Радиоэкологическое обследование Обь-Иртышской речной системы</i>	<i>18</i>
Аварии и инциденты на радиационных объектах.....	24
<i>Загрязненные территории в районе расположения ПО «Маяк»</i>	<i>24</i>
<i>Территории, загрязненные в результате аварии на Чернобыльской АЭС.....</i>	<i>25</i>
<i>Радиационный инцидент на заводе тяжелого машиностроения в г. Электросталь ..</i>	<i>27</i>
<i>Перенос радиоактивных аварийных выбросов АЭС «Фукусима-1».....</i>	<i>27</i>
Мирные ядерные взрывы – радиационные последствия для окружающей среды.....	32
<i>Взрывы в Мирнинском улусе Республики Саха (Якутия).....</i>	<i>32</i>
<i>Подземные ядерные взрывы в Пермском крае</i>	<i>38</i>
Мониторинг радиационной обстановки в районах расположения радиационных объектов.....	39
Радиационная обстановка на сухопутных территориях Арктики – глобальные радиационные уровни	44
Мониторинг радиационной обстановки в северных морях	47
Развитие методологии оценки экологических рисков по данным мониторинга радиацион- ной обстановки	56
Представление информации о радиационной обстановке	59
<i>Единая государственная автоматизированная система мониторинга</i> <i>радиационной обстановки – ЕГАСМРО.....</i>	<i>59</i>
<i>Межведомственная информационная система (МИС) «Радиационная</i> <i>безопасность населения Российской Федерации».....</i>	<i>61</i>
Заключение	64
Литература.....	66

Введение

С началом атмосферных испытаний ядерного и термоядерного оружия на отечественных и зарубежных полигонах в 1945–1953 годах радиоактивное загрязнение приобрело глобальный характер. Возникла необходимость контроля радиационной обстановки на всей территории СССР, а не только в районах испытаний.

С марта 1954 года на 120 метеостанциях начались регулярные наблюдения за атмосферными выпадениями радионуклидов с помощью горизонтальных планшетов по всей территории страны на базе сети метеостанций.

В феврале 1961 года Постановлением Правительства СССР была создана Общегосударственная радиометрическая служба на базе территориальных подразделений и научно-исследовательских институтов ГУГМС при Совете Министров СССР. Основу создаваемой Общегосударственной радиометрической службы составили метеостанции, метеопосты, гидрологические станции, морские обсерватории. Формированием Службы руководила Нина Константиновна Гасилина. Основными задачами Радиометрической службы были определены:

1. Организация систематических и оперативных наблюдений за состоянием радиоактивного загрязнения объектов природной среды.
2. Сбор, анализ, обобщение информации о состоянии радиоактивного загрязнения объектов природной среды и передача ее в директивные органы и заинтересованные ведомства.
3. Прогноз изменения радиационной обстановки и предупреждение о ее возможном ухудшении с целью оптимизации мер по защите здоровья населения.

Первый отчет, в котором были обобщены данные о радиоактивном загрязнении территории страны по результатам наблюдений на гидрометеостанциях и постах за II и III кварталы 1962 года был подготовлен под руководством Н.К. Гасилиной (рис. 1).

В отчете были приведены данные о суммарной бета-активности атмосферных аэрозольей, атмосферных выпадений и почвы [1]. Мониторинг каждого из этих объектов природной среды выполнялся разными научными организациями Росгидромета. В середине 1963 года было принято решение объединить методическое руководство радиационным мониторингом в одной организации. Выполнение этой задачи было возложено на заместителя директора Института прикладной геофизики Г.А. Середу. Ему было поручено организовать для выполнения научно-методического руководства радиометрической сетью подразделение ИПГ в г. Обнинске. Были созданы радиометрические лаборатории, проводившие регулярные наблюдения по единому регламенту и единым методическим указаниям.

К началу 70-х годов прошлого столетия на территории СССР велись наблюдения за мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) в 2 109 пунктах, за атмосферными выпадениями радиоактивных веществ – в 510 пунктах, за концентрацией

п/я. 48	ИНВ. № 18627
------------	--------------

Экз. № 5

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

Институт Прикладной Геофизики

«УТВЕРЖДАЮ»
ДИРЕКТОР ИИГ
ОКСИМЕНКО

Е.К. ФЕДОРОВ

«17» ноября 1962 г.

Отчет разнесен в десяти дес.
за ин. номер 520с. 1 на двести три
мбх. 28.XI.62. Захаров

Десетъ дес. взятъ на
инв. учет за №186с
29.XI.1962г. Ходунов

ИНВ 1962 г.
146

Серода Г.А.
Малахов С.Г.

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ
РАДИОАКТИВНЫМИ ПРОДУКТАМИ ДЕЛЕНИЯ УРАНА И ПЛУТОНИЯ.**

Обзор по материалам, поступившим в ГКАЗ и
ИИГ во II и III кварталах 1962 года.

ПРОТОВЫЙ ЛИСТ № 802
№ 1094с. 19.XI.62
23.XI.

Г. Обишук
1962г

Т. Захарова П.

Необходимо отпечатать
еще 10 экземпляров для рассылки
согласно указанию ГКАЗ/ИИГ
от 2.5.1962г.
29.12.62. В.Серов

ин. 40000.

Рис. 1. Титульный лист первого отчета о радиоактивном загрязнении территории страны по результатам наблюдений на гидрометеорологических станциях и постах (II и III кварталы 1962 года)

радиоактивных веществ в приземной атмосфере – в 86 пунктах, за содержанием ^{85}Kr – в трех пунктах, за содержанием ^{90}Sr – на 69 реках и озерах, за содержанием трития в атмосферных осадках и реках – в 40 пунктах, за содержанием ^{90}Sr на морях, омывающих территорию страны, – на 45 морских станциях.

В настоящее время научно-методическое руководство работой сети радиационного мониторинга (СРМ) сбор, анализ, обобщение и архивацию информации, получаемой на территориальном и региональном уровнях, осуществляет лаборатория «Научно-методического руководства сети радиационного мониторинга Росгидромета» Института проблем мониторинга окружающей среды ФГБУ «НПО «Тайфун» (ИПМ ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск).

По состоянию на начало 2017 г. количество пунктов наблюдения СРМ Росгидромета на территории Российской Федерации было следующим:

- 1277 – по измерению МАЭД;
- 360 – по отбору проб выпадений;
- 53 – по отбору проб аэрозолей;
- 32 – по отбору проб атмосферных осадков для определения содержания в них трития;
- 15 – по отбору проб воды из рек для определения содержания в них трития;
- 43 – по отбору проб воды из пресных водоемов для определения содержания в них ^{90}Sr ;
- 10 – по отбору проб морской воды для определения содержания в них ^{90}Sr ;
- 10 – по отбору проб морского грунта на содержание гамма-излучающих радионуклидов.

На СРМ Росгидромета работают 38 радиометрических групп и лабораторий. Из них 22 выполняют γ -спектрометрический анализ проб аэрозолей и атмосферных выпадений, 5 – радиохимический анализ и одна лаборатория (ФГБУ «НПО «Тайфун») выполняет определение трития и изотопов плутония.

Динамика техногенного радиационного фона

Наибольшее радиоактивное загрязнение окружающей среды, носившее глобальный характер, происходило в период испытаний ядерного оружия в атмосфере, начиная с первого наземного ядерного взрыва 16 июля 1945 года в США и заканчивая последним ядерным взрывом в атмосфере 18 октября 1980 года в Китае. Пик испытаний пришелся на середину 1960-х годов. В результате ядерных взрывов происходило загрязнение земной поверхности широким спектром радионуклидов. При этом долгоживущие техногенные радионуклиды, поступившие в результате ядерных испытаний, такие как ^{137}Cs , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{90}Sr , по-прежнему определяют фоновый уровень их содержания в окружающей среде. В период ядерных испытаний произошло глобальное загрязнение атмосферы на большую высоту. Сформировался «стратосферный резервуар» техногенных радионуклидов, влияние которого сказывалось на радиоактивном загрязнении приземного воздуха в течение долгого времени после прекращения ядерных испытаний в атмосфере [2].

К.П. Махонько – известный ученый в области ядерной геофизики, радиоэкологии и радиационного мониторинга природной среды. В системе Гидрометеорологической службы К.П. Махонько проработал 44 года. В Институте экспериментальной метеорологии (ИЭМ) – в должности от инженера до ученого секретаря, а с 1973 года – заведующим лабораторией радиоактивного загрязнения природной среды отдела ядерной геофизики ИЭМ. К.П. Махонько внес значительный вклад в организацию Государственной системы радиационного мониторинга и ее методологическое обеспечение.

На рисунке 2 показано распределение величины объемной $\Sigma\beta$ радионуклидов на разных высотах в тропосфере в июне 1974 года и в апреле–мае 1975 года над территорией СССР. Отчетливо выражено увеличение уровня загрязнения воздуха с высотой. Обращает внимание достаточно быстрое очищение тропосферы от загрязнения. Очищение воздуха стратосферы происходит медленнее.



Махонько
Константин Павлович
(23.02.1928 – 10.07.2002)

Он является автором более 280 печатных работ, в том числе двух монографий по вопросам методики радиационного мониторинга. Разработанное им «Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС» используется большинством организаций, занимающихся контролем радиационной обстановки вокруг радиационно опасных объектов.

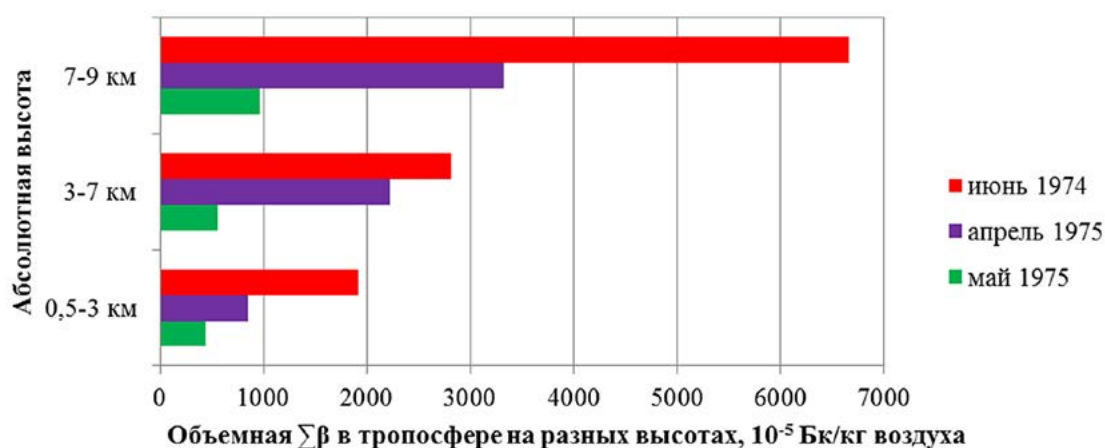


Рис. 2. Объемная $\Sigma\beta$ в тропосфере на разных высотах над территорией СССР в 1974–1975 годах, $\text{п} \cdot 10^{-5}$ Бк/кг воздуха

На рисунке 3 показана динамика загрязнения атмосферы β -излучающими радионуклидами в период ядерных испытаний и очищение приземного слоя атмосферы по мере истощения стратосферного резервуара. С середины 80-х годов прошлого столетия величина объемной $\Sigma\beta$ приблизилась к фоновому уровню ($15\text{--}20 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³), обусловленному в основном природными радионуклидами (осреднение по всем пунктам на территории СССР, а затем России, кроме мест локальных загрязнений).

На рисунке 4 приведена объемная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в приземной атмосфере и ^3H в атмосферных осадках в те же сроки (осреднение по всем пунктам на территории СССР, а затем России, кроме мест локальных загрязнений). Со времени начала регулярных наблюдений за радионуклидами в приземной атмосфере в 1954 году наблюдалось увеличение объемной активности этих радионуклидов по мере роста интенсивности испытаний ядерного оружия в атмосфере. Максимальных значений их активность достигла в 1963 году, концентрация ^{137}Cs составила $233 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³, ^{90}Sr – $146 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ и трития в атмосферных осадках – 219 Бк/л. Для ^{90}Sr и трития – это максимальные среднегодовые значения за весь период наблюдения. Более высокая среднегодовая активность ^{137}Cs наблюдалась в год аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году – $314 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Приближение концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в приземной атмосфере к техногенному фоновому уровню ($0,02\text{--}0,03 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ и $0,010\text{--}0,012 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ соответственно), наблюдаемому в настоящее время, так же как и объемной $\Sigma\beta$, произошло в середине 1980-х годов

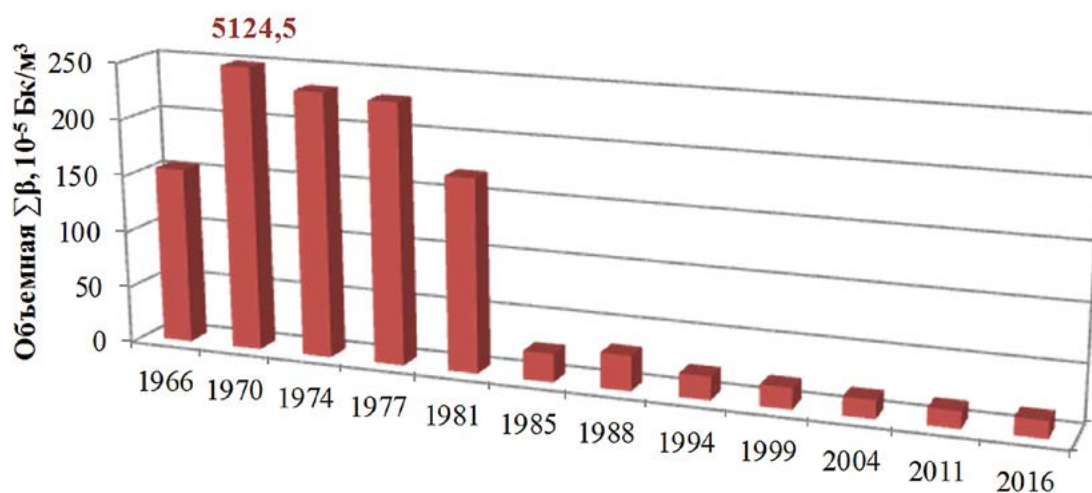


Рис. 3. Динамика объемной $\Sigma\beta$ в приземной атмосфере на территории СССР (по 1988 год) и РФ (с 1994 года), 10^{-5} Бк/м³

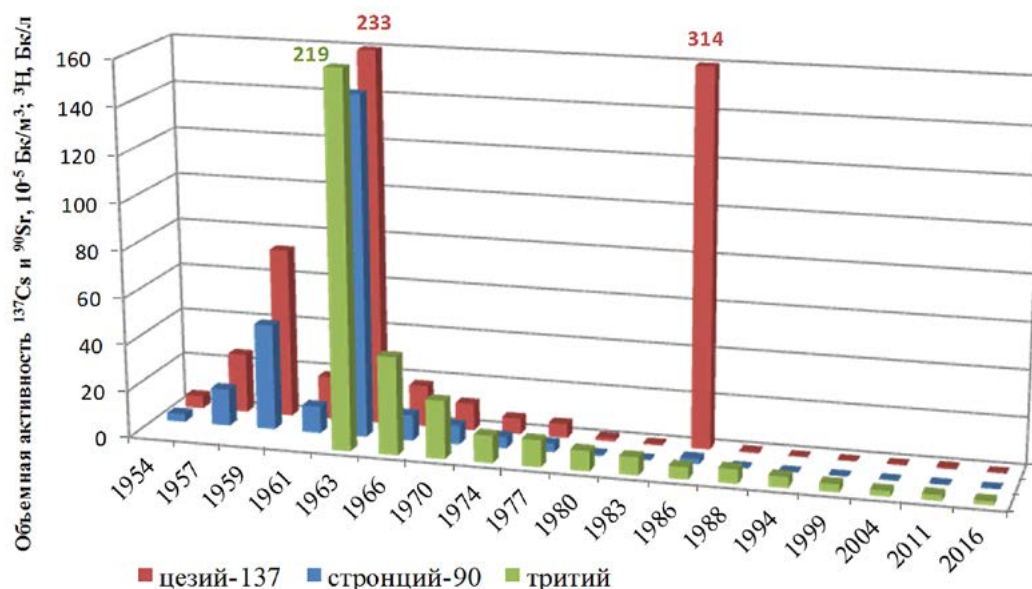


Рис. 4. Динамика объемной активности ^{137}Cs , ^{90}Sr в приземной атмосфере (10^{-5} Бк/м³) и трития в атмосферных осадках (Бк/л) на территории СССР (по 1988 год) и РФ (с 1994 года)

(за исключением ^{137}Cs в 1986 году), а трития в атмосферных осадках в 2004–2006 годах – до величины 1,5–2,5 Бк/л.

Тритий, помимо техногенных источников, имеет природный источник.

Систематические измерения содержания трития в атмосферных осадках в системе радиационного мониторинга Росгидромета (в ФГБУ «НПО «Тайфун») проводятся со второй половины 1969 года. В настоящее время на территории России расположены 32 пункта наблюдения [3].

На рисунке 5 приведены среднегодовые объемные активности трития в атмосферных осадках в 1970–2017 годах в среднем по территории России. Отчетливо выделяются периоды непосредственного обогащения тропосферы техногенным тритием в результате испытаний ядерного оружия (по 1981 год) и вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (1986 год).

Изучение слоев льда разного возраста в ледниках Антарктиды и Гренландии позволили определить фоновые концентрации трития в доядерный и ранний ядерный периоды.

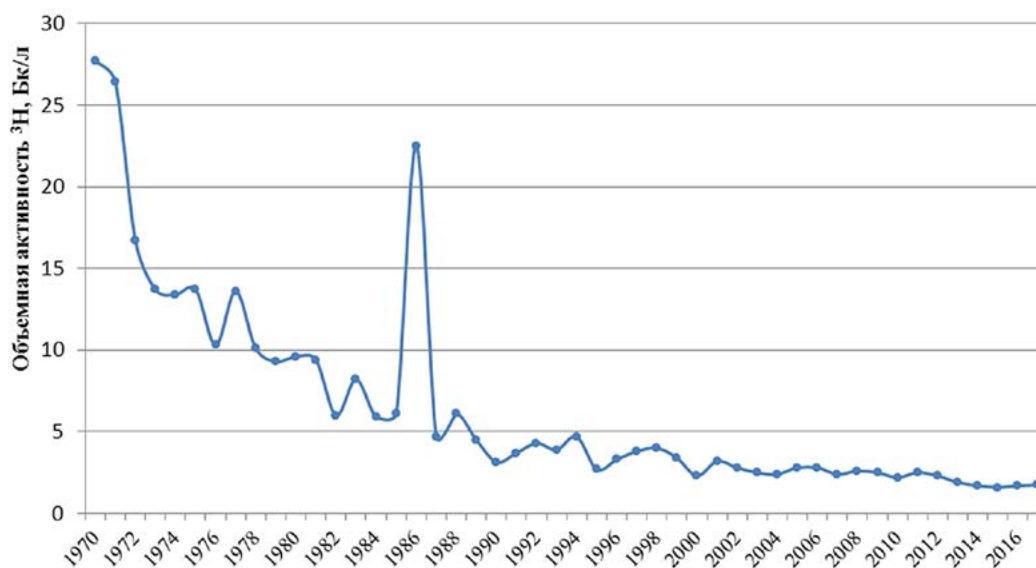


Рис. 5. Среднегодовая объемная активность трития (^3H) в атмосферных осадках на территории России в 1970–2017 годах

Так, в Антарктиде в слоях, образовавшихся в 1929–1942 годах, содержание трития колебалось от 2,16 до 5,5 Бк/л со средним значением 3,8 Бк/л [4], а в слоях 1929–1950 годов во льду Гренландии была зафиксирована концентрация трития около 7,2 Бк/л [5].

В начале 1990-х годов концентрация трития в атмосферных осадках колебалась от 3,7 до 4,7 Бк/л. В дальнейшем происходило уменьшение концентрации, и с 2013 года его средняя по России активность в атмосферных осадках (по 32 пунктам наблюдения) лежит в диапазоне 1,5–2,0 Бк/л.

В соответствии с понижением активности трития в атмосферных осадках происходило уменьшение его концентрации в поверхностных водах. На рисунке 6 приведены среднегодовые значения объемной активности трития в атмосферных осадках и речной воде по данным с 15 пунктов наблюдения на территории России.

Хорошо выражена общая тенденция снижения активности трития за представленный период. В 2016 году активность трития в осадках и речной воде составила 1,74 и 1,70 Бк/л соответственно.

Иная динамика в атмосфере наблюдается у радиоактивного изотопа инертного газа криптона – ^{85}Kr (период полураспада 10,76 лет), который накапливается в атмосфере. Потенциальное воздействие ^{85}Kr связано с возможностью увеличения электропроводности атмосферы. Вклад ^{85}Kr в облучение населения незначителен [6].

В Советском Союзе регулярные измерения содержания ^{85}Kr в приземном воздухе осуществлялись в 1971–1995 годах в Новомосковске (Тульская обл.), Череповце (Вологодская обл.) и в Ереване. Наблюдения выполнялись Московским инженерно-физическим институтом (МИФИ) и Институтом экспериментальной метеорологии (ИЭМ) [7].

В настоящее время практически весь ^{85}Kr в земной атмосфере обусловлен выбросами промышленных предприятий, ведущих переработку отработавшего ядерного топлива. Концентрация ^{85}Kr в воздухе на европейской территории России составляет около 1,5 Бк/м³. На основе прогноза содержание ^{85}Kr в воздухе к 2030 году возрастет до 3 Бк/м³ [8].

Систематические наблюдения за активностью изотопов плутония в атмосфере на сети радиационного мониторинга Росгидромета выполняются в Обнинске с 1992 года и Курске с 1997 года. В 1992–1996 годах такие наблюдения выполнялись в Брянске для определения влияния территорий, загрязненных плутонием в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

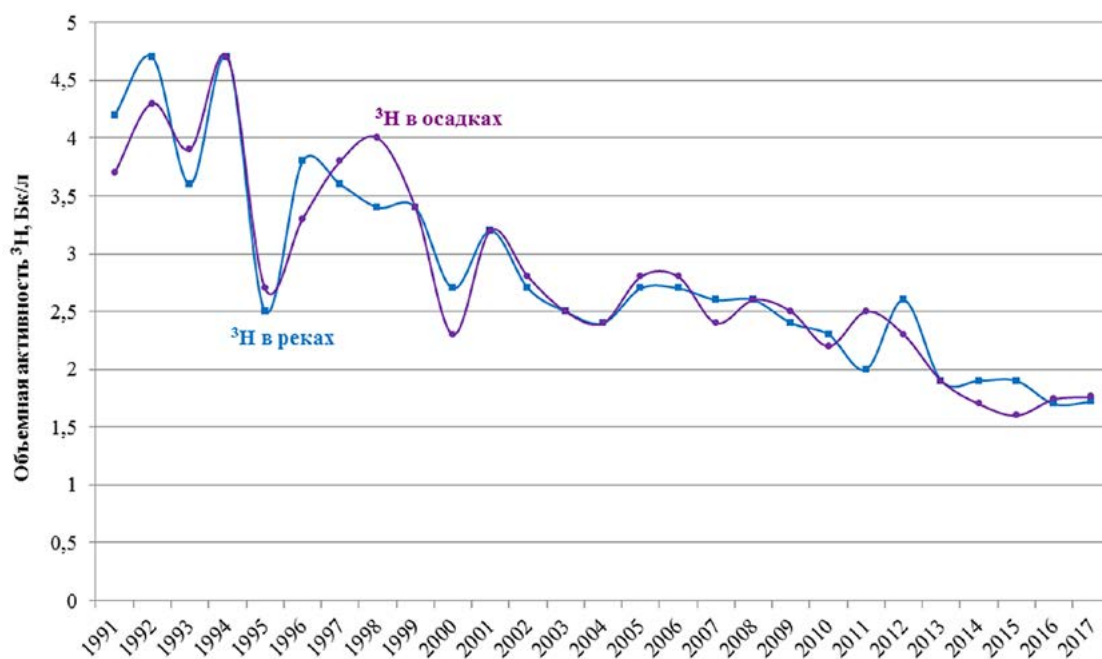


Рис. 6. Среднегодовая объемная активность трития в атмосферных осадках и речных водах на территории России в 1991–2017 годах

Определяются ^{238}Pu (период полураспада 87,7 лет) и сумма ^{239}Pu и ^{240}Pu (период полураспада $2,41 \cdot 10^4$ и $6,54 \cdot 10^3$ лет соответственно).

Основное количество плутония было выброшено в окружающую среду в результате ядерных взрывов в атмосфере. Общая активность техногенного плутония оценивается в 14 600 ТБк, из них 13 000 ТБк составляет вклад испытаний ядерного оружия. Природный ^{239}Pu образуется в пренебрежимо малых количествах в урановой руде.

Максимальное выпадение $^{239+240}\text{Pu}$ наблюдалось в 1963 году после крупномасштабных ядерных испытаний в 1961–1962 годах [9]. По окончании ядерных испытаний в атмосфере продолжалось выпадение плутония из стратосферного резервуара, сформировавшегося в ходе испытаний [10]. К середине 1980-х годов содержание изотопов плутония в атмосферном воздухе в основном определялось вторичным ветровым подъемом.

С целью оценки глобального фона изотопов плутония в воздухе в ФГБУ «НПО «Тайфун» были выполнены измерения их объемной активности в пунктах наблюдения, удаленных от локальных источников, на что указывают низкие уровни активности техногенных радионуклидов в воздухе, в частности ^{137}Cs . Пробы аэрозолей были отобраны в г. Ухта, Республика Коми, и на о. Диксон в Карском море.

Концентрация плутония в этих пунктах находится на пределе обнаружения методики анализа и требует длительной экспозиции для определения. На о. Диксон во втором полугодии 2015 года объемная активность ^{238}Pu составила $0,075 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³, а $^{239+240}\text{Pu}$ – $0,14 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³, а их отношение равно 0,5. В г. Ухта активность ^{238}Pu была $0,26 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³, а $^{239+240}\text{Pu}$ – ниже порога обнаружения.

Наибольшее поступление изотопов плутония в окружающую среду после прекращения испытаний ядерного оружия в атмосфере произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

По результатам разовых измерений, выполненных в 1987–1989 годах в Чернобыле, к 1989 году объемная активность изотопов плутония в приземной атмосфере уменьшилась на три порядка. Отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ колеблется в диапазоне 0,5–0,7 (рис. 7).

В районах, находящихся под влиянием ветрового переноса радиоактивных аэрозолей с загрязненных территорий, до настоящего времени наблюдаются повышенные значения объемной активности изотопов плутония в воздухе. Регулярные наблюдения за концентрацией изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в приземном слое атмосферы проводились в 1992–1996 годах в Брянске, расположенном по направлению господствующих ветров с загрязненных

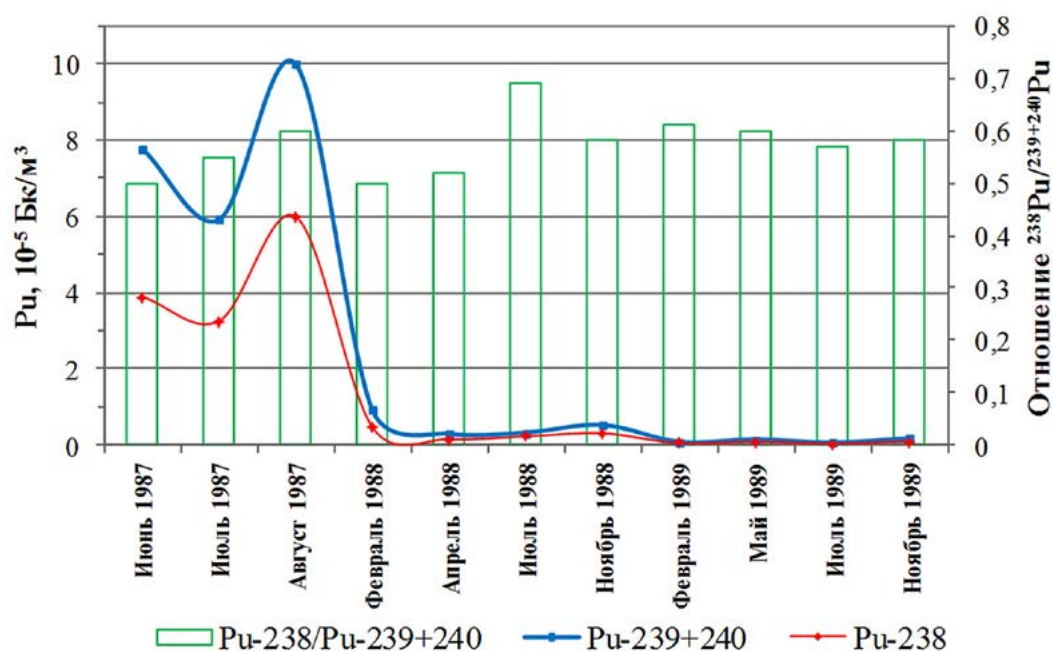


Рис. 7. Концентрация изотопов плутония в приземном слое атмосферы города Чернобыля (10^{-5} Бк/м³) и отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в 1987–1989 годах

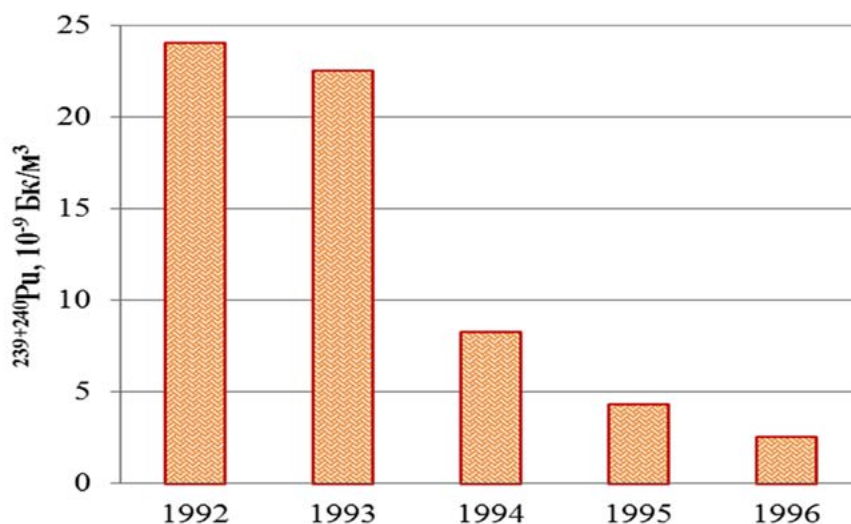


Рис. 8. Среднегодовая объемная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в приземном слое атмосферы Брянска в 1992–1996 годах, 10^{-9} Бк/м³

западных районов Брянской области (рис. 8). За этот период среднегодовая объемная активность изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ уменьшалась от $24,1 \cdot 10^{-9}$ до $2,5 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³, что лежит в пределах средних значений для центральных районов европейской территории России.

С 1996 года наблюдения за изотопами плутония были перенесены в г. Курск, который, как и Брянск, находится под влиянием господствующих ветров с загрязненных территорий и лежит в пределах 100-км зоны Курской АЭС. Такое расположение пункта наблюдения позволяет контролировать не только влияние загрязненных территорий на величину объемной активности изотопов плутония в воздухе, но и их возможное присутствие в выбросах АЭС.

Среднегодовые объемные активности ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в приземном воздухе в Курске, показывают наличие дополнительного источника, помимо ветрового подъема (рис. 9). Величина объемной активности ^{238}Pu увеличилась в 2015 году в 14,4 раза по сравнению с 2014 г. – от $0,8 \cdot 10^{-9}$ до $11,5 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³. При этом отношение объемных активностей ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ изменилось от 0,2–0,4 – в предшествующие годы – до 2,0 в 2015 г. Еще более высокое отношение концентраций этих изотопов было во втором квартале 2015 года – 3,4 при величинах объемных активностей $42,6 \cdot 10^{-9}$ и $12,6 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³ соответственно.

Достаточно устойчивое соотношение изотопов плутония в 2008–2014 годах свидетельствует о преобладающем влиянии вторичного ветрового подъема с загрязненных территорий, где оно имеет устойчивую величину, на содержание изотопов плутония в воздухе Курска. Резкое увеличение соотношения изотопов плутония в 2015 году, наряду с увеличением их объемной активности, свидетельствует о преобладающем влиянии другого источника. В данном случае это – скорее всего, Курской АЭС.

В настоящее время наиболее значительные выбросы плутония в окружающую среду осуществляют радиохимические предприятия. Среднегодовые значения объемной активности изотопов плутония в воздухе района расположения ПО «Маяк» (пос. Новогорный) изменяются в широких пределах: ^{238}Pu – от $190 \cdot 10^{-9}$ до $2300 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³, $^{239+240}\text{Pu}$ – от $120 \cdot 10^{-9}$ до $890 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³. Отношение среднегодовой объемной активности ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе в рассматриваемый период колеблется от 0,6 в 2007 году до 2,6 в 2012 году (рис. 10).

Уровни объемной активности изотопов плутония в г. Обнинске, где находятся непромышленные ядерные реакторы, на два-три порядка величины ниже и лежат в диапазоне $3 \cdot 10^{-9}$ – $37 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³.

Уровень глобального фона радиоизотопов плутония в воздухе, по данным пункта наблюдения в арктической зоне (о. Диксон), не превышает $0,5 \cdot 10^{-9}$ Бк/м³.

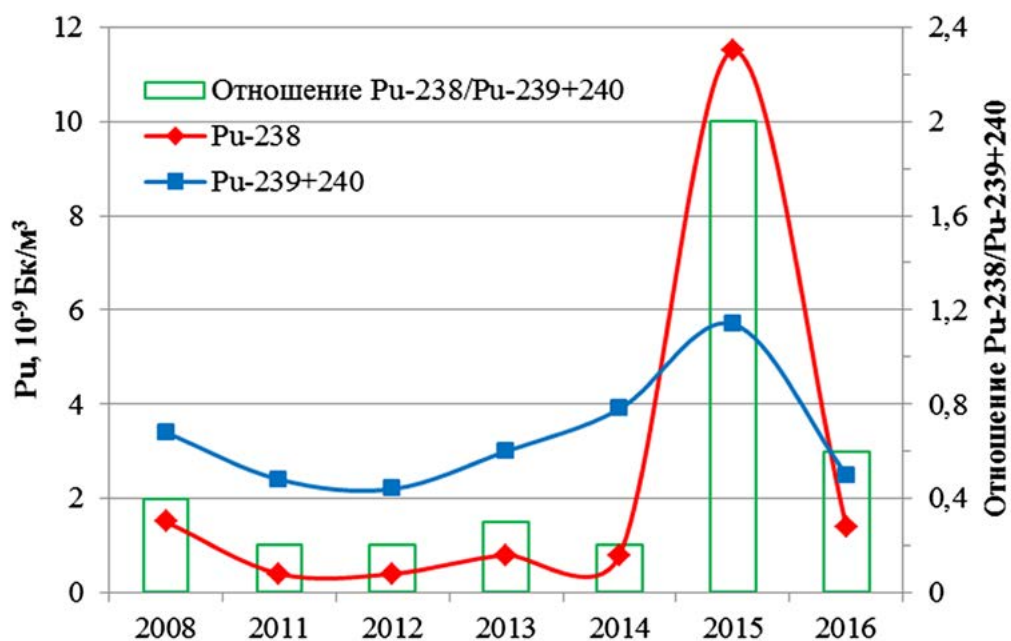


Рис. 9. Среднегодовая объемная активность ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе Курска и отношение $\text{Pu-238}/\text{Pu-239+240}$ в 2008 и 2011–2015 годах

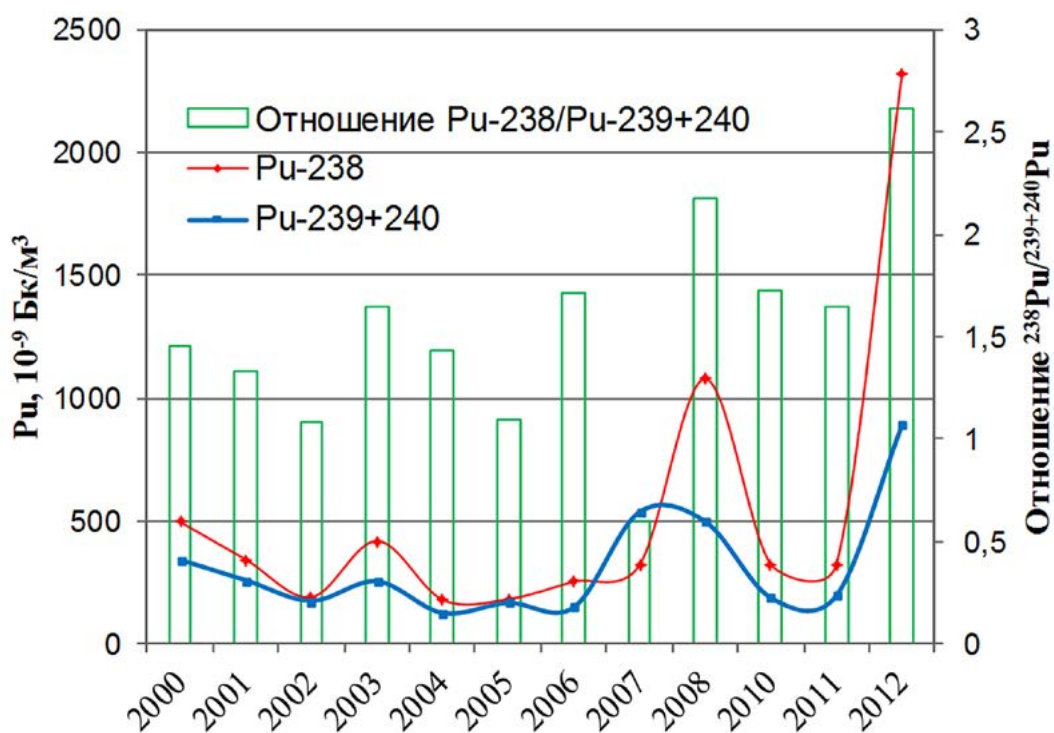


Рис. 10. Среднегодовая объемная активность ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в атмосферном воздухе пос. Новогорный (ПО «Маяк») и отношение $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ в 2000–2012 годах

Наблюдаемая объемная активность изотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в приземном слое атмосферы Обнинска, Брянска, Курска на 6–7 порядков, а в районе ПО «Маяк» – на 3–4 порядка ниже величины допустимой объемной активности для населения по Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009, равной $2,5 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ [11].

Дальний водный перенос радионуклидов

Радиоактивное загрязнение реки Енисей

В 1971 году специалисты НПО «Тайфун» при обследовании шельфа Карского моря обнаружили присутствие ^{54}Mn , ^{65}Zn и повышенных уровней ^{137}Cs . Проведенные в 1973 году детальные обследования загрязнения воды, донных отложений и пойменных почв в Енисее, установили, что источником радиоактивного загрязнения были сбросы технологических вод Красноярского ГХК, расположенного на расстоянии около 2 000 км от устья [12].

На рисунке 11 показаны активности ^{137}Cs на разном расстоянии от места сброса технологических вод Красноярского ГХК вниз по долине в речной воде (10^{-6} Бк/л), донных отложениях (10^{-7} Бк/кг) и пойменных почвах (10^{-9} Бк/м²). Обращает на себя внимание сохранение уровня активности ^{137}Cs в речной воде по мере удаления от места сброса. На расстоянии от 600 до 1 700 км его величина колеблется в диапазоне $(300\text{--}370) \cdot 10^{-6}$ Бк/л.

В донных отложениях на расстоянии 1 930 км от места сброса загрязненных вод активность ^{137}Cs составляла $7 \cdot 10^{-7}$ Бк/кг.

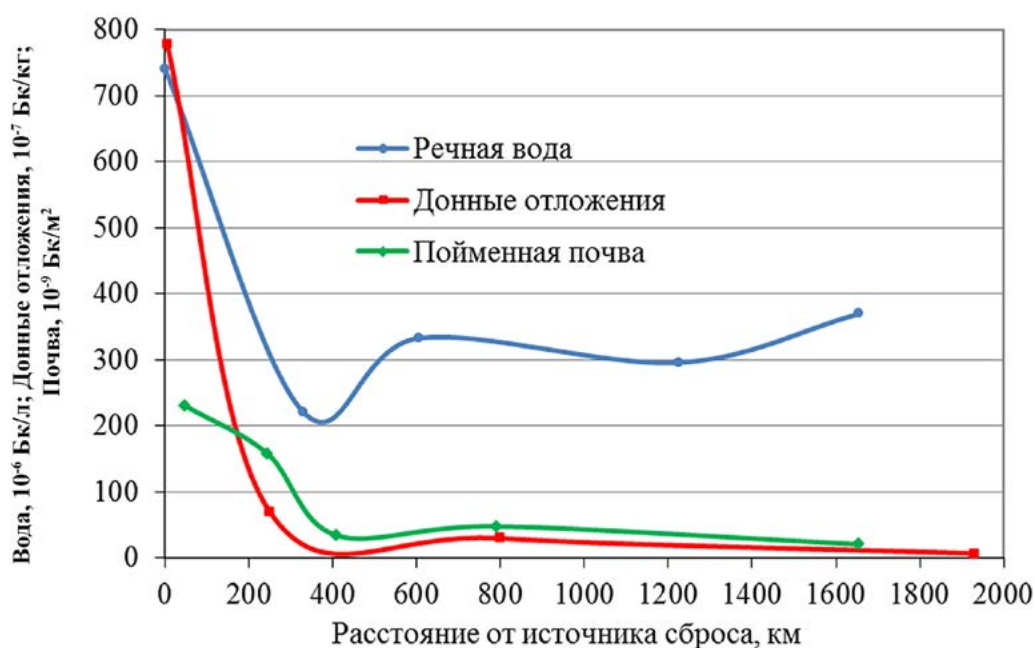


Рис. 11. Содержание ^{137}Cs в речной воде, донных отложениях в р. Енисей и пойменной почве в его долине на разном удалении от места сброса технологических вод Красноярского ГХК по данным исследований 1973 года

Представленные в таблицах 1–3 результаты исследования радиоактивного загрязнения объектов долины р. Енисей показали, что почва поймы, донные отложения, речная вода содержали радиоактивные изотопы, источником которых были технологические воды Красноярского ГХК.

Таблица 1

**Радионуклиды в донных отложениях р. Енисей в августе 1973 года
(10^{-7} Бк/кг сухого веса)**

Изотопы	Расстояние от точки сброса технологических вод ГХК (км)			
	6	250	800	1930
^{46}Sc	555	55,5	5,18	–
^{51}Cr	2590	–	–	–
^{54}Mn	370	70,3	4,07	–
^{58}Co	333	70,3	5,92	–
^{60}Co	740	62,9	8,14	–
^{59}Fe	666	21,09	–	–
^{65}Zn	2497,5	418,1	40,7	1,11
^{134}Cs	240,5	4,07	0,185	–
^{137}Cs	777	70,3	29,97	7,03
^{144}Ce	185	251,6	5,92	–
^{152}Eu	370	30,71	5,18	–
^{154}Eu	111	5,92	–	–

Таблица 2

Концентрация изотопов в воде р. Енисей в августе 1973 года (10^{-6} Бк/л)

Изотоп	Расстояние от точки сброса технологических вод ГХК (км)				
	1	329	605	1225	1655
^{137}Cs	740	222	333	296	370
^{90}Sr	7400	1591	1554	1554	1480
^{51}Cr	1480000	88800	33300	14800	–
^{65}Zn	74000	4440	3515	2405	1665
^{60}Co	31820	–	–	–	–
^{54}Mn	8510	–	–	–	–
^{152}Eu	11100	–	–	–	–

Таблица 3

Радионуклиды в почве поймы и островов р. Енисей в августе 1973 года (10^{-9} Бк/м²)

Изотоп	Расстояние от точки сброса технологических вод ГХК (км)				
	48	245	409	791	1655
^{137}Cs	230,88	157,99	34,41	48,1	21,09
^{65}Zn	0,9435	3,4854	0,851	0,037	0,0296
^{54}Mn	0,1221	0,5772	0,1258	0,0074	0,0037
^{58}Co	0,1628	0,2072	0,037	–	–
^{60}Co	0,4662	1,221	0,1924	0,0259	0,0037
^{59}Fe	0,111	0,2294	–	–	–
^{152}Eu	0,2442	0,7326	0,111	0,0481	0,0296
^{154}Eu	0,0592	0,2035	0,0259	–	–
^{46}Sc	0,0518	0,1998	0,1036	–	–

Результаты исследований загрязнения Енисея были одним из аргументов принятия решения об остановке промышленных реакторов ГХК в 1991 году, что привело в последующие годы к существенному улучшению радиационной обстановки в долине реки.

Важным научным результатом этих исследований для развития мониторинга радиоактивного загрязнения поверхностных вод было доказательство возможности водной миграции радионуклидов на большие расстояния.

Перенос радиоактивных сбросов с промышленного предприятия Великобритании (Селлафилд)

В 1973 году сотрудники экспедиции НПО «Тайфун» во время обследования морей, омывающих Европейский континент, выявили повышенные уровни содержания ^{137}Cs в воде Ирландского моря – 2,4 Бк/л, которые превысили глобальные уровни содержания этого изотопа в других морях. Кроме ^{137}Cs в пробах морской воды был впервые в мире обнаружен ^{134}Cs , отсутствующий в глобальных радиоактивных выпадениях.

Наличие этих двух изотопов с разными периодами полураспада, по изменению их соотношения, дало возможность доказать, что источником радиоактивности являются радиоактивные сбросы с предприятий Великобритании в Ирландское море, и определить время водного переноса, которое составило 5–6 лет. Радиоактивный сброс наиболее значительным был в 70–80-е годы прошлого столетия [13].

За 5–6 лет через Северное море и вдоль норвежских берегов радиоактивные вещества достигали Баренцева и Карского морей. В 1982 году экспедиция сотрудников НПО «Тайфун» обследовала акватории Баренцева, Карского и Гренландского морей. Результаты этих исследований представлены на рисунке 12 [13].

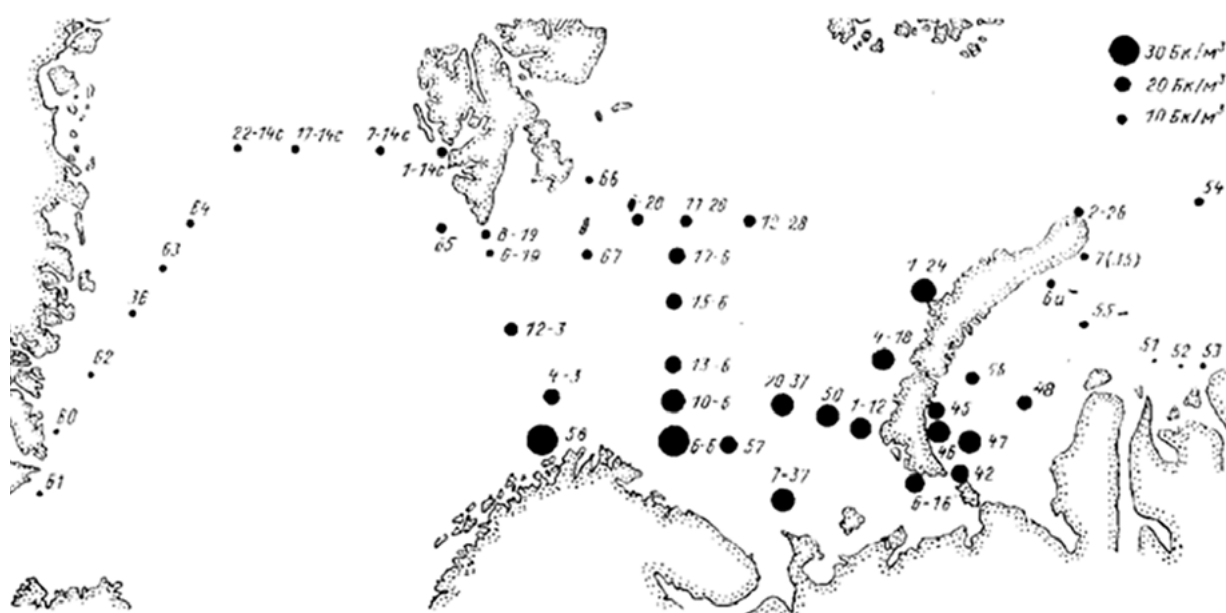


Рис. 12. Расположение станций отбора проб и распределение концентраций ^{137}Cs в поверхностных водах Баренцева, Карского и Гренландского морей в 1982 году (цифры у точек означают номер пробы; диаметр кружка пропорционален концентрации)

По результатам этой экспедиции было оценено количество ^{137}Cs , поступавшего в Баренцево море с ветвью Гольфстрима вдоль берегов Норвегии, которое составило 0,9 ПБк, что составило 20 % от общего сброса ^{137}Cs в Ирландское море. Присутствие радиоактивных веществ отходов Селлафилда было также зарегистрировано в водах Белого моря и Северного Ледовитого океана [14].

В воды Баренцева моря кроме глобальных выпадений и дальнего переноса из Ирландского моря техногенные радионуклиды поступали с речным стоком и за счет сброса жидких радиоактивных отходов в специально выбранные районы моря, проводившиеся в 1968–1992 годах. Оценки вклада каждого источника представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Поступление техногенных радионуклидов в Баренцево море
в 1961–2000 годах (ТБк)**

Источник	Годы					Вклад источника, %
	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	1961–2000	
Атмосферные выпадения $^{90}\text{Sr}+^{137}\text{Cs}$	1800	160	230	18	2210	18
Речной сток $^{90}\text{Sr}+^{137}\text{Cs}$	120	55	36	16	230	1,8
Перенос морскими течениями $^{90}\text{Sr}+^{137}\text{Cs}$	250	3100	5800	150	9300	75,6
Сбросы ЖРО в море $^{90}\text{Sr}+^{137}\text{Cs}+^{60}\text{Co}$	83	165	310	1,6	560	4,6
Сумма от всех источников	2253	3480	6376	185,6	12300	100

Таким образом, основным источником радиоактивного загрязнения являлся дальний перенос морскими течениями, на долю которого приходилось более 75 %. Сбросы жидких радиоактивных отходов в выбранных районах моря и речной сток в сумме составили 6,4 %.

Регулярные наблюдения за содержанием техногенных радионуклидов в Баренцевом море были начаты с 1963 года. На рисунке 13 представлены данные систематических наблюдений за содержанием ^{137}Cs и ^{90}Sr в поверхностных водах Баренцева моря в 1963–2014 годах [15].

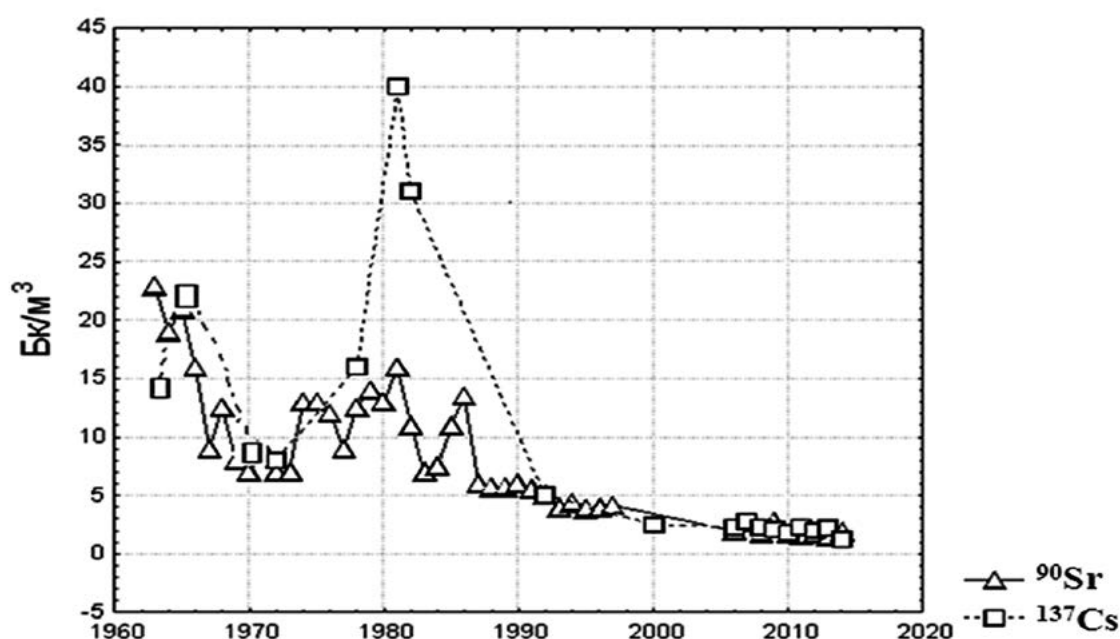


Рис. 13. Содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде Баренцева моря в 1963–2014 годах

Наблюдаются два периода повышенных содержаний этих радионуклидов. Первый период приходится на середину 1960-х годов и очевидно связан с наибольшей величиной атмосферных выпадений, вызванных максимальным количеством испытаний ядерного оружия в этот период. Второй период повышенных содержаний приходится на 70–80-е годы и соответствует времени наиболее высоких объемов сброса с предприятия в Селлафилде (рис. 13, табл. 4).

В настоящее время содержание ^{90}Sr в Баренцевом море находится на уровне 1,5–2,5 мБк/л.

Радиоактивное загрязнение морских вод в результате аварии на АЭС «Фукусима-1»

В соответствии с решением Росгидромета об оценке радиоактивного загрязнения воды и воздуха в Японском море и Курило-Камчатском районе Тихого океана в связи с аварией на японской АЭС «Фукусима-1» (11 марта 2011 года) в период с 22 апреля по 20 мая 2011 года под патронажем Русского географического общества на НИС «Павел Гордиенко» (87-й рейс) ФГБУ «ДВНИГМИ» Росгидромета, сотрудниками НПО «Тайфун» были проведены экспедиционные исследования в Японском море и северо-западной части Тихого океана (в районе, примыкающем к Курильским островам, а также на северной границе течения Куроисио напротив острова Хоккайдо) [16].

В ходе рейса постоянно регистрировалась мощность дозы гамма-излучения, отбирались пробы морской воды по маршруту судна, проводился непрерывный мониторинг содержания радионуклидов в атмосфере.

Мощность дозы гамма-излучения над поверхностью морской воды во время проведения рейса находилась в пределах 0,03–0,08 мкЗв/ч, в среднем составляя 0,07 мкЗв/ч. Эти значения ниже типичного для России среднего уровня 0,10–0,12 мкЗв/ч над поверхностью земли.

Проводились оперативные бортовые измерения активности ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs в атмосферных аэрозолях, максимальные значения составили $4 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³, $29 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ и $32 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³ соответственно. Они были зарегистрированы вблизи побережья Японии при прохождении Сангарского пролива и в северо-западной части Тихого океана напротив острова Хоккайдо. Эти радионуклиды были основными дозообразующими γ -излучателями в выбросах АЭС «Фукусима-1».

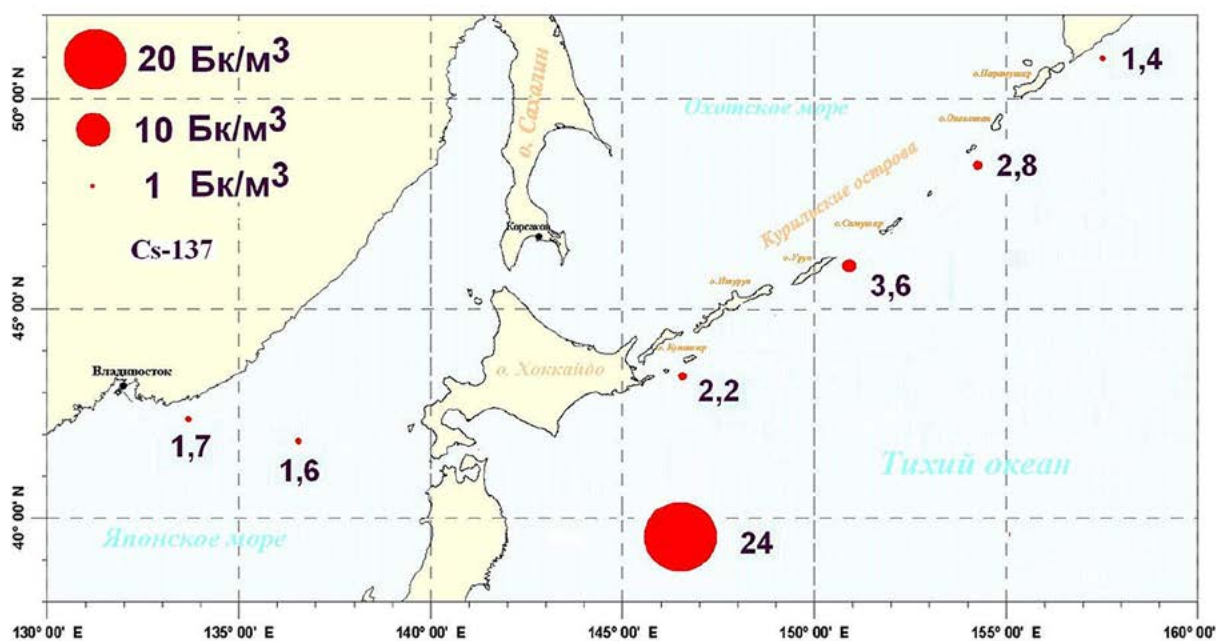
В рейсе выполнялся отбор проб морской воды для определения активности ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu и трития. В течение рейса всего было отобрано 29 проб морской воды с различных горизонтов (от поверхности до глубины 250 м). Присутствие ^{134}Cs (являющегося индикатором «фукусимского» загрязнения) и ^{137}Cs в морской воде в ходе бортовых измерений было зарегистрировано практически во всех точках отбора проб по маршруту судна (рис. 14). Наибольшие значения объемной активности этих радионуклидов в морской воде были зарегистрированы в северо-западной части Тихого океана на северной границе течения Куроисио примерно в 400 км от аварийной АЭС (20–30 Бк/м³). Результаты бортовых измерений позволили определить, что продукты аварии на АЭС «Фукусима-1» поступали в глубинные слои воды на глубине около 50–100 м.

Содержание ^{90}Sr в морской воде исследованных районов (слой 0–100 м) находилось в интервале 0,7–2,4 Бк/м³, что соответствует диапазону регионального техногенного фона. Объемные активности трития в воде (слой 0–100 м) составили 0,5–2,4 кБк/м³. Содержание изотопов плутония ($^{239+240}\text{Pu}$) в морской воде в большинстве случаев также соответствовало региональному техногенному фону – 7–58 мБк/м³ для растворенной фракции и 0,1–1,1 мБк/м³ на взвеси.

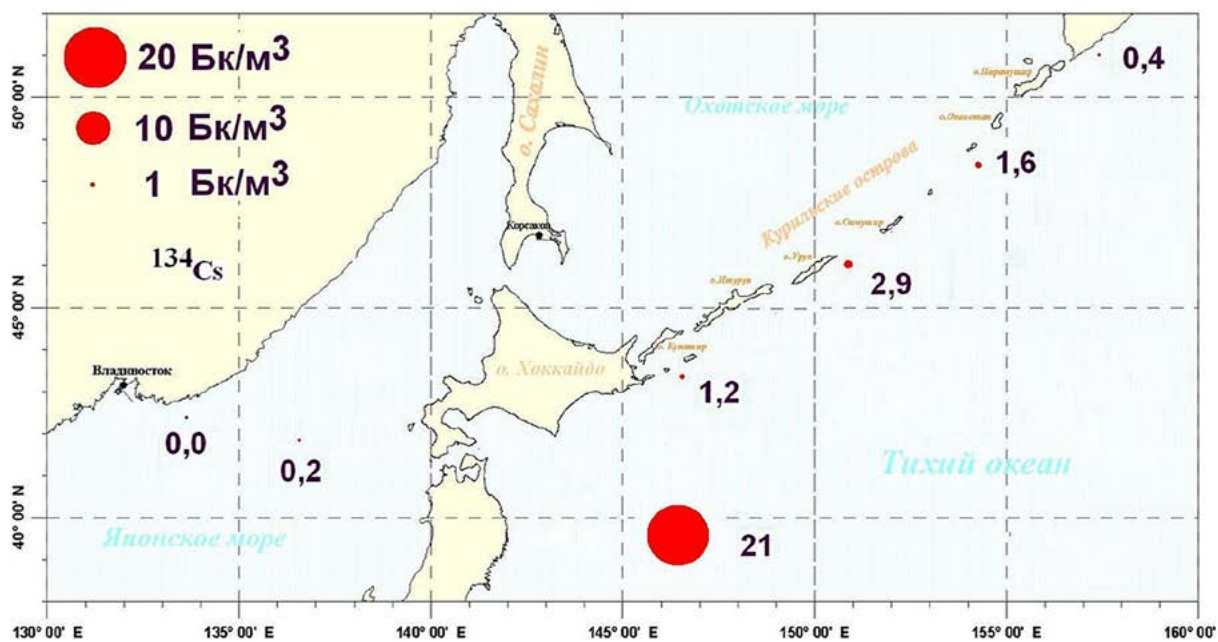
Радиоэкологическое обследование Обь-Иртышской речной системы

В 2004–2006 годы под руководством А.И. Никитина специалистами НПО «Тайфун» Росгидромета совместно с Институтом проблем экологии и эволюции РАН и Тобольской биологической станцией РАН были проведены радиоэкологические наблюдения за содержанием радионуклидов на участке речной системы Теча–Обь протяженностью свыше 1000 км, включая реки Тобол и Иртыш [17–18].

В ходе комплексного радиоэкологического обследования было определено содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и трития в компонентах речной экосистемы, выполнены



А)



Б)

Рис. 14. Пространственное распределение ^{137}Cs (А) и ^{134}Cs (Б) в поверхностных водах в период с 24 апреля по 6 мая 2011 года (по результатам оперативной бортовой гамма-спектрометрии)



**Никитин
Александр Иванович**
(1947–2014)

Выдающийся ученый в области радиационного мониторинга окружающей среды, доктор наук, главный научный сотрудник НПО «Тайфун» (г. Обнинск, Россия). Работы А.И. Никитина внесли основополагающий вклад в изучение радиоактивного загрязнения морей Арктики и Дальнего Востока, речной системы Обь-Иртышского бассейна, водных объектов, загрязненных в результате Чернобыльской аварии. Имел многолетний опыт международной деятельности, являлся экспертом программы АМАП. С 1992 г. работал в составе российско-норвежских морских экспедициях по изучению радиоактивного загрязнения морской среды в районах захоронения радиоактивных отходов в Карском и Баренцевом морях, неоднократно являлся их научным руководителем.

разработка и тестирование по данным наблюдений радио-экологической модели миграции радионуклидов в изучаемой речной системе, выполнены оценки интегрального радиационного состояния рек и экологического риска.

В сентябре 2004 года был обследован участок речной системы от района слияния р. Исеть с р. Тобол до района слияния р.Иртыш с р.Обь (рис. 15).

Были отобраны пробы речной воды для определения объемных активностей ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ и трития в речной воде; колонки донных отложений, керны пойменных почв и пробы биоты для γ -спектрометрического и радиохимического анализов. В августе 2005 года подобное опробование было выполнено в дополнительных створах, при этом наиболее детальные радиоэкологические исследования были проведены в районе верхнего течения р. Теча и на реке Иртыш.

На рисунке 16 приведены данные по динамике объемной активности ^{90}Sr в речной воде в зависимости от расстояния точки отбора на р. Тобол от впадения р. Исети до слияния с р. Иртыш. Видно, что объемная активность ^{90}Sr снижается по мере приближения к месту слияния с р. Иртыш.

Измеренные концентрации ^{90}Sr в воде р. Тобол перед ее впадением в р. Иртыш и по левому берегу р. Иртыш ниже впадения р. Тобол (31–235 мБк/л) были на порядок выше фонового уровня для рек России. При этом в р. Иртыш выше впадения р. Тобол наблюдался практически фоновый уровень содержания ^{90}Sr в воде.

Результаты определения содержания ^{90}Sr показали, что на участке по левому берегу р. Иртыш ниже впадения р. Тобол (5 км ниже устья р. Тобол) полного перемешивания вод рек Тобол и Иртыш нет – концентрации радионуклида по левому берегу р. Иртыш на этом расстоянии от устья р. Тобол практически совпали с концентрациями в р. Тобол.

Измеренные концентрации ^{137}Cs находились в фоновом диапазоне по всем точкам наблюдения, однако по тритию имело место небольшое превышение концентраций в точках наблюдения на р. Тобол и по левому берегу р. Иртыш над концентрациями в воде р. Иртыш в фоновой точке выше впадения р. Тобол. Наиболее заметны сезонные изменения в удельной активности ^{90}Sr .

Согласно данным радиационного мониторинга превышение уровня вмешательства (УВ) в настоящее время наблюдается только для удельной активности ^{90}Sr в воде реки Теча. Превышение фонового уровня ^{90}Sr в речной воде наблюдается на расстоянии более 1000 км, вплоть до впадения Иртыша в реку Обь [17–18]. Причиной образования этого «стронциевого» следа являются в основном радиоактивные сбросы ПО «Маяк» в р. Теча в начальный период его деятельности (1949–1956 годы).



Рис. 15. Расположение створов отбора проб во время экспедиционного обследования радиоактивного загрязнения речной системы в сентябре 2004 г. [18]

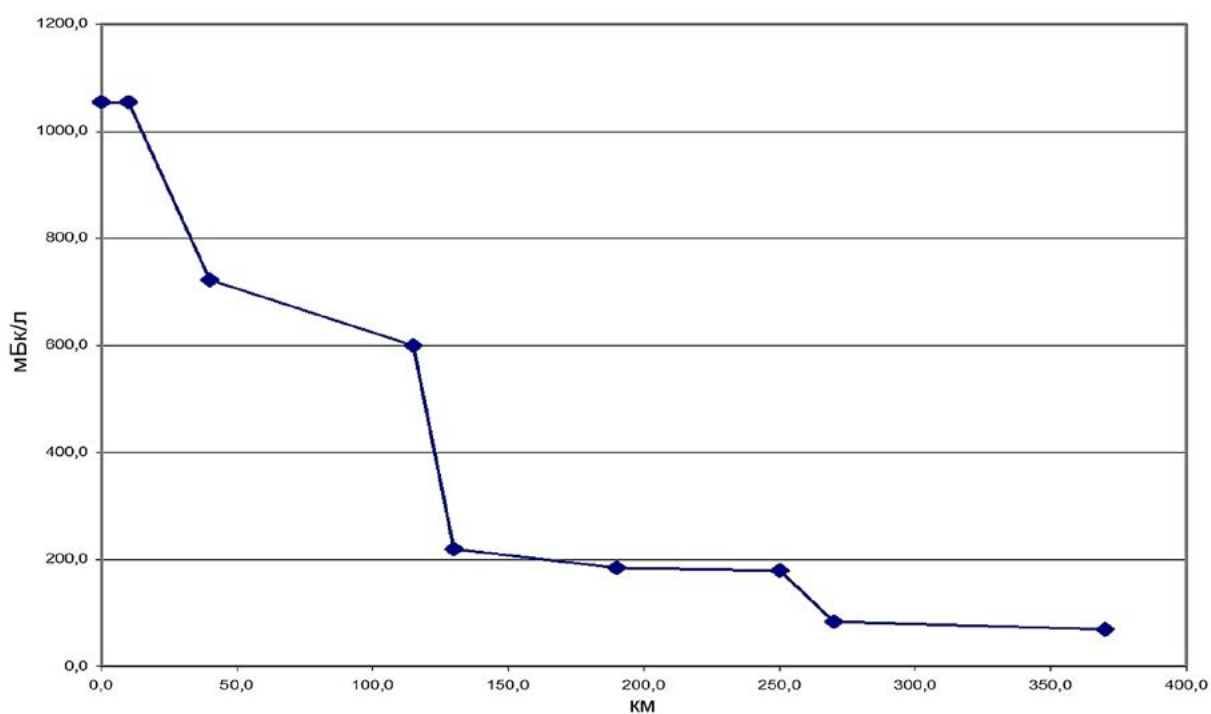


Рис. 16. Изменение объемной активности ^{90}Sr в речной воде р. Тобол на участке от устья р. Исеть до слияния с р. Иртыш (сентябрь 2004 года) [18]

В целом результаты комплексного радиоэкологического обследования свидетельствуют о влиянии прошлой деятельности ПО «Маяк» на содержание ^{90}Sr в речной системе Теча–Исеть–Тобол–Иртыш–Обь. Однако это влияние относительно мало и в настоящее время не выходит за пределы приемлемого радиационного риска, как для населения, так и речной биоты. Необходимо осуществление радиоэкологического комплексного мониторинга Обь-Иртышской речной системы с целью надежного контроля за переносом радионуклидов от деятельности объектов использования атомной энергии в этом регионе (ПО «Маяк», Сибирского химического комбината).

В августе–сентябре 2008 года специалистами НПО «Тайфун» и ГУ «Томский ЦГМС» Росгидромета было проведено экспедиционное радиоэкологическое обследование речной системы на участке от г. Томска до района слияния рек Томь и Обь. В ходе экспедиционного обследования были отобраны пробы воды, донных отложений и пойменных почв для последующего радионуклидного анализа. Кроме этого, были организованы ежемесячные наблюдения в течение полного гидрологического цикла за содержанием искусственных радионуклидов в воде р. Томь выше и ниже СХК [19] (рис. 17). Особое внимание уделялось мониторингу трития в речке Самуське, являющейся водотоком возможной разгрузки пластовых вод полигонов подземного захоронения радиоактивных отходов СХК, поскольку тритий, входящий в молекулу воды, может служить индикатором появления в поверхностных водах РАО, закачанных в подземные пласты-коллекторы.

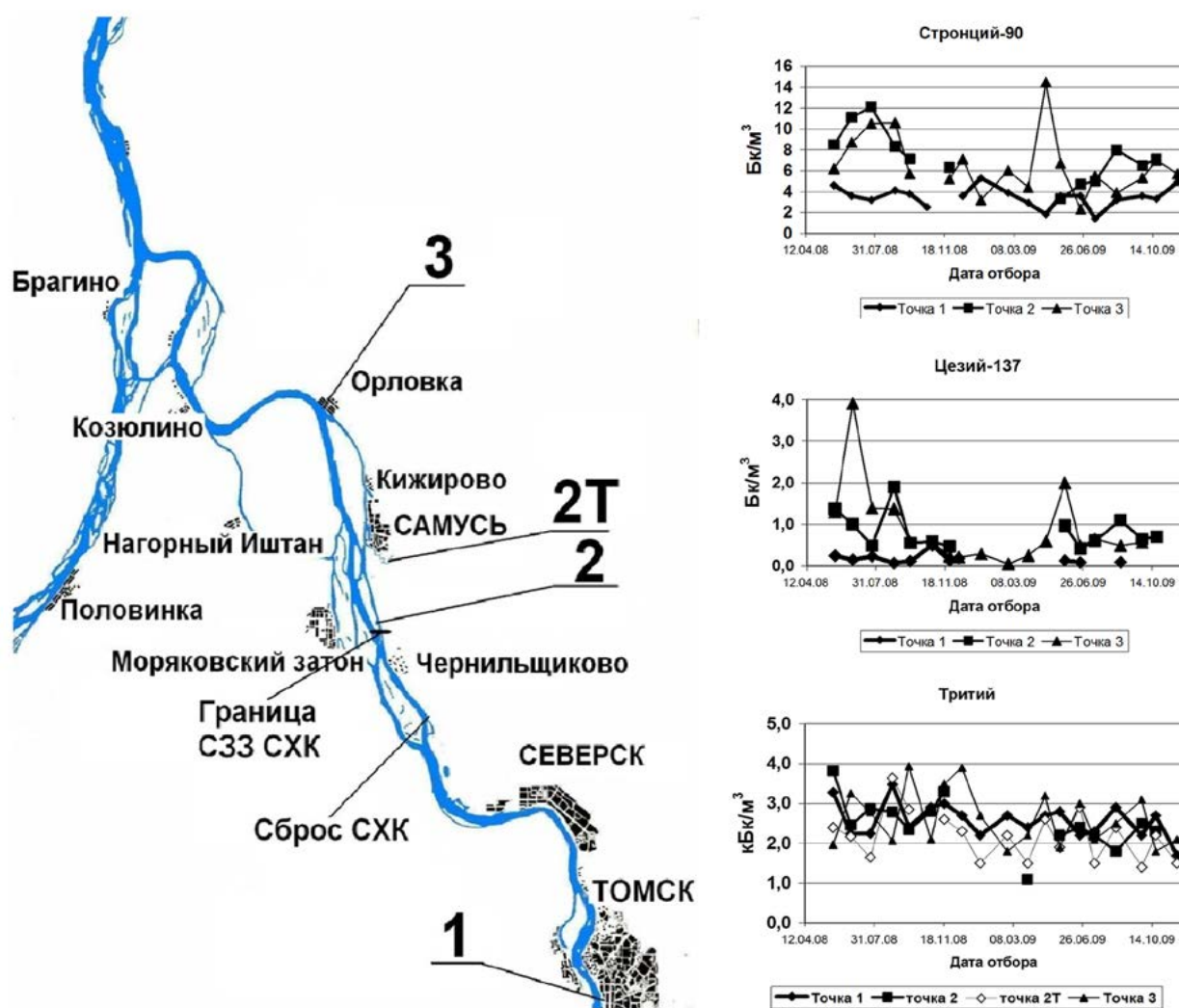


Рис. 17. Расположение точек отбора поверхностных вод вблизи СХК (слева) и результаты мониторинга содержания в поверхностных водах ^{90}Sr , ^{137}Cs и трития (справа) в 2008–2009 годах [19].

Данные мониторинга (май–июнь 2008 г.) выявили некоторое возрастание содержания в воде р. Томь ^{90}Sr (максимум до 12 Бк/м³) и ^{137}Cs (максимум до 4 Бк/м³) после сбросов СХК. После остановки в июне 2008 г. последнего реактора СХК началось снижение объемной активности этих долгоживущих радионуклидов в воде р. Томь ниже точки сброса технологических вод СХК.

Содержание трития в речной воде в районе СХК, в том числе и в реке Самусь (являющимся водотоком, в который возможна разгрузка пластовых вод полигонов подземной закачки ЖРО), практически не отличается от регионального фона. Таким образом, данные мониторинга трития свидетельствуют об отсутствии поступления на момент обследования радионуклидов из подземных пластов-коллекторов ЖРО СХК.

В целом данные мониторинга и радиоэкологического обследования, проведенного после остановки последнего прямоточного реактора СХК, свидетельствуют об отсутствии значимого радиоактивного загрязнения речной экосистемы [19]. Современные величины объемной активности долгоживущих искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и трития в речной воде во много раз ниже установленных для этих радионуклидов действующими нормативами НРБ-99/2009 уровней вмешательства (УВ). Накопление искусственных радионуклидов из состава сбросов СХК на пойме и в донных отложениях у правого берега р. Томь не привело к образованию грунтов – радиоактивных отходов на берегах и дне реки. Вместе с тем плотность загрязнения (активность радионуклида на единицу площади) пойменных почв долгоживущим ^{137}Cs в зоне воздействия жидких сбросов СХК превышает уровень регионального техногенного фона. Произошло загрязнение поймы не только ^{137}Cs , но и другими долгоживущими γ -излучателями, такими как ^{152}Eu , ^{60}Co , ^{54}Mn .

Аварии и инциденты на радиационных объектах

Загрязненные территории в районе расположения ПО «Маяк»

В начальный период работы предприятия ПО «Маяк», в 1949–1956 годах, жидкие РАО сбрасывались в р. Теча, поэтому пойма и донные отложения реки Течи загрязнены радионуклидами, а иловые отложения в верхней части реки рассматриваются как твердые РАО [17].

В результате радиационной аварии 1957 года в атмосферу было выброшено около $7,4 \cdot 10^{17}$ Бк радионуклидов, которые в основном осели в прилегающем регионе на территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей. Основным дозообразующим радионуклидом является ^{90}Sr .

Весной 1967 года произошло радиоактивное загрязнение территории вследствие ветрового переноса загрязненных донных отложений с обнажившихся берегов водоема Карачай, использовавшегося в качестве хранилища ЖРО. В ветровой перенос было вовлечено около $2,2 \cdot 10^{13}$ Бк в основном ^{137}Cs и ^{90}Sr .

В настоящее время общая площадь загрязненных территорий составляет 447 км².

Динамика годовых выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr на загрязненной территории и средних значений по Уральскому региону в 1998–2016 годах приведена на рисунке 18.

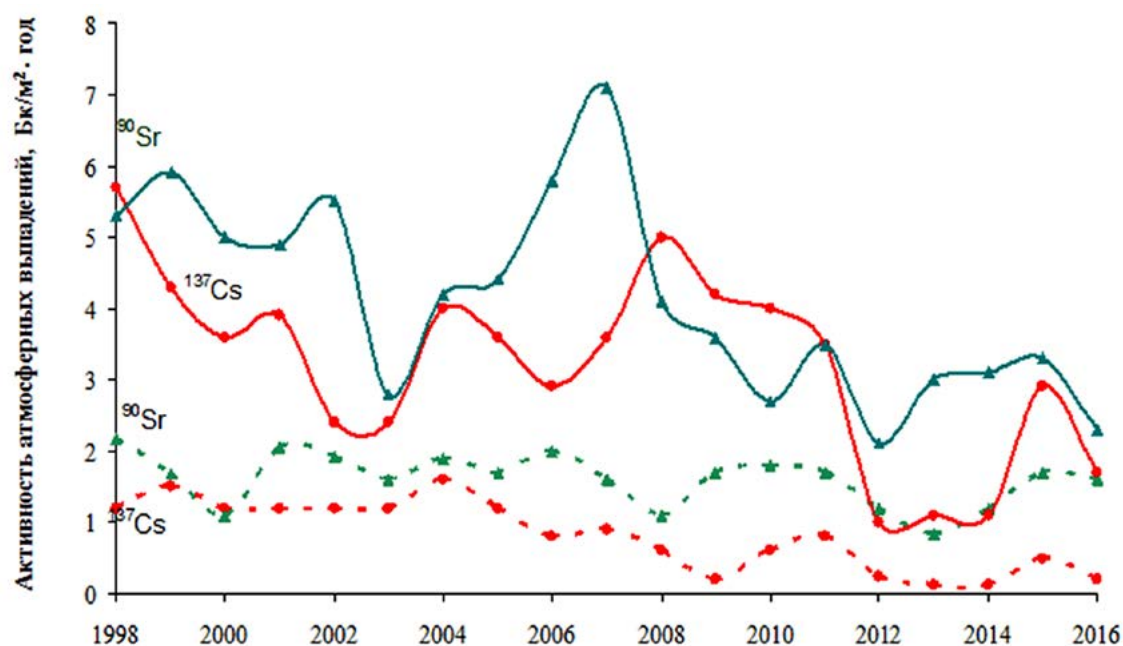


Рис. 18. Динамика выпадений радионуклидов на подстилающую поверхность на загрязненной территории Уральского региона в 1998–2016 годах (сплошные линии – выпадения, усредненные по загрязненной территории; пунктирные линии – фоновые уровни выпадений по Уральскому региону)

Объемная активность ^{90}Sr в воде рек Синара и Караболка в 2016 году была в 33–142 раз выше среднего уровня для рек России.

Воды р. Течи остаются наиболее загрязненными на территории России. В настоящее время вода загрязнена в основном ^{90}Sr , большая часть которого (до 95 %) находится в растворенном состоянии, что обеспечивает его перенос на большие расстояния [20]. Загрязнение прослеживается на всем протяжении рек Течи и Исети (после впадения в нее р. Течи) и в р. Тобол впадения р. Исети. Объемная активность ^{90}Sr в воде р. Течи (с. Муслюмово) в 2016 году на 3 порядка превышала региональный фоновый уровень и была в 1,3 раза выше уровня вмешательства для питьевой воды по НРБ-99/2009; объемная активность ^{137}Cs и трития была на 1–2 порядка ниже УВ.

В зоне наблюдения ПО «Маяк» среднегодовая объемная активность ^{137}Cs в приземном слое атмосферы п. Новогорный в 15,6 раза превышала средневзвешенную объемную активность по территории РФ. Однако наблюдаемые уровни загрязнения приземной атмосферы на два–семь порядков ниже ДОАНАС по НРБ 99/2009.

Годовые выпадения ^{90}Sr из атмосферы в 100-км зоне ПО «Маяк» (4,4 Бк/м²·год) в 2,7 раза выше, чем в среднем по Уральскому региону (1,6 Бк/м²·год). Годовые выпадения ^{137}Cs из атмосферы в 100-км зоне ПО «Маяк» (4,5 Бк/м²·год) в 22,5 раза выше, чем в среднем по Уральскому региону (0,2 Бк/м²·год).

Таким образом, радиационная обстановка в 100-км зоне ПО «Маяк» остается сложной.

Территории, загрязненные в результате аварии на Чернобыльской АЭС

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году часть ЕТР была загрязнена техногенными радионуклидами. В 19 субъектах Российской Федерации были зарегистрированы территории с уровнем загрязнения почвы ^{137}Cs выше 1 Ки/км² (37 кБк/м²).

До 1991 года обследование загрязненных территорий СССР проводилось подразделениями различных ведомств, после 1991 года – в основном подразделениями Росгидромета.

В 2007–2008 годах были проведены экспедиционные работы по уточнению уровня загрязнения ^{137}Cs территорий 389 населенных пунктов в ряде областей ЕТР. Такие обследования с этого времени проводятся ежегодно (табл. 5).

Обследования включают измерения мощности дозы γ -излучения на территориях населенных пунктов в точках отбора и отбор проб почвы на глубину 30–40 см для последующего γ -спектрометрического анализа в лабораторных условиях.

Таблица 5

Количество загрязненных в результате аварии на ЧАЭС населенных пунктов, обследованных в субъектах РФ в 2009–2016 годах

Республика, область	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Белгородская	28							
Брянская	23	16	15	76	24	10		38
Воронежская	19							
Калужская	2	13	4	38		3		
Курская	8							
Ленинградская	16							28
Липецкая	9						1	
Орловская	12	10	5		80	88		
Пензенская	4							
Рязанская	11		1					
Тульская	25	27	50				50	
Республика Мордовия	4							
Всего	161	66	75	114	104	101	51	66

В таблице 6 представлены данные по количеству населенных пунктов в загрязненных районах ЕТР в зависимости от уровней загрязнения ^{137}Cs по состоянию на 01.01.2017 [21].

Таблица 6

**Количество населенных пунктов в субъектах Российской Федерации
на территориях с разным уровнем загрязнения ^{137}Cs в результате
чернобыльской аварии (по состоянию на 01.01.2017)**

Субъекты РФ	Всего	<1 Ки/км ²	1–5 Ки/км ²	5–15 Ки/км ²	15–40 Ки/км ²	>40 Ки/км ²
Центральный федеральный округ						
Белгородская	543	531	12			
Брянская	1868	1347	322	179	17	2
Воронежская	1144	1132	12			
Калужская	562	358	194	10		
Курская	1104	1038	66			
Липецкая	212	201	11			
Московская	9	9				
Орловская	1537	1137	400			
Рязанская	562	465	97			
Смоленская	79	79				
Тамбовская	111	111				
Тульская	2084	1242	821	21		
Южный федеральный округ						
Волгоградская	5	4	1			
Ростовская	2	2				
Приволжский федеральный округ						
Нижегородская	138	138				
Пензенская	173	165	8			
Саратовская	13	13				
Ульяновская	128	128				
Республика Башкортостан	93	93				
Республика Марий Эл	23	23				
Республика Мордовия	331	331				
Республика Чувашия	27	27				
Северо-Западный федеральный округ						
Новгородская	82	82				
Ленинградская	156	152	4			
Всего:						
на 01.01.2017	10985	8808	1948	210	17	2
на 01.01.2005	11687	8308	3017	306	53	2
на 01.01.1999	11695	7529	3664	428	74	2

Радиационный инцидент на заводе тяжелого машиностроения в г. Электросталь

Радиометрическая сеть наблюдений Росгидромета с 11 по 16 апреля 2013 года зафиксировала повышение радиационных параметров в пунктах наблюдения Вологда, Охоны, Санкт-Петербург, Архангельск, Северодвинск и Мурманск (табл. 7), связанное с инцидентом на заводе тяжелого машиностроения в г. Электросталь.

Таблица 7

Объемная активность ^{137}Cs в атмосферном воздухе городов (в суточных пробах аэрозолей), 10^{-5} Бк/ м^3

Пункт наблюдения	Объемная активность ^{137}Cs в пробах, 10^{-5} Бк/ м^3					Среднемесячная объемная активность ^{137}Cs в 2012 г., 10^{-5} Бк/ м^3
	10–11.04	11–12.04	12–13.04	13–14.04	14–15.04	
Вологда	0,7	1,8	0,8	–	1,5	0,02
Охоны (эксп.5 сут)	24		2			0,04
Санкт-Петербург	–	31,6	–	–	–	0,04
Архангельск	н.о.	2,7	1,4	0,6	н.о.	0,05
Северодвинск	–	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,03
Мурманск	–	–	0,28	–	–	0,007

Примечание: н.о. – не обнаружен

Маршрутное обследование в г. Электросталь, выполненное сотрудниками НПО «Тайфун» на территории, непосредственно примыкающей к заводу тяжелого машиностроения, было проведено 26 апреля 2013 года. Обследование включало маршрутную гамма-спектрометрическую съемку территории и отбор проб почв в точках с наибольшим уровнем мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД).

Среднее значение мощности дозы гамма-излучения по маршруту равно 0,07 мкЗв/ч, что соответствует уровню МЭД на незагрязненных территориях. Однако были выявлены локальные участки, где наблюдалось значительное увеличение МЭД – до 6 мкЗв/ч.

В пробах почвы этих участков содержание ^{137}Cs в слое 0–10 см находилось в пределах 31–1260 кБк/ м^2 . Эти уровни загрязнения превышали глобальный уровень загрязнения на широте Москвы по состоянию на 2013 год (1,7 кБк/ м^2) в 18–750 раз. Основное количество ^{137}Cs (60–80 %) содержалось в слое почвы 0–2 см от его запаса в слое 0–10 см.

Перенос радиоактивных аварийных выбросов АЭС «Фукусима-1»

Авария на японской АЭС «Фукусима-1» произошла 11 марта 2011 года. Прохождение аварийных выбросов было зафиксировано практически всеми пунктами наблюдения радиометрической сети Росгидромета.

На АЭС «Фукусима-1» выброс ^{131}I по оценке был в 2 раза меньше, чем на Чернобыльской АЭС, а ^{137}Cs – меньше на порядок.

Радионуклиды с воздушными массами пересекли Тихий океан в северо-восточном направлении и 17 марта были зарегистрированы в Северной Америке, 19–20 марта – в Исландии, 19–21 марта – в скандинавских странах и 23–24 марта наблюдались в большинстве европейских государств.

После сообщения об аварии на АЭС «Фукусима-1» сеть радиационного мониторинга Росгидромета была переведена в режим повышенной готовности с ежесуточным регламентом наблюдений. В Дальневосточном регионе все пункты наблюдения за мощностью дозы были переведены на ежечасные наблюдения. Пробы аэрозолей анализировались на содержание ^{131}I и других гамма-излучающих радионуклидов [22].

В г. Южно-Сахалинск НПО «Тайфун» направило машину радиационной разведки, оснащенную современным оборудованием с квалифицированными специалистами, имевшими опыт работы во время аварии на Чернобыльской АЭС. Вся информация из радиометрических подразделений Росгидромета ежесуточно поступала в НПО «Тайфун», анализировалась и передавалась в оперативный штаб Росгидромета.

Аварийные выбросы АЭС «Фукусима-1» достигли Южно-Курильска на о. Кунашир 14–15 марта, а 20–21 марта – Южно-Сахалинска. В Благовещенске и Хабаровске радионуклиды от АЭС «Фукусима-1» (^{131}I в аэрозольной форме и изотопы ^{134}Cs , ^{137}Cs) в приземной атмосфере появились 24–25 марта.

На ЕТР ^{131}I впервые был зарегистрирован 23 марта в Подмосковной, Курске и Обнинске, 26 марта – на юге и севере Сибири в Омске и Салехарде. С 27 марта ^{131}I (активность $1\text{--}30\cdot 10^{-5}$ Бк/м³) наблюдался уже на всей территории страны.

28–30 марта произошло резкое увеличение объемной активности ^{131}I в воздухе на территории ЕТР – до $3,0\cdot 10^{-3}$ Бк/м³ (рис. 19). В странах Центральной Европы столь же резкое увеличение содержания ^{131}I в воздухе – до $6,0\cdot 10^{-3}$ Бк/м³ – наблюдалось на сутки раньше – 27–29 марта (Краков, Польша).

Одновременно с повышением содержания ^{131}I в воздухе появились ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs , ^{132}I , ^{132}Te (рис. 20). Максимальное количество всех радионуклидов в центральной части ЕТР наблюдалось 3–4 апреля: ^{131}I – до $4,0\cdot 10^{-3}$ Бк/м³, ^{134}Cs – до $1,04\cdot 10^{-3}$ Бк/м³, ^{137}Cs – до $1,15\cdot 10^{-3}$ Бк/м³. На севере ЕТР содержание радионуклидов было в 5–10 раз меньше. С 4–5 апреля началось уменьшение содержания радионуклидов в воздухе, и к концу апреля объемная активность радионуклидов на ЕТР стала ниже предела обнаружения – $1\cdot 10^{-6}$ Бк/м³.

На юге АТР резкое увеличение содержания ^{131}I в воздухе наблюдалось с 31 марта, но максимальные значения были в 2 раза ниже, чем в центре ЕТР (рис. 21).

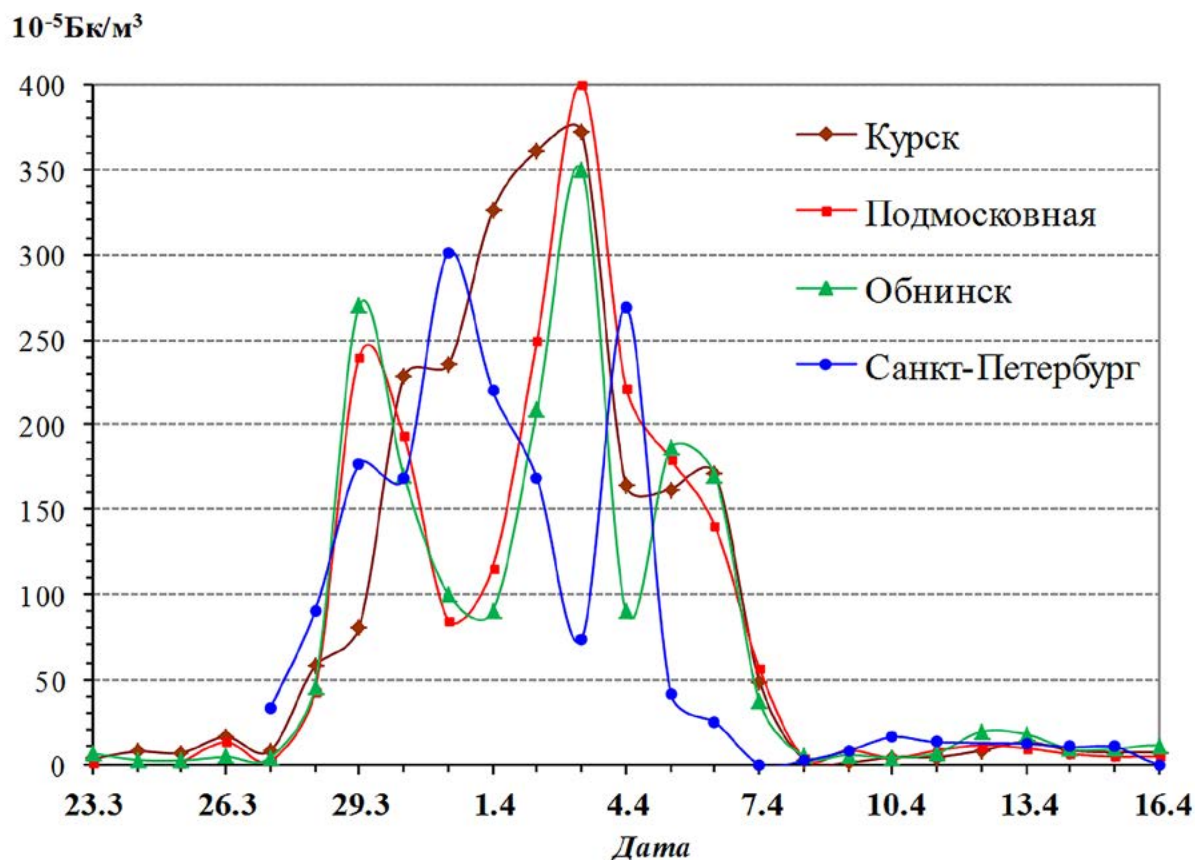


Рис. 19. Изменение объемной активности ^{131}I в Центральной части ЕТР в марте–апреле 2011 года

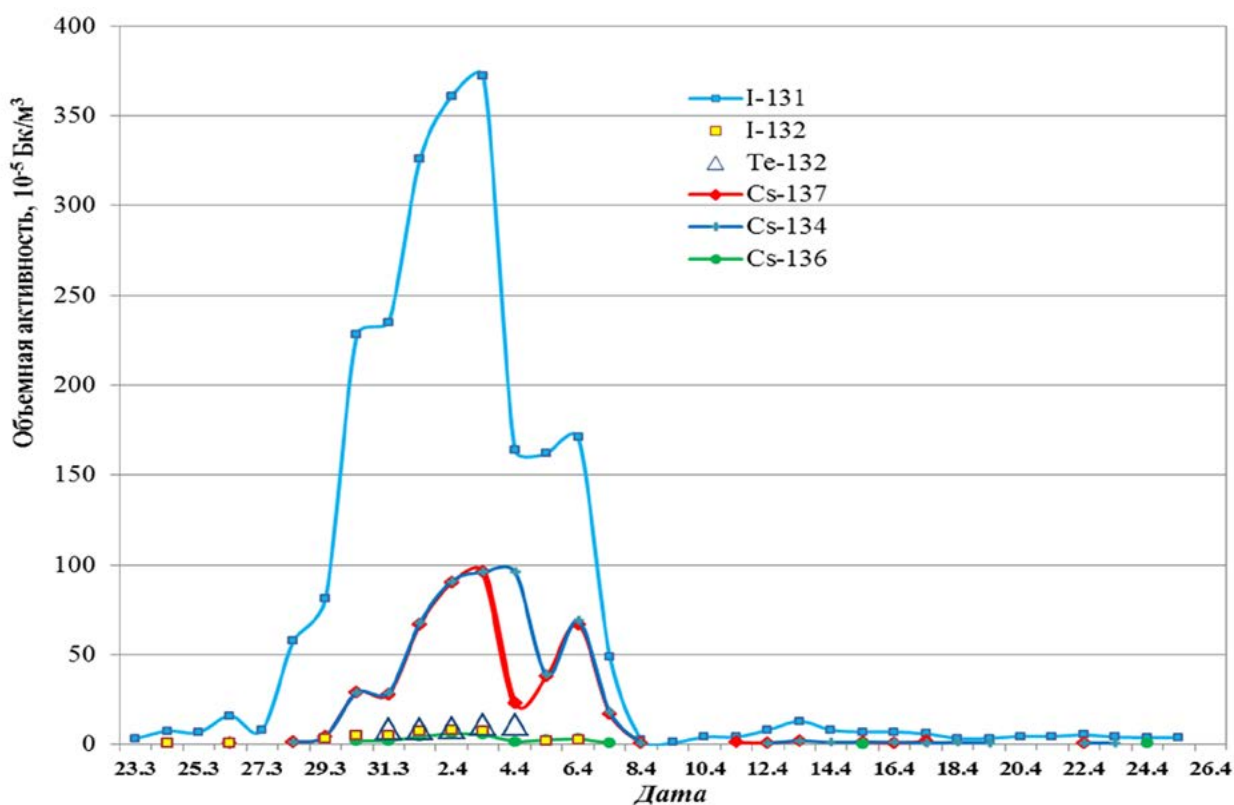


Рис. 20. Объемная активность радионуклидов, зарегистрированных в г. Курске в марте–апреле 2011 года

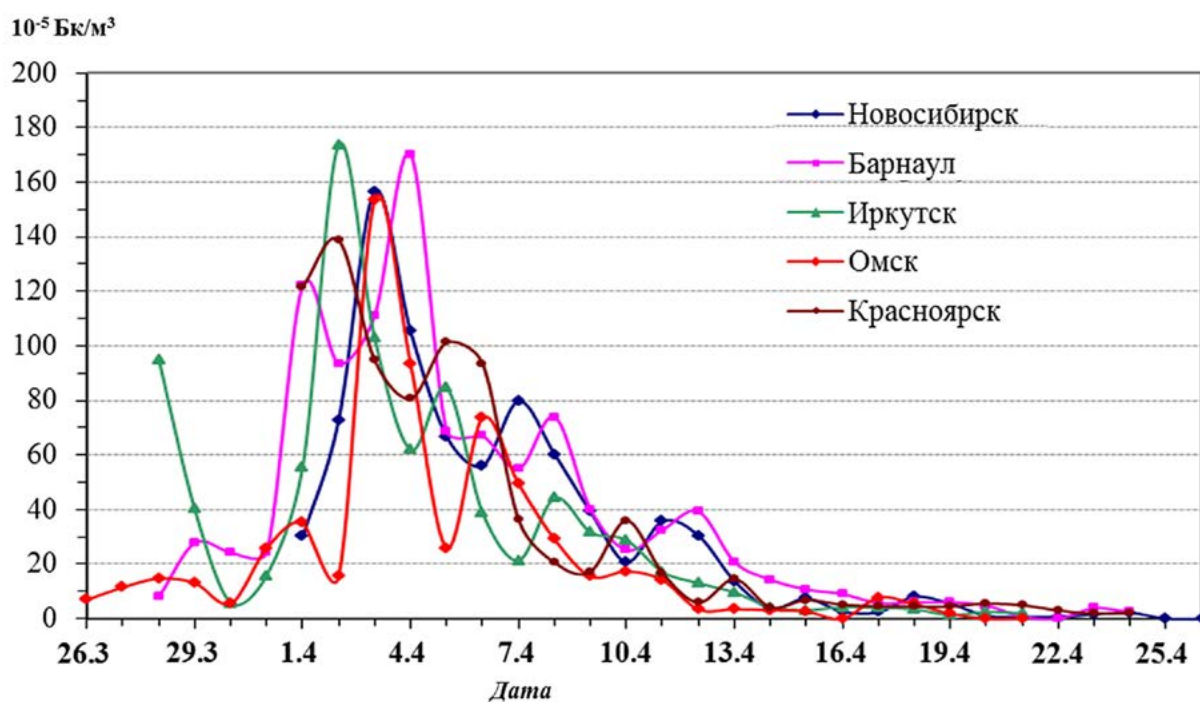


Рис. 21. Изменение объемной активности ^{131}I в аэрозольной форме на юге АТП в марте–апреле 2011 года

На севере АТР (Ханты-Мансийск, Салехард) максимум наблюдался 5–6 апреля, а содержание ^{131}I в приземном слое атмосферы было в 3–8 раз ниже, чем в южной части.

На Дальнем Востоке резкое увеличение содержания ^{131}I (аэрозольная форма) в воздухе за счет переноса с запада началось 1–2 апреля. Максимальная объемная активность ^{131}I была в 2–4 раза ниже, чем в центре ЕТР. Наименьшие значения наблюдались на о. Сахалин. Радионуклиды, обнаруживавшиеся на Дальнем Востоке до 1 апреля, по-видимому, поступали непосредственно от АЭС «Фукусима-1» (рис. 22).

Кроме изотопов йода в приземном слое атмосферы на территории России постоянно наблюдались ^{134}Cs и ^{137}Cs . Содержание изотопов цезия коррелировало с суммарной бета-активностью радионуклидов в воздухе (рис. 23). Отношение содержаний ^{137}Cs и ^{134}Cs по всем данным близко к 1.

Зафиксированные уровни объемной активности для ^{137}Cs на 5 порядков ниже допустимой по НРБ-99/2009.

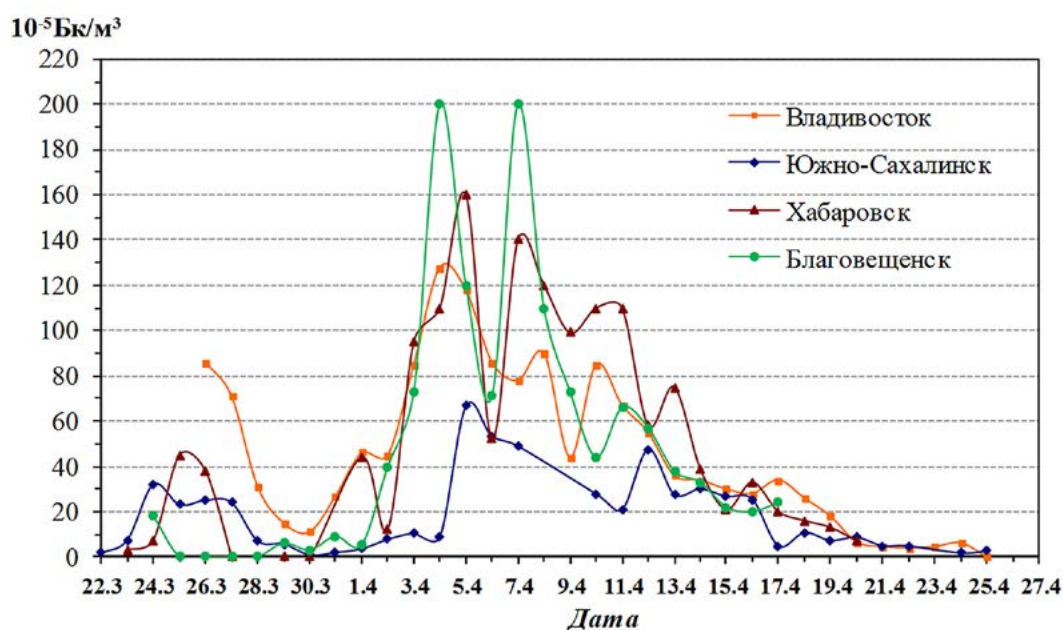


Рис. 22. Изменение объемной активности ^{131}I на Дальнем Востоке в марте–апреле 2011 года

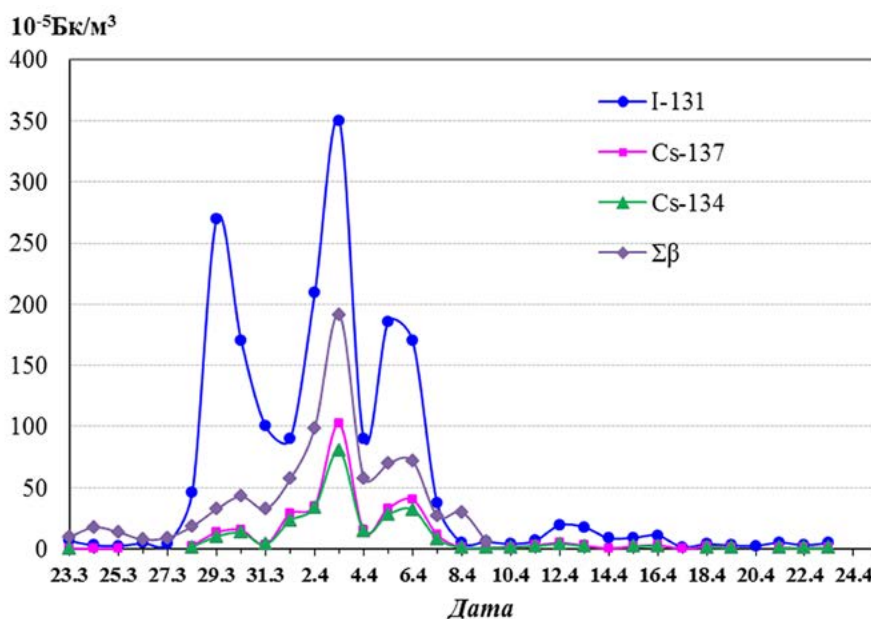


Рис. 23. Объемная активность радионуклидов в г. Обнинске в марте–апреле 2011 года

Наибольшая среднесуточная объемная активность ^{137}Cs на территории Дальнего Востока наблюдалась в Алдане и Якутске, наименьшая – в Южно-Сахалинске, Магадане и Чите (рис. 24). Объемная активность ^{137}Cs в этих пунктах в 100 и более раз выше, чем в 2010 году. Во II квартале 2010 года объемные активности ^{137}Cs в Алдане, Мирном, Магадане и Южно-Сахалинске были ниже предела обнаружения, в остальных пунктах – не превышали $7 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³.

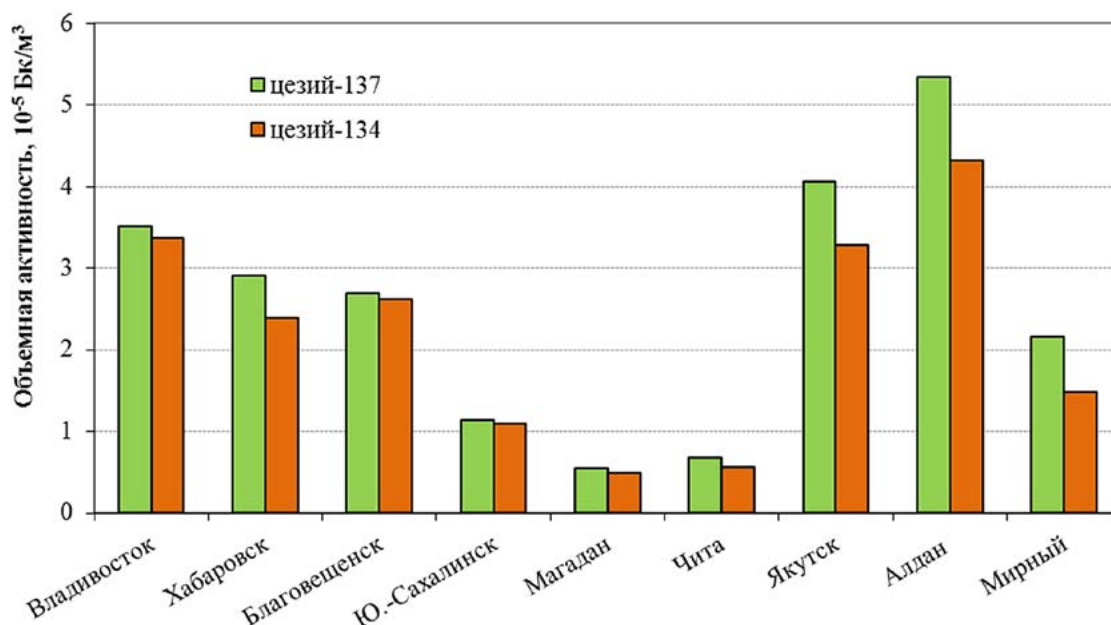


Рис. 24. Среднесуточная объемная активность изотопов цезия в воздухе на территории Дальнего Востока во II квартале 2011 года

На территории ЕТР содержание ^{131}I и изотопов цезия в суточных выпадениях было в основном ниже предела обнаружения. На территории АТР получены отдельные данные по суточным выпадениям радионуклидов. Во II квартале 2011 года на территории Приморского УГМС выпадения ^{134}Cs составляли 0,01 Бк/м², на территории Забайкальского УГМС – 0,05 Бк/м², на территориях остальных УГМС были ниже предела обнаружения. В таблице 8 приведены данные расчета баланса ^{137}Cs в почве в 2011 году в центре ЕТР, которые показывают, что прохождение аварийных выбросов не привело к существенному загрязнению почвы.

Таблица 8

Концентрация ^{137}Cs в почве и атмосферных выпадениях, Бк/м²

Глобальный уровень запаса ^{137}Cs в почве в 2011 году в центре ЕТР	1660
Убыль запаса ^{137}Cs в почве за 1 год за счет радиоактивного распада	38
Добавка ^{137}Cs в почве за счет аварийных выбросов АЭС «Фукусима-1»	0,024–0,54
Сумма годовых выпадений ^{137}Cs в 2007–2010 годах	0,3–0,4

Оценки объемной активности изотопов стронция в воздухе в пункте наблюдения Подмосковная, где были зафиксированы максимальные концентрации радионуклидов (пробы аэрозолей за 29–30 марта, 2–3 и 3–4 апреля 2011 года), показали, что объемная активность ^{89}Sr , отсутствующего в составе глобального фона, составляла в эти дни $1,0$, $3,8$ и $4,6 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ соответственно. Средняя объемная активность ^{90}Sr в эти дни составляла $0,33 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, что не превышает средней объемной активности в этом пункте за II квартал 2010 г. ($0,76 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). Эти значения на 7 порядков ниже допустимой среднегодовой активности для этого радионуклида (19 Бк/м³) по НРБ-99/2009 [11].

Мирные ядерные взрывы – радиационные последствия для окружающей среды

Взрывы в Мирнинском улусе Республики Саха (Якутия)

На территории Российской Федерации в 1961–1990 годах с целью строительства водных каналов, создания подземных хранилищ газа и нефти, исследования строения земной коры, в других хозяйственных (мирных) целях был произведен 81 подземный ядерный взрыв.

Большая часть подземных ядерных взрывов в мирных целях не привела к загрязнению района взрывов. Однако в ряде случаев произошло загрязнение земной поверхности и поверхностных вод. Примерами таких взрывов являются взрывы в Мирнинском улусе Республики Саха (Якутия) и три взрыва в Пермском крае.

В 2012 и 2016 годах в рамках государственной программы «Охрана окружающей среды Республики Саха (Якутия) на 2012–2017 годы» были проведены работы по оценке последствий подземных ядерных взрывов на загрязнение поверхностных вод.

Ядерные взрывы («Кристалл» и «Кратон-3») были произведены в верховьях реки Мархи в Мирнинском улусе (рис. 25). Взрыв «Кристалл» мощностью 1,7 кт проведен 2 октября 1974 года на глубине 98 м от поверхности земли. На месте взрыва образовался провал. В 1990 году место ядерного взрыва было засыпано слоем пустой породы мощностью 7–20 м. «Кратон-3» мощностью около 19 кт произведен 24 августа 1978 года на глубине 557 м. Место взрыва находится на пересечении тектонических нарушений, что повышает проницаемость горных пород. В результате в обоих случаях существуют благоприятные условия миграции продуктов взрывов к земной поверхности.

Якутским УГМС в 2012 году [23] и ФГБУ «НПО «Тайфун» в 2016 году [24] были выполнены исследования по оценке последствий подземных ядерных взрывов для качества поверхностных вод.

Для оценки возможного влияния ядерных взрывов пробы воды отбирались на гидрологическом посту в нижнем течении реки Мархи, левого притока реки Вилюя у села Малыкай в Нюрбинском улусе Якутии. В качестве контрольного пункта был выбран гидрологический пост на Вилюе у села Сунтар, расположенный выше по течению от места впадения реки Мархи (рис. 25).

В пробах воды определялась объемная активность ^{90}Sr и ^3H . На каждом посту в разное время отбиралось по 6 проб. В таблице 9 даны средние величины объемной

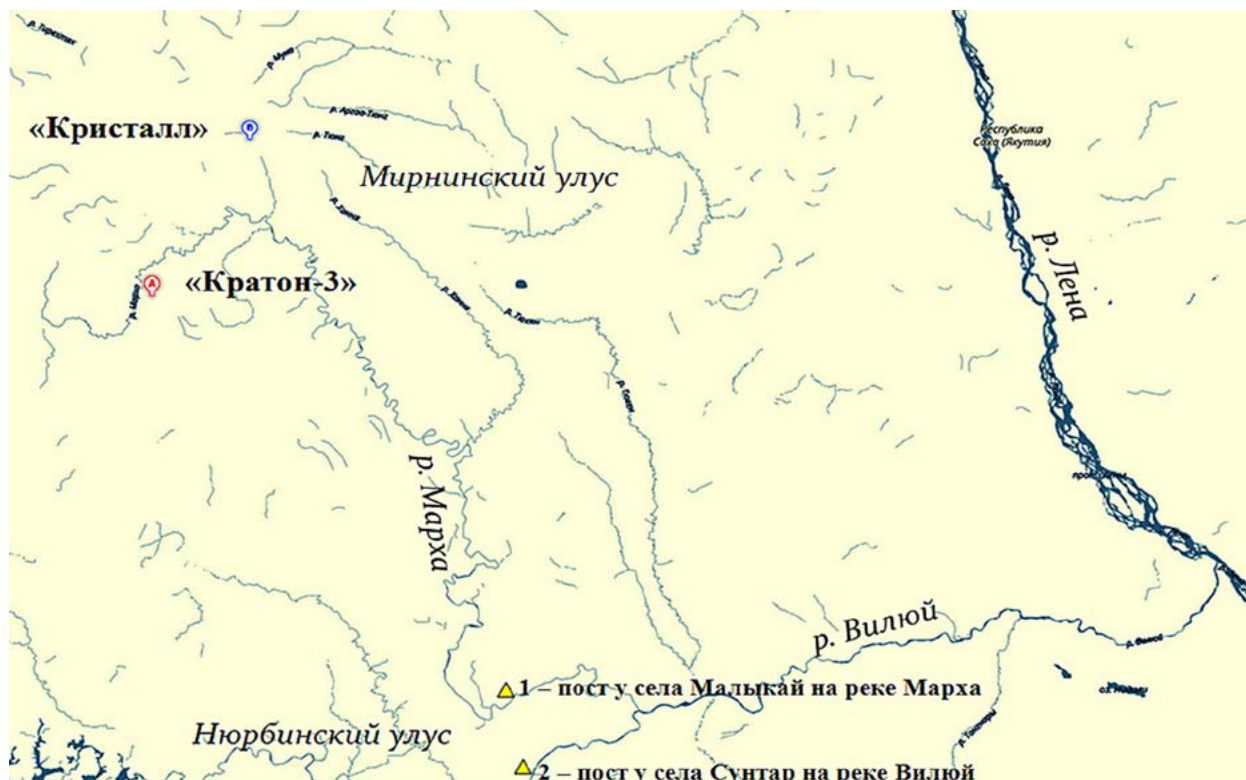


Рис. 25. Положение мирных подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3» и гидрологических постов на реках Марха и Вилюй

активности ^3H и ^{90}Sr в воде рек Мархи и Вилюя в 2012 и 2016 годах в летние месяцы и в среднем по России за те же периоды.

Таблица 9

Объемная активность ^3H и ^{90}Sr в воде рек Мархи, Вилюя и в среднем по рекам России в летний период 2012 и 2016 годов

Объемная активность радионуклида в воде рек	Тритий (^3H), Бк/л		Стронций-90 (^{90}Sr), мБк/л	
	2012 год	2016 год	2012 год	2016 год
Марха (с. Малыкай)	2,7	1,3	6,5	5,0
Вилюй (с. Сунтар)	2,1	1,1	4,9	3,9
Средняя в реках РФ	2,6	1,1	5,0	4,8

В обоих случаях работы проводились в период летне-осенней межени. Одновременно с отбором проб проводилось измерение мощности экспозиционной дозы γ -излучения и уровня воды в реке. Определение объемной активности ^3H и ^{90}Sr в пробах воды, отобранных обеими экспедициями, были выполнены в лабораториях ФГБУ «НПО «Тайфун».

Период межени для отбора проб был выбран на том основании, что уменьшение водности рек происходит, главным образом, за счет поверхностного стока. В этот период в питании рек возрастает доля подземных вод, дренирующих загрязненные радионуклидами горные породы.

В таблице 10 приведены значения объемной активности ^3H и ^{90}Sr в пробах воды, мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения с поверхности земли и уровни воды в реках Марха и Вилюй в 2012 и 2016 годах.

Таблица 10

Объемная активность ^3H и ^{90}Sr в воде рек Марха и Вилюй, мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения с поверхности земли, а также уровни воды в реках в 2012 и 2016 годах

Дата отбора	МЭД, мкР/ч	Объемная активность ^3H , Бк/л	Объемная активность ^{90}Sr , мБк/л	Уровень воды в реке, см
р. Марха (с. Малыкай)				
27.05.2012	10	2,55	4,72	176
31.05.2012	11	1,75	4,39	777
18.06.2012	12	2,45	4,08	687
16.08.2012	10	2,95	8,86	145
09.10.2012	11	2,68	8,77	241
01.11.2012	11	1,81	7,56	198
10.07.2016	12	1,05	4,8	232
26.07.2016	12	1,28	4,0	170
05.08.2016	13	1,55	6,5	153
19.08.2016	14	1,48	4,8	174
08.09.2016	14	1,27	6,2	245
28.09.2016	13	1,65	4,4	242
р. Вилюй (с. Сунтар)				
21.05.2012	11	2,03	5,07	481
31.05.2012	10	1,34	4,06	314
25.06.2012	10	1,88	5,22	284
16.07.2012	12	2,36	4,66	172
10.10.2012	10	2,09	5,34	186
02.11.2012	11	1,98	5,42	324
20.07.2016	9	1,18	3,8	160
28.07.2016	13	1,09	3,6	156
11.08.2016	14	1,09	4,1	156
31.08.2016	10	1,34	3,9	160
09.09.2016	12	1,31	4,6	143
29.09.2016	10	1,06	3,5	196
20.07.2016	9	1,18	3,8	160

Величина МЭД в обоих случаях соответствует природному фону γ -излучения для территорий, сложенных с поверхности осадочными породами. В 2012 году ее величина колебалась в диапазоне 10–12 мкР/ч, в 2016 году – 9–14 мкР/ч.

Средняя величина объемной активности ^{90}Sr в воде р. Мархи в летний период уменьшилась с 6,5 мБк/л в 2012 году до 5,0 мБк/л в 2016 году. В воде Вилюя объемная активность ^{90}Sr в эти же сроки была 4,9 и 3,9 мБк/л соответственно. Средние значения по рекам России в летний период 2012 и 2016 годов были соответственно 5,0 и 4,8 мБк/л.

Учитывая, что на территории водосборов Мархи и Вилюя отсутствуют радиационно-опасные объекты (РОО), которые могли бы служить источником ^{90}Sr , его концентрация в воде формируется за счет весьма низкого техногенного фона, среднегодовая плотность выпадения на АТР ниже предела обнаружения ($<0,2$ Бк/м² год), и за счет его выноса из загрязненных пород, который в водосборе Мархи выше.

На рисунке 26 показана объемная активность ^3H в летние месяцы 2012 и 2016 годов. В 2012 году объемная активность ^3H в воде Мархи и Вилюя (2,7 и 2,1 Бк/л соответственно) была заметно меньше, чем в Енисее (3,3 Бк/л), и, особенно в Лене и Индигирке (4,3 и 4,0 Бк/л соответственно) за тот же период. В 2016 году содержание ^3H во всех реках заметно выровнялось и находилось в диапазоне 1,1–1,4 Бк/л.

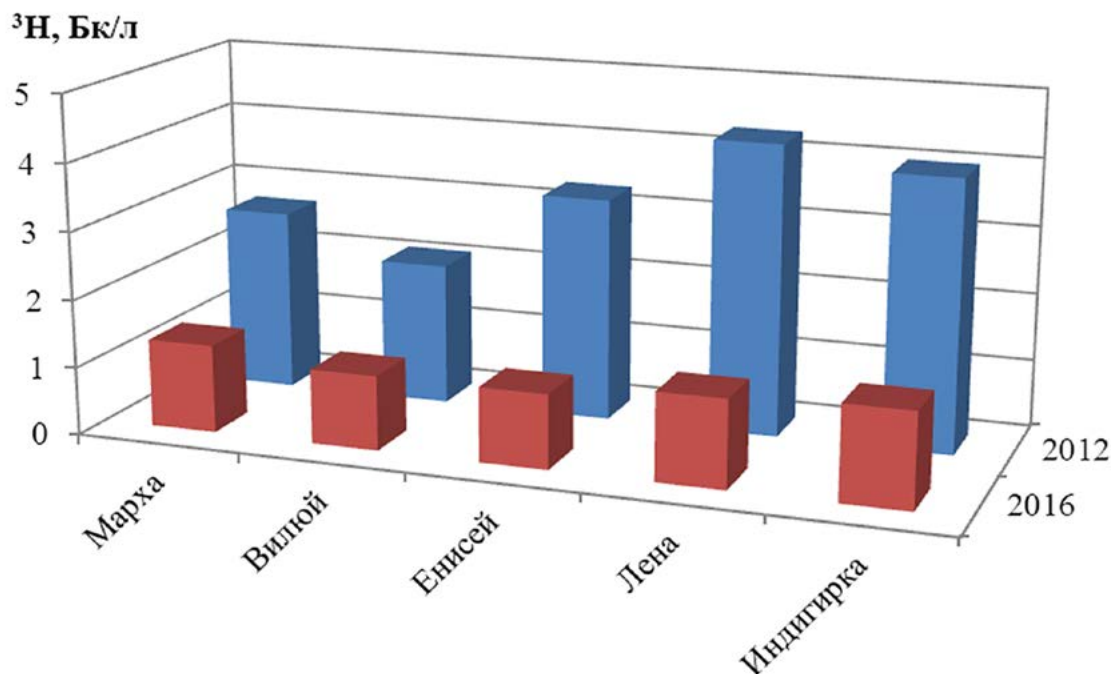


Рис. 26. Объемная активность ^3H в воде рек Мархи и Вилюя в сравнении с водами Енисея (г. Игарка), Лены (п. ст. Хабаровова), Индигирки (п. Индигирский) в летний период 2012 и 2016 годов

Объемная активность ^3H в воде р. Марха в летние месяцы 2016 года по сравнению с летними месяцами 2012 года сократилась более чем в 2 раза – с 2,7 до 1,3 Бк/л. Средние значения по всем отобранным здесь пробам также заметно уменьшилось – от 2,37 до 1,38 Бк/л.

Ближкие уровни снижения наблюдаются и в воде р. Вилюй. В среднем за летние месяцы произошло снижение от 2,1 до 1,1 Бк/л, а среднее по всем пробам уменьшилось от 1,95 до 1,18 Бк/л.

Объемная активности ^3H в воде рек Енисей (г. Игарка), Лена (п. ст. Хабаровова), Индигирка (п. Индигирский) в летние месяцы 2016 года по сравнению с тем же периодом 2012 года уменьшилась примерно в 3 раза – от 3,3 Бк/л до 1,1 Бк/л, от 4,3 до 1,3 Бк/л и от 4,0 до 1,4 Бк/л соответственно. Повышенные содержания ^3H в водах этих рек в 2012 году связаны, видимо, с деятельностью РОО на территории их водосборов, т.к. среднее содержание ^3H в атмосферных осадках, определяющее его концентрацию в речных водах, в 2016 году по сравнению с 2012 годом изменилось меньше – 1,3 и 2,3 Бк/л соответственно.

Анализ динамики объемных активностей ^3H и ^{90}Sr и колебания уровня воды в р. Марха в период отбора проб воды с мая по ноябрь 2012 года позволяет определить источники и основные пути поступления этих изотопов.

На рисунке 27 видно, что с понижением уровня воды происходит увеличение объемной активности ^{90}Sr , и наибольших значений она достигает при наименьших уровнях воды в реке и, как следствие, увеличении доли подземных вод в водном балансе.

Таким образом, большая часть ^{90}Sr поступает в речную воду с подземными водами, дренирующими загрязненные в результате подземных ядерных взрывов породы.

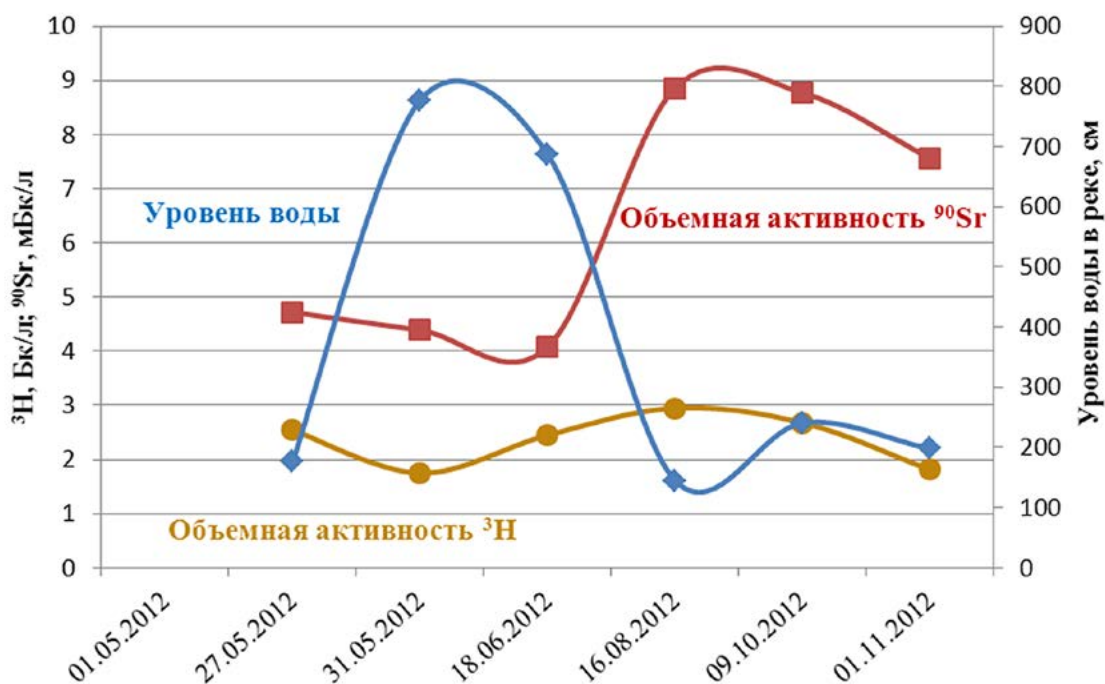


Рис. 27. Изменение объемных активностей ^3H и ^{90}Sr и уровня воды в р. Марха в мае–ноябре 2012 года

Такая же тенденция, но слабее выраженная, наблюдается и в динамике объемной активности ^3H . Происходит это вследствие сезонного увеличения объемной активности ^3H в атмосферных осадках в теплый период года [24].

Подобная тенденция изменения объемной активности ^{90}Sr в воде р. Марха наблюдается и в 2016 году, хотя проявлена менее наглядно из-за более короткого периода опробования и, по-видимому, уменьшения запасов ^{90}Sr в горных породах (рис. 28).

В контрольном пункте опробования на Вилуе в 2012 году такая зависимость не наблюдается, и концентрация ^{90}Sr в большинстве проб мало отличается от среднего значения в 5,0 мБк/л (рис. 29).



Рис. 28. Изменение объемных активностей ^3H и ^{90}Sr и уровня воды в р. Марха в июле–сентябре 2016 года



Рис. 29. Изменение объемных активностей ${}^3\text{H}$ и ${}^{90}\text{Sr}$ и уровня воды в р. Вилюй в мае–ноябре 2012 года

В 2016 году в воде Вилюя просматривается обратная зависимость концентрации ${}^{90}\text{Sr}$ от уровня воды в реке, но из-за незначительных изменений величин и короткого периода наблюдений говорить о существовании здесь такой закономерности вряд ли можно (рис. 30).

По данным за 2016 год объемная активность ${}^3\text{H}$ в воде р. Марха находится в пределах колебаний средних содержаний в речной воде России и определяется его содержанием в атмосферных осадках. Поступление ${}^3\text{H}$ в речную воду из районов подземных ядерных взрывов практически отсутствует.

Объемная активность ${}^{90}\text{Sr}$ в воде р. Марха в 2016 году находится на уровне средних значений для воды рек России и составляет 4,0–6,5 мБк/л, т.е. соответствует

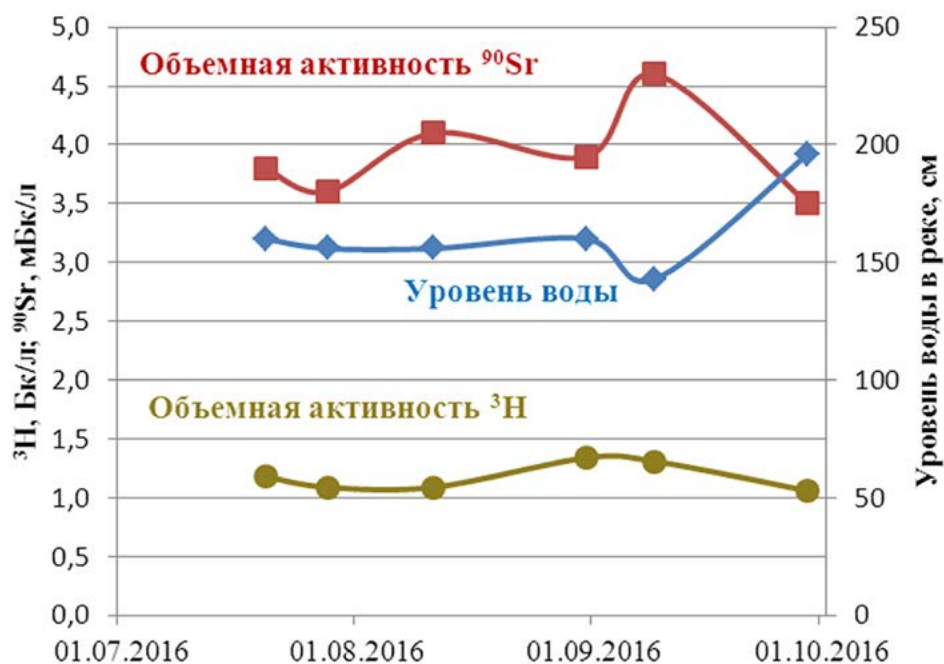


Рис. 30. Изменение объемных активностей ${}^3\text{H}$ и ${}^{90}\text{Sr}$ и уровня воды в р. Вилюй в июле–сентябре 2016 года

техногенному фону для поверхностных вод суши РФ [24], хотя в ее водосборе отсутствуют РОО. Источником ^{90}Sr здесь, повышающим концентрацию до средних значений по РФ, могут служить горные породы, загрязненные в результате подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3».

Объемная активность ^3H в водах р. Марха, как и в реках России, вне районов расположения локальных источников техногенного ^3H определяется его активностью в атмосферных осадках.

Подземные ядерные взрывы в Пермском крае

Наиболее длинный ряд наблюдений за содержанием радионуклидов в водных объектах, источником которых были ядерные взрывы, имеется по рекам Колва, Вишера и Кама в Пермском крае. Эти реки дренируют район ядерных взрывов по проекту «Канал». Небольшая глубина заложения зарядов – около 130 м – привела к радиоактивному загрязнению поверхности земли в районе взрывов.

В воде этих рек систематически определялась объемная активность ^{90}Sr . В течение года, включая зимний период, в каждой реке отбиралось 4–6 проб. Значения сильно колебались как в пробах, отобранных в разных реках в близкие сроки, так и в каждой реке в течение года. Величина менялась от 4 до 50 мБк/л.

Среднегодовая величина объемной активности ^{90}Sr сильно колеблется в разные годы, от 11–23 мБк/л в 2005–2008 годах до 4,3–5,3 мБк/л в 2014–2015 годах, когда концентрация уменьшилась до средних по РФ значений (рис. 31). В 2016–2017 годах величина объемной активности ^{90}Sr вновь увеличилась до 10,4 и 8,3 мБк/л соответственно.

В результате подземных ядерных взрывов в Пермском крае загрязнение земной поверхности было более существенным, чем в Якутии. Значительные колебания объемной активности ^{90}Sr в воде рек Колва, Вишера и Кама, дренирующих район взрывов, в течение года показывают, что основным путем его поступления является вынос с территории водосбора грунтовыми водами, на интенсивность поступления которых в реки существенное влияние оказывает режим атмосферных осадков и ландшафтные условия водосбора.

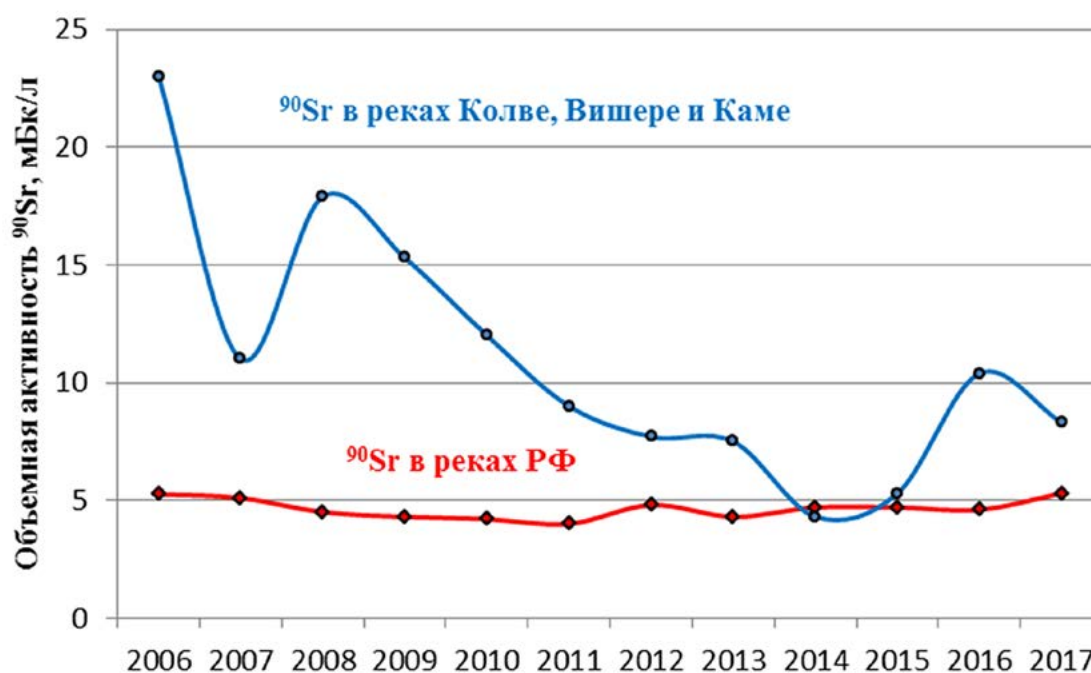


Рис. 31. Динамика объемной активности ^{90}Sr в воде рек Колвы, Вишеры и Камы, протекающих в районе мирных подземных ядерных взрывов в Пермском крае (проект «Канал», взрывы «Тайга»)

Мониторинг радиационной обстановки в районах расположения радиационных объектов

После аварии на Чернобыльской АЭС в целях независимого государственного контроля радиационного воздействия РОО на окружающую среду в 100-км зонах наиболее опасных объектов были организованы системы мониторинга радиационной обстановки на базе сети наблюдений Росгидромета.

В таблицах 11 и 12 представлены характеристики радиометрической сети Росгидромета в районах расположения РОО.

Таблица 11

Объекты окружающей среды в 100-км зонах РОО, в которых контролируются параметры радиационной обстановки, и режим наблюдений

Показатель, объект	Место проведения	Режим наблюдений
Мощность дозы гамма-излучения	Все метеостанции в 100-км зоне	8 раз в сутки
	маршрутная γ -съемка в радиусе до 20 км	Ежемесячно
Воздух	Отдельные метеостанции в 100-км зоне	Непрерывно
Выпадения	Отдельные метеостанции в 100-км зоне	Непрерывно
Почва	в 10–15 пунктах в радиусе до 20 км от АЭС и «фоновой» точке	1 раз в год
Растительность	в 10–15 пунктах в радиусе до 20 км от АЭС и «фоновой» точке	1 раз в год
Снег	в 10–15 пунктах в радиусе до 20 км от АЭС и «фоновой» точке	1 раз в год
Поверхностные воды	в 3 точках: выше по течению, в месте сброса, ниже по течению	1 раз в месяц (^{90}Sr , ^3H)
Донные отложения	в 3 точках: выше по течению, в месте сброса, ниже по течению	1 раз в год

Таблица 12

**Количество пунктов наблюдения и наличие маршрутных обследований
в 100-км зонах РОО**

Территория	Стационарные наблюдения						Маршрутные обследования
	МЭД	Выпадения (ГП)	Аэрозоли (ВФУ)	Тритий		Стронций-90	
				осадки	реки	реки, озера	
100-км зоны АЭС:	142	87	17	1	2	17	
Балаковская	6	3	1	–	1	–	+
Белоярская	25	22	1	–	–	3	+
Билибинская	3	2	–	–	–	–	–
Калининская	7	2	1	–	–	–	–
Кольская	9	3	1	–	–	2	–
Курская	12	6	2	–	–	–	+
Ленинградская	13	2	1	–	–	–	–
Ростовская	8	7	1	1	–	–	–
Нововоронежская	13	5	1	–	–	–	–
Смоленская	7	4	–	–	–	–	–
ПО «Маяк»	17	17	3	–	–	7	+
ГХК	13	7	4	–	1	1	+
СХК	9	7	1	–	–	4	+

Рутинный мониторинг радиоактивности атмосферного воздуха в 100-км зонах РОО включает наблюдения за уровнями объемных активностей техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr и на двух пунктах изотопов плутония), которые могут присутствовать и в выбросах РОО, а также гамма-излучающих радионуклидов, источниками которых могут быть только выбросы объектов.

Таблица 13

**Среднегодовые (q) и максимальные (q_m) значения объемной активности
радионуклидов в приземной атмосфере 100-км зоны Курской АЭС
в 2015–2016 годах, 10^{-7} Бк/м³**

Радионуклид	Курск				Курчатов				ДОА _{НАС'} Бк/м ³
	q		q _м		q		q _м		
	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	
²⁴ Na	1	4	160	771	н	94	н	5000	290
⁵¹ Cr	н	н	981	н	4	6	4	95	2500
⁵⁴ Mn	1,2	2,8	5,0	841	11,7	11,7	190	107	72
⁵⁹ Fe	0,8	0,4	5,2	0,4	6,3	5,3	230	83	30
⁵⁸ Co	н	н	н	н	1,0	1,1	19	14	68
⁶⁰ Co	1,3	1,3	5,0	126	11,2	10,6	109	120	11
⁹⁵ Zr	н	н	н	н	2,4	1,4	20	24	23
⁹⁵ Nb	0,5	0,4	1,5	0,4	5,7	4,1	90	44	72
¹³¹ I	1	н	217	н	3	3	152	75	7,3
¹³⁴ Cs	0,1	н	1,0	н	0,6	1,1	6,0	18	19
¹³⁷ Cs	8,0	14	40	421	12,0	25	39	435	27
⁹⁰ Sr	0,8	1,1	1,0	1,2	1,1	1,6	1,2	1,7	2,7
Σβ	16,6	20,0	73,3	78,9	19,0	20,0	55,6	54,0	–

Примечания: максимальная объемная активность радионуклидов (q_m) в г. Курске приведена по суточным пробам аэрозолей, в Курчатове – по пробам аэрозолей, экспонируемым в течение пяти суток; н – ниже предела обнаружения.

В таблице 13 представлены результаты наблюдений в 100-км зоне Курской АЭС. Пункты наблюдений за объемной активностью аэрозоли в приземном воздухе расположены в Курске (на расстоянии 40 км от АЭС) и Курчатове (3 км). Уровни $\Sigma\beta$ -активности и ^{137}Cs несколько выше фоновых, и это связано, прежде всего, с наличием поблизости территорий, загрязненных в результате чернобыльской аварии. При этом на фоновом уровне находится содержание в воздухе ^{90}Sr , который в основном выпал вблизи Чернобыльской АЭС. Устойчиво выше пределов чувствительности методов наблюдений регистрируются чисто станционные радионуклиды, особенно в Курчатове.

В г. Обнинске (Калужская обл.) радиационная обстановка определяется предприятиями, имеющими в основном фармацевтическую направленность (АО «ГНЦ-ФЭИ им. Лейпунского» и филиал АО «НИФХИ им. Л.Я.Карпова»). Мониторинг проводится лабораторией ФГБУ «НПО «Тайфун», и дополнительно проводится постоянное наблюдение за объемной активностью изотопов плутония и ^{131}I , как в аэрозольной, так и газообразной фазе (табл. 14).

Таблица 14

**Среднемесячная объемная активность радионуклидов в воздухе г. Обнинска, Бк/м³
(данные ФГБУ «НПО «Тайфун»)**

Месяц	$^{137}\text{Cs}, \cdot 10^{-7}$		$^{238}\text{Pu}, \cdot 10^{-9}$		$^{239+240}\text{Pu}, \cdot 10^{-9}$		$^{90}\text{Sr}, \cdot 10^{-7}$		$^{131}\text{I}, \cdot 10^{-5}$		$^7\text{Be}, \cdot 10^{-5}$	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015
Январь	11	8,0	11,0	0,6	10,0	2,0	0,94	0,46	2,4	5,1	170	174
Февраль	6,4	12	3,1	2,8	4,6	123,2	0,63	0,69	23	1,4	180	195
Март	3,7	21	9,0	16,3	10,0	20,8	0,73	2,66	62,5	4,1	160	235
Апрель	7,5	10	1,0	11,1	8,0	4,6	1,36	2,19	7,9	5,9	280	285
Май	12	13,5	2,3	24,5	10,5	4,9	8,05	1,28	1,7	30,6	740	415
Июнь	4,2	17	2,3	17,7	4,2	49,2	0,94	1,28	30,9	1,53	291	462
Июль	1,7	9	0,7	28,01	7,0	18,0	0,88	1,19	7,9	9,5	360	344
Август	2,7	11	5,8	30,71	9,1	10,12	1,24	1,19	127	1,4	305	380
Сентябрь	1,5	7,3	$\leq 0,02$	22,3	5,2	7,60	0,97	1,19	4,0	62,2	167	292
Октябрь	5,4	30	4,2	23,8	14,5	67,4	2,18	9,68	50,4	2,5	217	205
Ноябрь	38	8,3	11,5	7,06	4,8	7,94	1,09	9,68	30,8	444	488	153
Декабрь	8,5	8,2	3,3	3,83	10,8	8,05	2,69	9,68	26,1	10,3	107	141
Среднее	8,6	12,9	4,5	15,7	8,2	27,0	1,81	3,43	31,2	48,2	289	273

Среднегодовые объемные активности ^{137}Cs и ^{90}Sr , имеющие глобальный техногенный фон, выбрасываются также и РОО Обнинска. Так в 2016 году средняя за год объемная активность ^{137}Cs составила $8,6 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, что в 2,4 раза выше средневзвешенной объемной активности ^{137}Cs для Центра ЕТР ($3,6 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³), а активность ^{90}Sr составила $1,81 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, что в 2,2 раза выше средневзвешенной объемной активности ^{90}Sr для Центра ЕТР ($0,82 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³).

Для объемной активности ^{131}I в воздухе характерна высокая изменчивость среднемесячной величины в интервале $(1,7-127) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ в 2016 году и $(1,4-444) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ в 2015 году. Максимальное содержание ^{131}I в 2016 году наблюдалось 1–2 августа и составляло $3,4 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³, что всего на 2 порядка ниже допустимой среднегодовой активности для ^{131}I ($\text{ДОА}_{\text{НАС}} = 7,3$ Бк/м³).

Среднегодовая объемная активность ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в Обнинске в 6,1 и 4,3 раза выше соответственно, чем в районах, загрязненных после аварии на ЧАЭС. Соотношение среднегодовых величин ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в 2016 и 2015 годах – 0,55 и 0,58 соответственно – практически совпадает с их отношением в Арктике (о. Диксон) – 0,5. Однако отношение

среднемесячных величин колеблется в широком диапазоне – 0,1–1,1 в 2016 году и 0,02–3,03 в 2015 году. Повышенные величины объемной активности изотопов плутония и широкий диапазон колебаний соотношения $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ показывают, что радиационная обстановка по изотопам плутония в районе Обнинска, которая существенно превышает радиационный фон, формируется выбросами РОО [25, 26].

Красноярский горно-химический комбинат находится в составе государственной корпорации «Росатом». ФГУП «ГХК» – уникальное предприятие с подземным расположением основных ядерных производств. Предприятие расположено на правом берегу р. Енисей в 9 км от г. Железногорска и в 60 км ниже по течению реки от г. Красноярска.

Комбинат создавался для наработки оружейного плутония. Реакторное и радиохимическое производства составляют основу комбината и являются основными источниками загрязнения природной среды. Основные производства комбината размещены по обоим берегам р. Шумихи – правого притока р. Енисей в скальных выработках горного массива.

В 100-км зоне радиохимических предприятий система радиационного мониторинга строится исходя из условий воздушного переноса и необходимости контролировать распространение радионуклидов в направлении населенных пунктов.

В пунктах наблюдения постоянно определяются общие показатели радиоактивности – $\Sigma\beta$ и мощность γ -излучения – и техногенные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , имеющие глобальное распространение.

Таблица 15

Объемная активность ^{137}Cs в приземном слое атмосферы в 100-км зоне ГХК в 2012–2016 годах, 10^{-7} Бк/м³

Пункт наблюдения	Год	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	Среднее за год	Среднее по Западной Сибири
Большая Мурта	2012	3,9	7,2	11,0	2,6	6,2	4,5
	2013	3,3	н	8,2	4,5	1,3	4,5
	2014	4,8	4,1	5,3	2,8	4,3	3,1
	2015	2,8	4,7	2,8	2,0	3,1	2,2
	2016	2,7	2,8	4,6	1,3	2,5	3,0
	2017	2,8	1,0	1,0	1,4	1,6	1,7
Красноярск (опытное поле)	2012	н	1,6	4,0	0,3	1,7	4,5
	2013	1,3	1,5	1,2	4,0	2,0	4,5
	2014	1,4	1,5	5,1	0,6	2,2	3,1
	2015	н	2,1	н	н	–	2,2
	2016	н	н	н	2,3	1,8	3,0
	2017	1,0	1,0	н	н	1,0	1,7
Сухобужимское	2012	2,4	6,2	8,7	1,8	4,8	4,5
	2013	1,8	н	14,0	2,8	4,9	4,5
	2014	3,7	5,8	3,9	2,5	4,0	3,1
	2015	2,4	4,9	4,5	1,8	3,4	2,2
	2016	1,3	2,2	5,0	0,5	2,3	3,0
	2017	1,3	1,2	1,0	3,4	1,7	1,7
Уяр	2012	0,7	4,7	5,4	н	3,0	4,5
	2013	1,2	7,3	7,0	1,7	4,3	4,5
	2014	1,8	2,8	2,1	1,6	2,1	3,1
	2015	1,3	1,4	1,7	1,4	1,4	2,2
	2016	н	1,1	2,3	н	1,4	3,0
	2017	4,5	2,0	1,0	1,0	2,1	1,7

Примечание: н – ниже порога обнаружения

В таблице 15 приведены средние за квартал и год величины объемной активности ^{137}Cs в приземном воздухе пунктов наблюдения 100-км зоны ГХК и среднегодовые значения по Западной Сибири в 2012–2016 годах. Среднегодовые содержания в Красноярске и Уяре обычно ниже средних значений по региону, а в п. Б. Мурта и Сухобузимском чаще превышают средние по региону. Однако средние активности за квартал могут сильно отличаться от регионального фона. Максимальная величина наблюдалась в III квартале 2013 года в Сухобузимском – $14 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, что в 3,1 раза больше годового регионального фона в этот год ($4,5 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). Наиболее низкая измеренная величина была в I квартале 2012 года в п. Уяр – $0,7 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, что в 6,4 раза меньше годового регионального фона в этот год ($4,5 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). Иногда концентрация ^{137}Cs в течение квартала бывает ниже порога обнаружения.

Содержание ^{137}Cs в приземном слое атмосферы 100-км зоны ГХК, так же как и по территории Западной Сибири, в последние годы существенно не менялось, за исключением 2011 года во время прохождения по территории России аварийных выбросов на АЭС «Фукусима-1».

В 2016 году среднегодовые объемные активности ^{137}Cs снизились по сравнению с 2015 годом в п. Большая Мурта в 1,2 раза, в Сухобузимском – в 1,5 раза, в п. Уяр – остались на уровне предыдущего года. Указанные величины были значительно ниже допустимого критерия для данного радионуклида в воздухе по НРБ-99/2009 ($\text{ДОА}_{\text{НАС}} = 27 \text{ Бк/м}^3$) [11].

В таблице 16 даны средние величины объемной активности ^{90}Sr в приземном воздухе в 100-км зоне ГХК и среднегодовые значения по Западной Сибири, АТР и РФ в 2015–2016 годах. В связи с общим снижением фоновое уровня активности ^{90}Sr в воздухе многие пункты измерения переведены на полугодовой режим его измерения.

Таблица 16

Объемная активность ^{90}Sr в приземном слое атмосферы в 100-км зоне ГХК в 2015–2016 годах, 10^{-7} Бк/м³

Пункт наблюдения	2016			2015		
	I полугодие	II полугодие	Год	I полугодие	II полугодие	Год
Б. Мурта	1,4	1,9	1,65	2,3	0,8	1,55
Красноярск (опытное поле)	не раб.	2,1	2,1	2,2	не раб.	2,2
Сухобузимское	3,5	7,3	5,4	2,1	1,6	1,85
Уяр	0,4	0,7	0,55	0,9	0,6	0,75
Западная Сибирь	1,38	2,32	1,85	1,32	0,98	1,15
АТР	1,34	1,70	1,52	1,03	1,04	1,04
РФ	1,07	1,30	1,19	0,86	0,84	0,85

В пункте наблюдения Уяр объемная активность ^{90}Sr постоянно ниже регионального фона и фона по АТР и РФ, а в Сухобузимском – постоянно выше. Максимальное значение было зафиксировано в Сухобузимском во II полугодии 2016 года – $7,3 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, – что в 3,1 раза больше полугодового регионального фона в этот год ($2,32 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³) и в 5,6 раза больше фона РФ ($1,3 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). В Красноярске и п. Б. Мурта величины активности ^{90}Sr колеблются в диапазоне $0,8–2,2 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³.

Радиационная обстановка на сухопутных территориях Арктики – глобальные радиационные уровни

Начавшиеся освоение Северного морского пути и развитие арктических территорий с широким использованием атомного ледокольного флота и атомных электростанций, в том числе плавучих, делает актуальной систематическую оценку радиационной обстановки Арктического региона.

Сеть радиационного мониторинга атмосферного воздуха Российской Арктики состоит из 94 пунктов наблюдения за мощностью экспозиционной дозы, 43 пунктов наблюдений за радиоактивными выпадениями и 8 пунктов наблюдений за радиоактивными аэрозолями воздуха. Сеть мониторинга прибрежных вод включает 5 пунктов наблюдений на Белом море и 1 пункт – на Баренцевом.

На стационарных пунктах проводятся наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха ^{137}Cs и ^{90}Sr , прибрежных вод Белого и Баренцева морей – ^{90}Sr . Регулярно выполняются также экспедиционные исследования арктических морей.

Объемная активность ^{137}Cs в воздухе сухопутных территорий Арктики значительно ниже средневзвешенного значения по территории РФ.

Среднегодовая объемная активность ^{137}Cs в 2005–2010 и 2012–2015 годах колебалась в интервале $(0,2\text{--}2,0)\cdot 10^{-7}$ Бк/м³, за исключением Нарьян-Мара, где в некоторые годы среднее значение превышает $4,0\cdot 10^{-7}$ Бк/м³ (2007, 2015 годы). Для самого северного пункта наблюдения на о. Диксон в Карском море диапазон был еще меньше – в пределах $(0,2\text{--}0,7)\cdot 10^{-7}$ Бк/м³ (исключая 2011 г.). В 2011 г. объемная активность ^{137}Cs по всей европейской территории России увеличилась на 1–2 порядка за счет поступления аварийных выбросов с АЭС «Фукусима», но в Арктической зоне была существенно меньше, чем в среднем по России (рис. 32).

В 2016 году произошло увеличение объемной активности ^{137}Cs в Мурманске до $6,9\cdot 10^{-7}$ Бк/м³, а в 2017 году – до $8,9\cdot 10^{-7}$ Бк/м³.

Низкие величины объемной активности ^{137}Cs до 2016 г. наблюдались и в Мурманске – в диапазоне $(0,4\text{--}1,5)\cdot 10^{-7}$ Бк/м³ (кроме 2011 г.). Однако в III квартале 2016 года средняя за квартал величина увеличилась до $24\cdot 10^{-7}$ Бк/м³, а в IV квартале 2017 года – до $40\cdot 10^{-7}$ Бк/м³ (рис. 33). Без учета III квартала 2016 года и IV квартала 2017 года, среднегодовая величина объемной активности ^{137}Cs здесь составляет $1,1\cdot 10^{-7}$ и $1,3\cdot 10^{-7}$ Бк/м³ соответственно, что лежит в диапазоне величин за предшествующие 10 лет. Столь резкое увеличение может быть связано с неблагоприятными условиями трансграничного переноса или переноса выбросов Кольской АЭС.



Рис. 32. Объемная активность ^{137}Cs в приземной атмосфере в пунктах наблюдения сухопутных территорий Арктики и в среднем по Заполярью в 2005–2016 годах

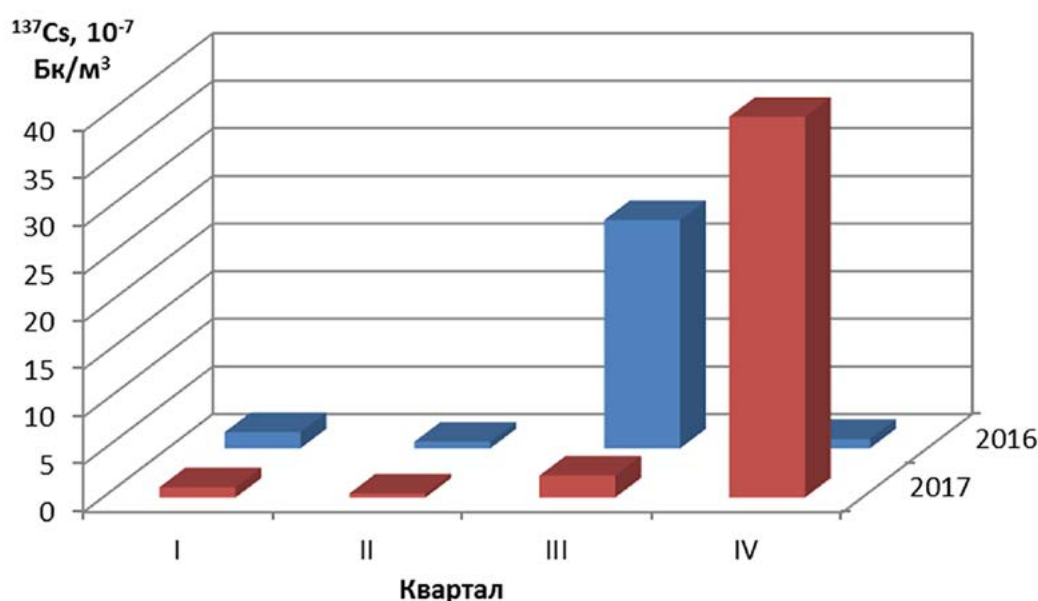


Рис. 33. Динамика средней за квартал величины объемной активности ^{137}Cs в воздухе в Мурманске в 2016–2017 годах

Объемная активность ^{90}Sr в воздухе Арктической зоны России (Диксон и Мурманск) до 2016 г. были ниже средневзвешенных по территории России примерно в 10 раз и колебалась в пределах от $0,02 \cdot 10^{-7}$ до $0,2 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$ (рис. 34). Аварийные выбросы АЭС «Фукусима-1», достигшие территории России, практически не содержали стронция и не отразились на величине объемной активности ^{90}Sr в 2011 г. Однако в 2016 г. наблюдается увеличение средних значений объемной активности, как в среднем по России, так и в Арктической зоне, особенно в Мурманске – до $1,03 \cdot 10^{-7} \text{ Bq/m}^3$.

За период с 2000 по 2016 годы объемная активность ^{90}Sr в прибрежных водах Белого и Баренцева морей колебалась в пределах $1,7$ – $4,4 \text{ мБк/л}$. Эти уровни занимают среднее положение по величине активности ^{90}Sr между наиболее низкими значениями в Тихом океане, у восточного побережья Камчатки, и водами Каспийского моря (рис. 35). При этом почти

всегда концентрация в Белом море выше, чем в Баренцевом. Однако в обоих случаях, как и в Тихом океане, в целом наблюдается стабилизация объемной активности ^{90}Sr в воде.

Колебания среднегодовых значений концентрации ^{90}Sr в Белом море обусловлены в основном меняющимися условиями выноса реками и затрудненным водообменом с открытыми морями.

В Баренцевом море, как показали многолетние совместные российско-норвежские исследования, проводимые с 1962 года, существенное влияние оказывает трансграничный перенос морскими течениями радионуклидов, удалявшихся в Ирландское море и пролив Ла-Манш с заводов по переработке облученного ядерного топлива Англии и Франции.

Таким образом, радиационное загрязнение воздушной среды и прибрежных вод Арктики находится на низком уровне.

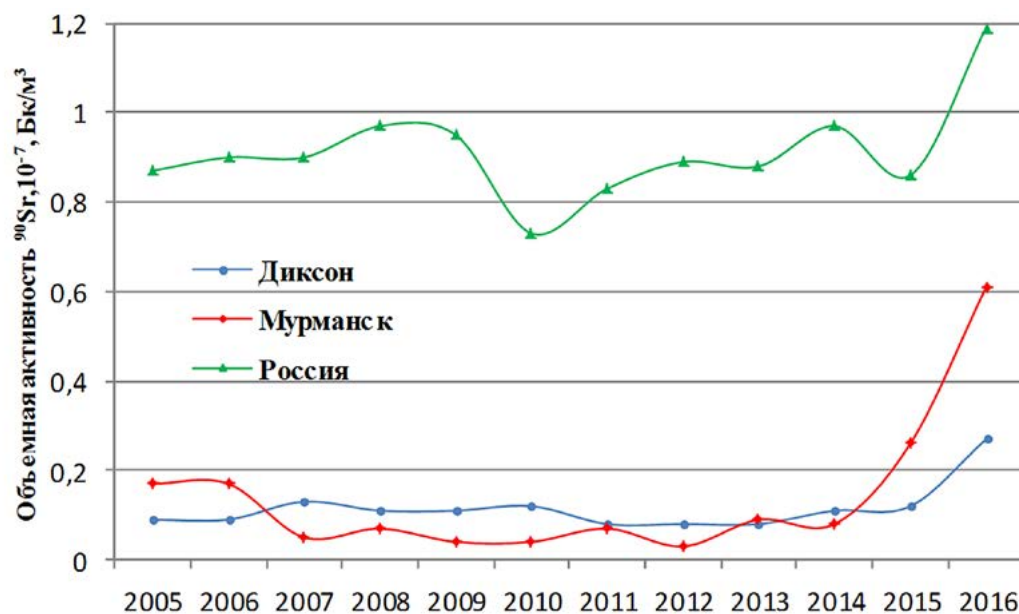


Рис. 34. Динамика объемной активности ^{90}Sr в воздухе на о. Диксон, в Мурманске и средневзвешенной по России в 2005–2016 годах

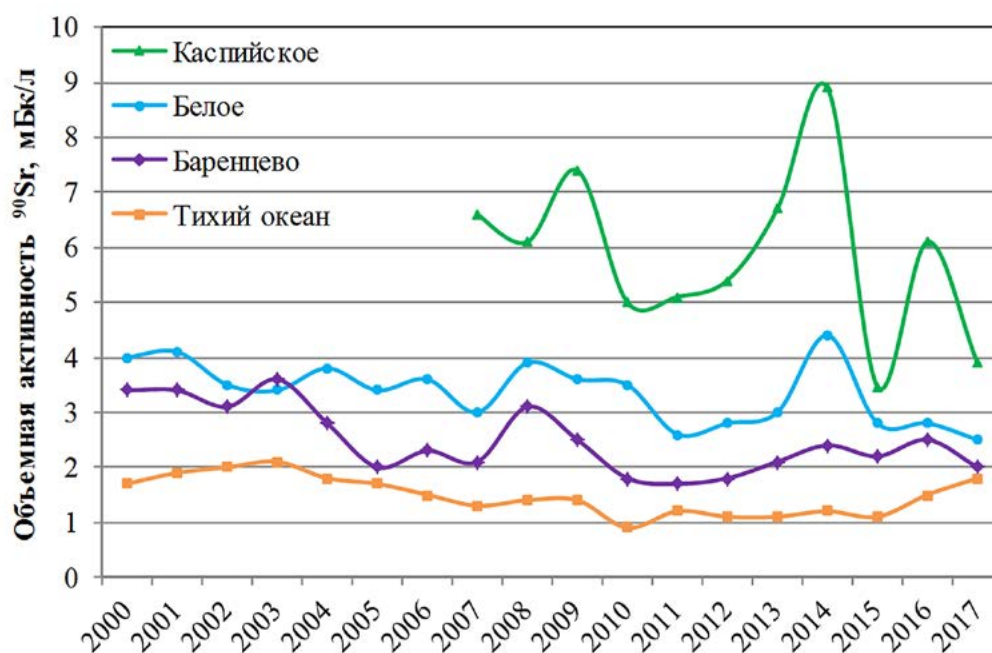


Рис. 35. Динамика объемной активности ^{90}Sr в прибрежных водах Белого и Баренцева морей в сравнении с водами Каспийского моря и Тихого океана вблизи восточного побережья Камчатки в 2000–2017 годах, мБк/л

Мониторинг радиационной обстановки в северных морях

Потенциальными источниками поступления техногенных радионуклидов в воды Баренцева моря являются затонувшие вследствие аварий атомные подводные лодки «Комсомолец», затонувшая в Норвежском море, и «К-159», затонувшая в Баренцевом море.

С целью контроля этих объектов в районах их нахождения проводятся периодические комплексные обследования морской среды: воды, донных отложений и морских организмов. Последняя такая экспедиция была в 2014 году.

Основные проблемы региона связаны с радиоактивными отходами базирующихся в Арктике военного и гражданского атомных флотов, хранением на технических базах отработавшего ядерного топлива атомного флота, утилизацией атомных судов. Радиационную опасность представляют затопленные в 50–60-х годах прошлого столетия в Баренцевом и Карском морях радиоактивные отходы, функционированием Кольской и Билибинской АЭС, а также последствия испытаний ядерного оружия на Новой Земле и многочисленные радиоизотопные генераторы береговых автономных навигационных систем.

На рисунке 36 показаны места слива жидких радиоактивных отходов и затоплений твердых радиоактивных отходов в Баренцевом и Карском морях в прошлом столетии [1].

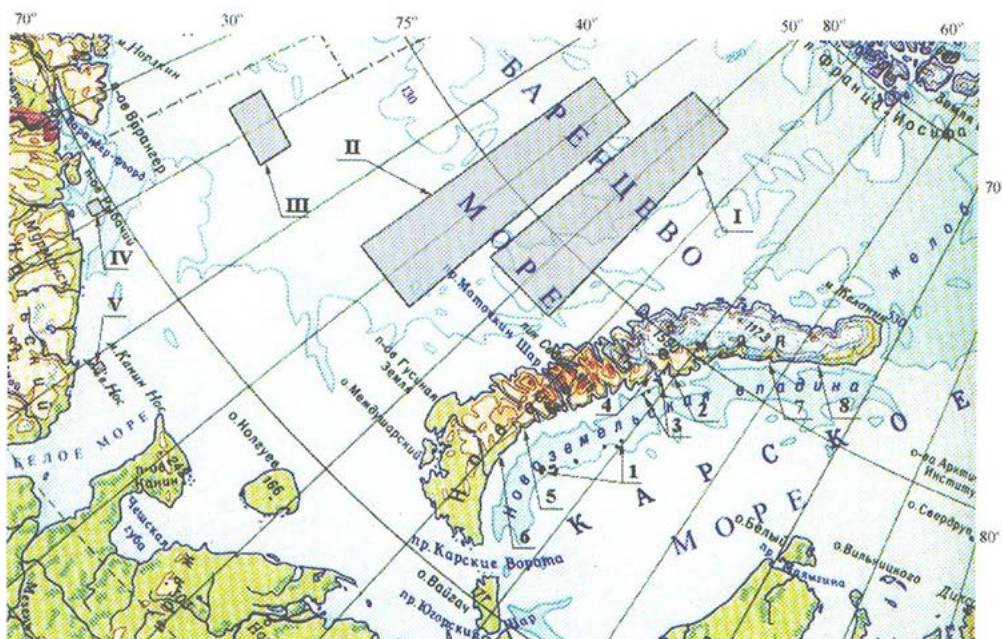


Рис. 36. Расположение районов слива жидких радиоактивных отходов и затоплений ТРО в Арктике. I-V – районы слива ЖРО; районы затопления твердых радиоактивных отходов: 1 – Новоземельская впадина Карского моря, 2 – залив Седова, 3 – залив Ога, 4 – залив Цивольки, 5 – залив Степового, 6 – залив Абросимова, 7 – залив Благополучия, 8 – залив Течений.

Определенную опасность представляет использование Россией в арктической зоне плавучих АЭС, атомных ледоколов.

Кроме того, в Арктику идет перенос радиоактивных отходов западноевропейских предприятий по переработке отработавшего ядерного топлива в Селлафилде (Великобритания) и предприятием на мысе Аг (Франция). В настоящее время сбросы этих предприятий низки, но нельзя исключить аварийных сбросов в будущем. Также возможны сливы жидких радиоактивных отходов в море.

Максимальное содержание техногенных радионуклидов в морской воде наблюдались в период интенсивных атмосферных испытаний ядерного оружия в начале 60-х годов прошлого века и в период наибольшего поступления отходов Селлафилда в начале 80-х годов прошлого века (табл. 4) [15].

Маршруты трех экспедиций специалистов ФГБУ «НПО «Тайфун» и Норвегии по радиационному мониторингу Арктики в 1992, 1993 и 1994 годах, в ходе которых была получена информация об уровнях радиоактивного загрязнения в открытых частях Баренцева и Карского морей, показаны на рисунке 37 [26,27, 28].

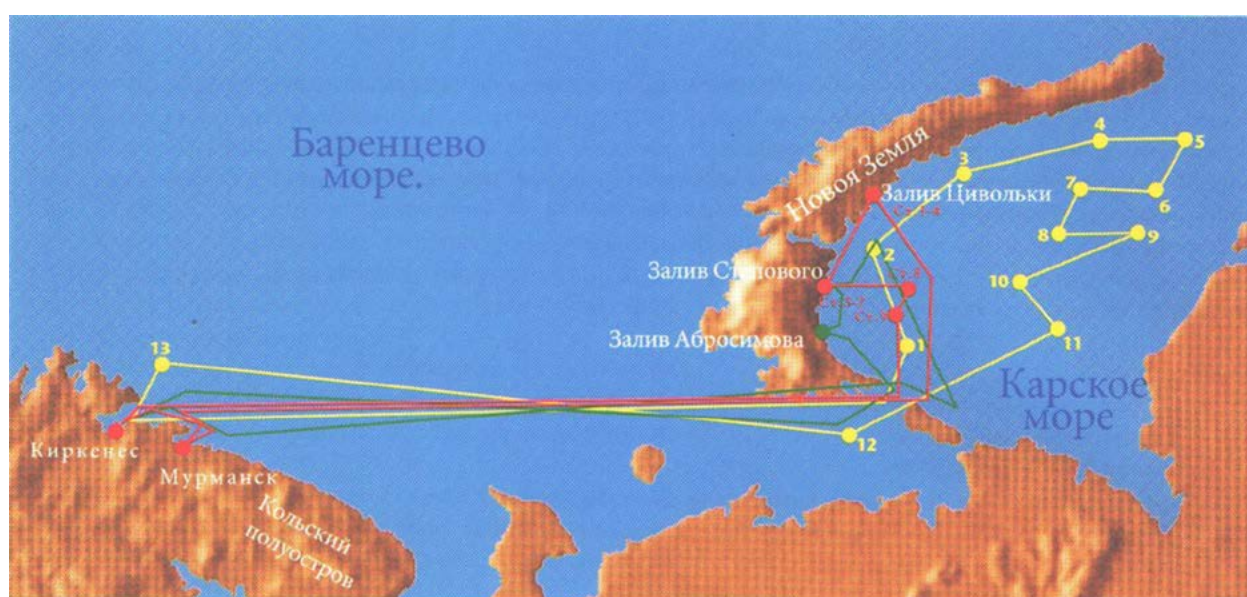


Рис. 37. Маршруты совместных российско-норвежских экспедиций в открытое Карское море и к местам захоронения радиоактивных отходов в Карском море в 1992 (желтый), 1993 (красный) и 1994 (зеленый) годах

В таблицах 17 и 18 приведены результаты исследования поверхностных вод и донных отложений для открытого Карского и Баренцева морей, полученные в совместной экспедиции 1992 года [27]. Следует обратить внимание, что в таблице 17 приведены данные по уровням загрязнения вод Баренцева и Карского морей долгоживущим радионуклидом ^{99}Tc . Интерес к ^{99}Tc связан с тем, что в 1994 году сбросы в Селлафилде возросли примерно в 50 раз. После уменьшения сбросов ^{99}Tc в Селлафилде в 2004–2005 годах наблюдалось постепенное снижение концентраций этого радионуклида в воде Баренцева моря.

По результатам экспедиции 1992 года не обнаружено влияния захороненных радиоактивных отходов на уровень радиоактивного загрязнения в открытом Карском море. Для изучения загрязнения непосредственно в местах захоронения объектов с отработавшим ядерным топливом в 1993–1994 годах были обследованы наиболее важные из них [15]:

- залив Цивольки (экранная сборка атомного ледокола «Ленин» с частью ОЯТ, а также реакторный отсек атомохода с реакторами без ОЯТ);
- залив Степового (АПЛ с ОЯТ);
- район захоронений в Новоземельской впадине (реактор АПЛ с ОЯТ);

– залив Абросимова (реакторные отсеки АПЛ с реакторами с ОЯТ и без него). В этих районах проводилось также затопление и других видов РАО (контейнеры с твердыми РАО (ТРО), загруженные ТРО суда, ТРО без упаковки).

Таблица 17

Концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{99}Tc в приповерхностных водах Карского и Баренцева морей в 1992 году, мБк/м³

Станция	^{137}Cs	^{90}Sr	^{99}Tc	^{238}Pu	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am
Карское море						
1	8100	3800	197	0,3	4,0	0,6
2	5300	3700	156	0,2	3,5	–
3	–	3500	–	–	3,5	–
4	5500	11400	–	–	4,4	0,8
5	3800	8300	64	0,3	7,7	1,5
6	3300	6700	63	–	4,3	0,5
7	7700	5500	172	0,1	1,8	–
8	6500	4300	–	–	2,8	–
9	7600	6300	135	–	3,0	0,5
10	7200	3100	150	0,3	2,5	–
11	7300	3800	155	0,2	3,1	–
Баренцево море						
12	7400	3600	157	–	2,0	–
13	5100	4200	144	0,2	7,5	0,7

Таблица 18

Запас ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ в верхнем слое донных отложений Карского и Баренцева морей в 1992 году, Бк/м²

Станция	^{137}Cs	$^{239+240}\text{Pu}$
Карское море		
1	280	18
2	120	2,5
3	330	9,9
4	270	6,1
5	500	24
7	350	9,3
8	340	8,3
10	360	9,5
Баренцево море		
12 (вблизи Карских ворот)	910	135

В таблицах 19–21 даны концентрации техногенных радионуклидов в морской воде и донных отложениях, полученные в 1992–1994 годах [29]. Повышенное содержание наблюдается в донных отложениях заливов Абросимова и Степового на расстоянии нескольких десятков метров от ряда затопленных объектов с радиоактивными веществами. Дальше оно уменьшалось до уровней, сопоставимых с концентрациями в открытом Карском море.

Таблица 19

Искусственные радионуклиды в донных отложениях заливов Абросимова и Степового вблизи затопленных объектов с радиоактивными веществами, Бк/кг сухого веса [27]

Объект	^{137}Cs	^{90}Sr	^{60}Co	$^{239+240}\text{Pu}$
Залив Абросимова				
Контейнеры	23–31 000	4–3 800	0,4–172	1–18
Баржа 1	46–196	0,3–3	1–2,5	1–2,6
Баржа 2	38–120	0,3–2	0,5–1,5	1–1,1
Баржа 3	39–54	1,3	1–53	0,7–1
Реакторные отсеки № 1 и № 2	33–8 445	8–3 250	1–61	1–5
Реакторный отсек № 3	43–61	0,4–22	1–11	1–1,3
Залив Степового				
Контейнеры	1–109 000	0,4–310	<0,2–3 150	<0,1–15
Подводная лодка	4–1670	0,4–8	<0,1–6	<0,1–6

Таблица 20

^{137}Cs и ^{90}Sr в морской воде в исследованных местах захоронения РАО в 1992–1994 годах в открытом Карском море, Бк/м³ [27]

Горизонт	Залив Абросимова		Залив Цивольки		Залив Степового		Новоземельская впадина		Карское море	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Поверхностные воды	4–7	2–4	4–6	4–6	3–9	2–7	4–7	2–3	3–8	3–11
Придонные воды	4–9	2–4	6–14	3–4	6–31	3–26	7–14	2–3	8–20	4–6

Таблица 21

Концентрации ^{137}Cs и ^{60}Co в поверхностном слое донных отложений (0–2 см) в местах захоронения РАО в 1992–1994 годах в открытом Карском море, Бк/кг сухого веса, [27]

Залив Абросимова		Залив Цивольки		Залив Степового		Новоземельская впадина		Карское море	
^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co
9–8 445	< 1–66	4–30	< 1–4	8–109 000	<1–3 150	7–30	< 1	2–53	< 1

В августе–сентябре 2002 года Росгидрометом было выполнено повторное обследование радиоактивного загрязнения морской среды в заливе Абросимова.

Полученные результаты распределения ^{137}Cs в поверхностном слое донных отложений показали, что радиационная обстановка на основной части акватории залива несколько улучшилась с 1994 года (рис. 38). Как и в 1994 году, существенное увеличение уровней загрязнения донных отложений ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co и $^{239+240}\text{Pu}$ наблюдалось только в непосредственной близости к затопленным объектам. Поэтому данные по пробам, отобранным вплотную к затопленным объектам, исключены из рассмотрения. Полученные результаты свидетельствовали о том, что за прошедшие между двумя съемками 8 лет не было заметного поступления радионуклидов в морскую среду из затопленных в заливе объектов.

В 2000–2003 годах были проведены работы по изучению влияния комбината «Маяк» и «Горно-химического комбината» на радиоактивное загрязнение Баренцева и Карского морей [28,30].

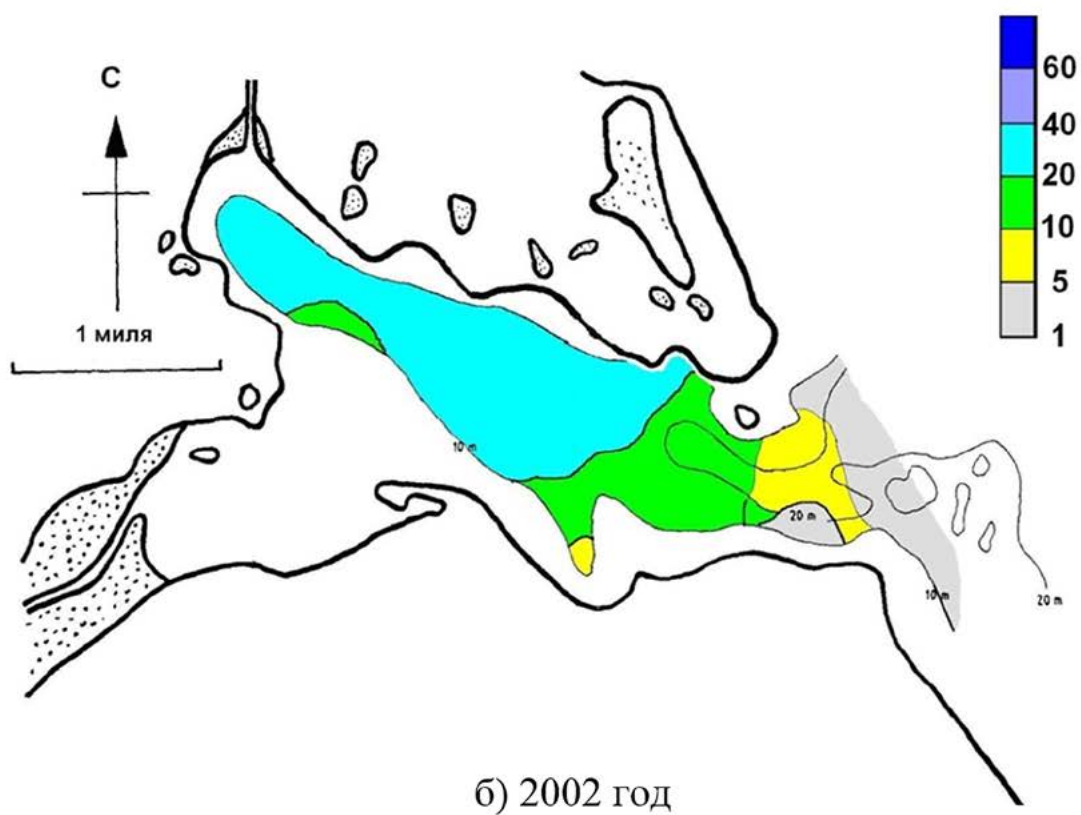
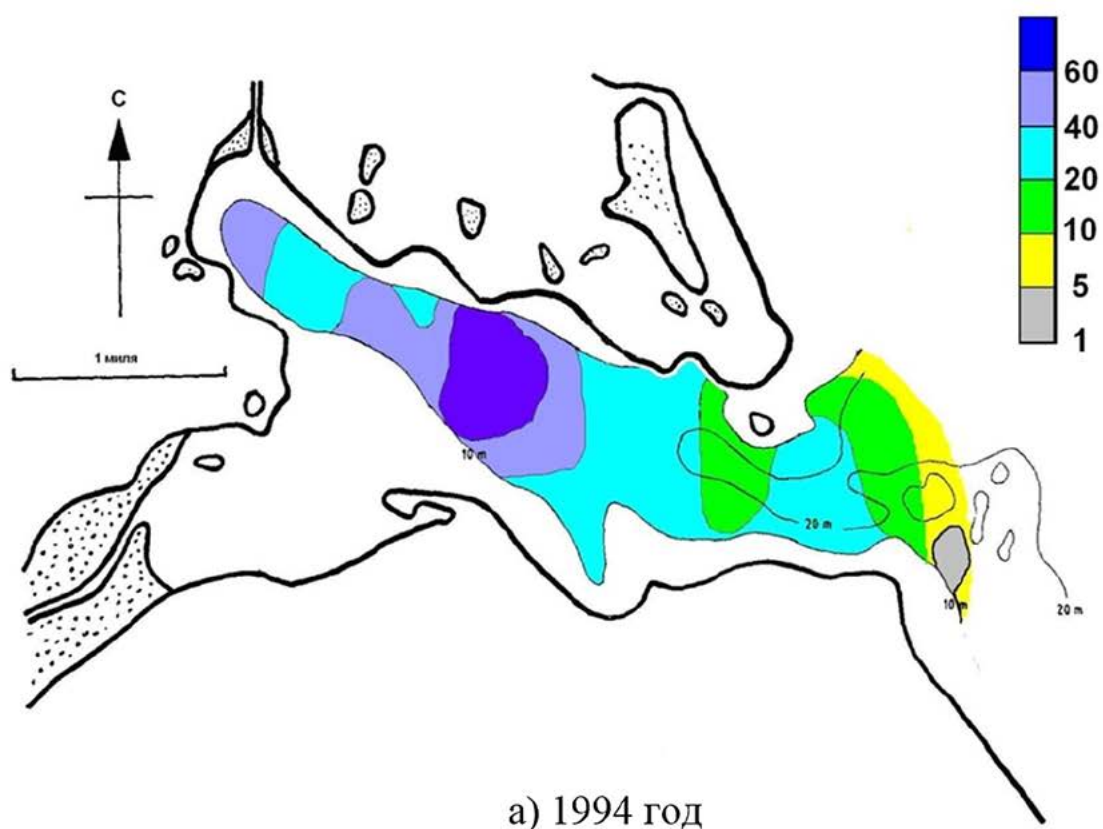


Рис. 38. Распределение ^{137}Cs (Бк/кг сухого веса) в поверхностном слое донных отложений залива Абросимова в 1994 (а) и 2002 (б) годах

Определение активности ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^3H в воде Енисейского залива и прилегающей части Карского моря показало, что их сбросы не привели к значительному увеличению содержания этих радионуклидов в водах.

Влияние сбросов ГХК было установлено по ^{60}Co в донных отложениях залива, хотя и в низких концентрациях – до 5 Бк/кг сухого веса.

С 25 сентября по 10 октября 2001 года на борту ОИС «Семен Дежнев» Северного флота были проведены совместные российско-норвежские работы по мониторингу состояния морской среды в связи с подъемом АПЛ «Курск» [31]. Во время экспедиции определялись ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, которые могли бы свидетельствовать об утечках радиоактивных материалов.

Содержание ^{137}Cs составило около 3 Бк/м³ в морской воде, 2–4 Бк/кг сырого веса – в поверхностном слое донных отложений и рыбе. Такие содержания радионуклида были обычны для Баренцева моря в тот период. Содержание ^{90}Sr в пробах поверхностной и придонной воды в месте нахождения АПЛ «Курск» после ее подъема составило 5,1 и 1,6 Бк/м³ соответственно [31]. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ составило 13,4 мБк/м³ в поверхностной воде и 3,8 мБк/м³ в придонной воде. Измеренные содержания ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в воде соответствовали характерным уровням в Баренцевом море.

Таким образом, подъем АПЛ «Курск» не оказал влияния на радиоэкологическую обстановку в Баренцевом море.

С 2006 года Норвежское агентство по радиационной защите и ФГБУ «НПО «Тайфун» проводят работы по проекту «Исследование радиоактивного загрязнения морской среды Баренцева моря». На рисунке 39 показано расположение станций отбора проб морской среды российской и норвежской сторонами.

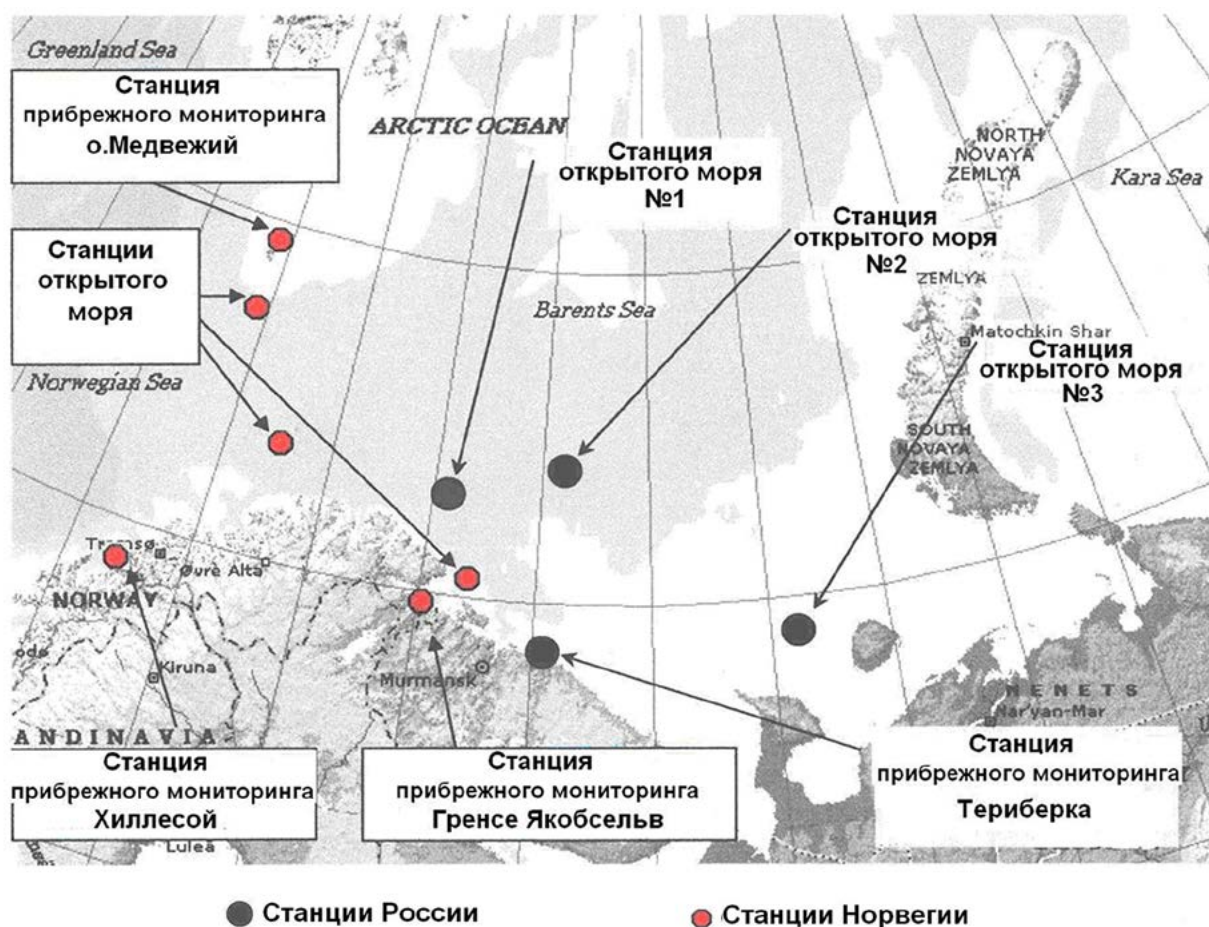


Рис. 39. Расположение станций отбора проб морской среды в рамках совместного проекта по мониторингу

Работы носят комплексный характер, одновременно определяются радионуклиды в морской воде, донных отложениях и почве, морской биоте (морской рыбе, водорослях и моллюсках). В пробах морской воды определяются ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^3H и ряд природных радионуклидов – ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{210}Pb . Имеющиеся на настоящий момент данные свидетельствуют об отсутствии заметного влияния радиационно опасных объектов на радиоактивное загрязнение объектов морской среды. Содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^3H находятся в диапазоне, характерном для глобального фона.

В 2012 году специалистами ряда российских и норвежских организаций была проведена экспедиция в заливе Степового (Новая Земля).

Целью экспедиции было детальное обследование внутренней части залива, где, согласно [15], затоплено около 2 000 контейнеров с радиоактивными отходами, а также оценка изменения радиационной обстановки, произошедшей с 1963–1964 годов, когда было выполнено первое обследование [32].

В целом радиоэкологическое состояние залива Степового улучшилось, концентрации определявшихся радионуклидов в морской воде, донных отложениях и биоте в 2012 году были ниже, чем в 1993–1994 годах.

В 2012 году наиболее высокие концентрации ^{137}Cs в донных отложениях наблюдались в более глубоких слоях, чем в 1993–1994 годах, что говорит о постепенном захоронении загрязненных слоев.

В ходе экспедиции была обнаружена атомная подводная лодка К-27 на глубине около 30 м во внешней части залива Степового без видимых повреждений. Вблизи корпуса в пробах воды и донных отложений утечки радионуклидов не обнаружено.

С 20 августа по 10 сентября 2014 года состоялась совместная российско-норвежская экспедиция в Баренцево море в район затонувшей атомной подводной лодки К-159 на научно-исследовательском судне «Иван Петров» (ФГБУ «Северное УГМС») (рис. 40). Задачей экспедиции было изучение уровня радиоактивного загрязнения морской среды (воды, донных отложений, биоты). Головной российской организацией было определено ФГБУ «НПО «Тайфун».



Рис. 40. Район работ совместной российско-норвежской экспедиции 2014 года в Баренцевом море в месте нахождения затонувшей АПЛ К-159

К-159 – это крупнейший объект, который представляет потенциальную угрозу радиоактивного загрязнения. Общая активность радионуклидов в реакторах на борту К-159 на момент затопления оценивалась в 7,4 ПБк. К-159 находится на глубине 246 м в российских территориальных водах на расстоянии менее 130 км от границы с Норвегией.

Полученные данные показали, что содержание радиоактивных веществ в районе затонувшей АПЛ не отличается от фоновых значений Баренцева моря. Утечки радиоактивных веществ из реакторов АПЛ К-159 не происходит.

В 2015 году начат еще один российско-норвежский проект: «Совместная российско-норвежская программа мониторинга радиоактивности в окружающей среде в северных районах Норвегии и Северо-Западной России».

В 2015 и 2016 годах сотрудниками ФГБУ «НПО «Тайфун» совместно с ФГБУ «Мурманское УГМС» были проведены экспедиционные работы в прибрежной части Баренцева моря в районе п. Териберка. В ходе работ обследовались поверхностная вода, донные отложения, биота (водоросли, рыба, моллюски), а также прибрежная часть суши (почва, наземная биота – лишайники, ягоды, грибы, пресноводная рыба). В ходе работ была организована новая станция морского мониторинга на побережье Белого моря в районе п. Умба. Работы на данной станции включали в себя отбор проб морской среды (поверхностная морская вода, донные отложения, морская биота). Запланировано, что работы будут проводиться каждые 3 года.

Радиоизотопный анализ проб морской среды, отобранных российскими участниками проекта, производился в лабораториях ФГБУ «НПО «Тайфун». В пробах воды определялся ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^3H , для донных отложений произведены гамма-спектрометрические измерения всех проб и определение ^{90}Sr и изотопов плутония в выборочных пробах. В таблицах 22–23 представлены данные, полученные в 2015–2016 годах.

Таблица 22

**Содержание искусственных радионуклидов в пробах морской воды
в 2015–2016 годах (рис. 37)**

Проба/ Станция	^{137}Cs , Бк/м ³		^{90}Sr , Бк/м ³	$^{239,240}\text{Pu}$, мБк/м ³		Тритий, Бк/м ³
	Взвесь	Фильтрат	Фильтрат	Взвесь	Фильтрат	Фильтрат
Прибрежный район отбора в окрестностях п.Териберка, отбор 16.09.2015:						
Проба 1	<0,01	1,03	1,48	-	4,48	510
Проба 2	<0,01	1,2	-	-	7,5	-
Прибрежный район отбора в окрестностях пос.Умба, отбор 22–23.09.2015:						
Проба 1	<0,01	1,6	3,78	-	9,75	820
Проба 2	<0,01	1,57	-	-	-	-
Прибрежный район отбора в окрестностях пос.Териберка, отбор 13–14.09.2016:						
Проба 1	<0,01	1,13	2,0	-	4,3	374
Проба 2	<0,014	1,23	-	-	-	-
Проба 3	<0,02	1,54	-	-	-	-
Станции открытого Баренцева моря, отбор 03–30.08.2016:						
Станция 1	<0,027	0,95	1,7	-	2,4	326
Станция 2	<0,017	1,44	1,3	0,93	4,8	256
Станция 3	<0,015	1,25	2,3	-	4,2	400
Станция 4	<0,02	1,92	3,4	-	5,51	877

Проведенный радионуклидный анализ проб прибрежной морской воды показал, что в 2015 и 2016 годах содержание техногенных радионуклидов практически не менялось и оставалось на уровне, характерном для открытого моря. ^{137}Cs и ^{90}Sr находился в основном в растворенном состоянии.

Таблица 23

**Содержание ^{137}Cs в пробах прибрежных донных отложений (0–3 см)
в 2015–2016 годах**

Место отбора	Дата отбора	Активность ^{137}Cs Бк/кг сух. веса
п. Териберка	16.09.2015	0,4–1,1
п. Умба	23.09.2015	0,2–6,5
п. Териберка	19.09.2016	0,3–0,4

Полученные данные свидетельствуют об отсутствии значимого влияния деятельности радиационно опасных объектов Кольского полуострова на радиоактивное загрязнение морской среды. Уровни содержания долгоживущих радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ в объектах морской среды находятся в диапазоне, характерном для глобального фона. Радионуклидов, характерных только для работы РОО и отсутствующих в составе глобального фона, в пробах морской среды обнаружено не было [24].

Развитие методологии оценки экологических рисков по данным мониторинга радиационной обстановки

В настоящее время МАГАТЭ, МКРЗ, НКДАР ООН и другие авторитетные международные организации наряду с приоритетным обеспечением безопасности человека проявляют значительный интерес к регулированию и научному обоснованию радиационной безопасности окружающей среды. В соответствии с международными основными нормами безопасности МОНБ-2014 нынешние и будущие поколения людей и окружающая среда должны быть защищены от радиационных рисков, при этом необходимо подтверждать (а не исходить из предположения), что окружающая среда защищена от промышленного радиационного воздействия.

Специалистами НПО «Тайфун» Росгидромета разработаны методические документы по оценке радиационной безопасности окружающей среды на основе методологии анализа риска и данных мониторинга радиационной обстановки, включающие оценку радиационных рисков, оценку радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды, порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах по экологическому и радиационно-гигиеническому критериям, порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в пресной воде и почве, методику определения радиационного фона [33–41].

Особенностью методологии анализа экологического риска является переход от множества параметров радиационной обстановки к единому интегральному показателю качества окружающей среды – уровню риска. Это позволяет сравнивать на единой методической основе различные объекты использования атомной энергии, рационально организовать мониторинг радиационной обстановки, ранжировать загрязненные территории, оптимизировать защитные меры по обеспечению приемлемого уровня радиационного риска, что имеет существенное практическое значение для обоснования принятия решений в области охраны окружающей среды и обеспечения устойчивого развития ядерной энергетики.

Предлагается использовать разработанные в рекомендациях Р-52.18.852–2016 и Р-52.18.853–2016 контрольные уровни как природоохранные показатели качества окружающей среды в отношении радиоактивности. Эти показатели могут найти практическое применение для оперативной оценки радиационной обстановки, обоснования нормативов выбросов и сбросов радиоактивных веществ, приоритетных мероприятий в планах действий по охране окружающей среды.

Изменения в радиационной обстановке могут выявляться и оцениваться по отношению к сложившемуся радиационному фону, который имеет как природное, так и

техногенное происхождение. В рекомендациях Р-52.18.863–2017 отдельно рассматриваются радиационный фон в районах радиационных объектов и региональный фон. Радиационный фон в районе радиационного объекта формируется любыми внешними по отношению к нему радиационными факторами и используется, прежде всего, для оценки воздействия объекта на радиационную обстановку. Региональный фон определяется вдали от радиационных объектов, на территориях, где их влияние при нормальной работе пренебрежимо мало. Техногенная составляющая регионального фона обусловлена наличием в окружающей среде радионуклидов, которые появились в результате ядерных взрывов, радиационных аварий и дальнего переноса радионуклидов. Для определения радиационного фона используются данные мониторинга радиационной обстановки (федеральной сети радиометрических наблюдений, территориальной и локальной системы наблюдений).

Разработанные методические рекомендации апробированы для различных радиоэкологических ситуаций как в штатных условиях эксплуатации объектов использования атомной энергии, так и для случаев радиационных аварий [33–36].

В качестве иллюстрации на рисунке 41 представлены оценки радиационных рисков для населения районов АЭС. В штатных условиях эксплуатации уровни радиационного воздействия АЭС не превышают значений пренебрежимо малого риска.

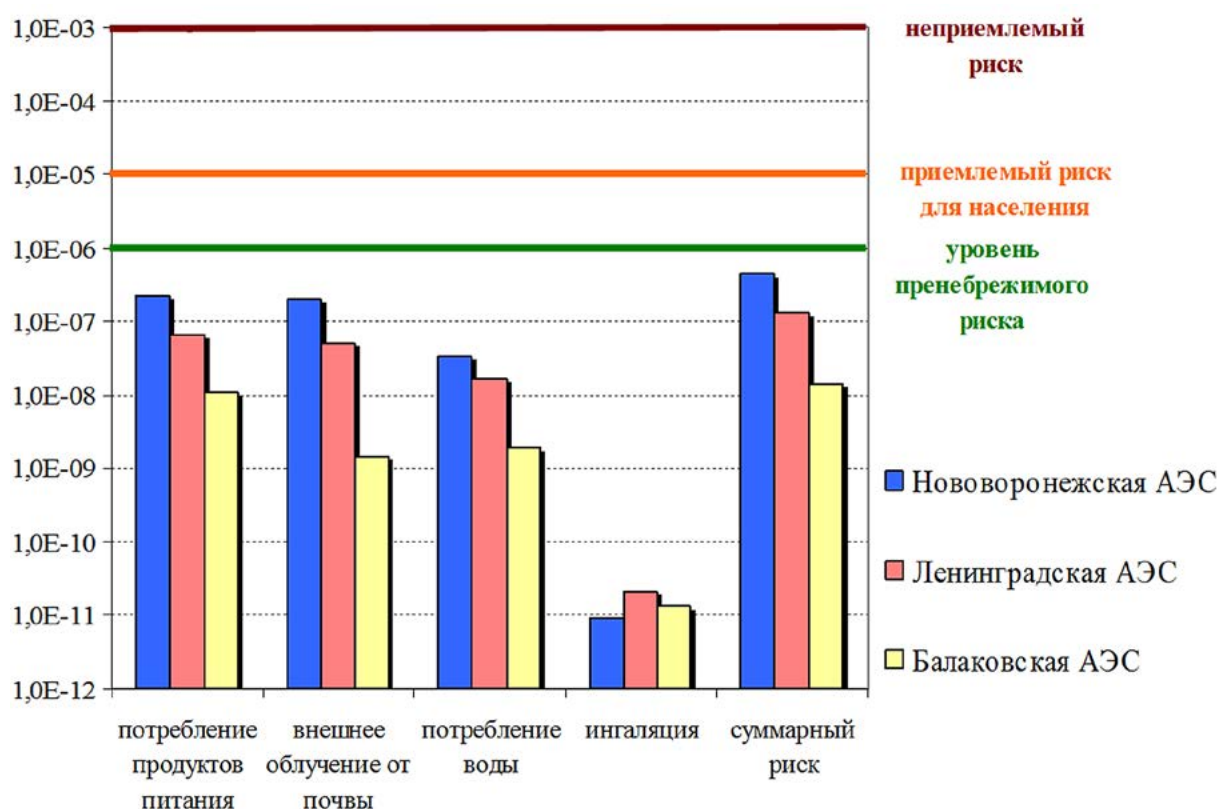


Рис. 41. Оценки рисков от техногенных радионуклидов в окружающей среде при штатных условиях эксплуатации АЭС

Сравнительные оценки экологических рисков в районах расположения объектов использования атомной энергии, рассчитанные на основе данных многолетнего мониторинга радиационной обстановки представлены в таблице 24. Согласно расчетным оценкам, экологические риски в районах АЭС изменяются в широких пределах – от 10^{-7} до $2 \cdot 10^{-2}$, что в $50\text{--}10^7$ раз меньше экологически безопасного уровня риска для биоты.

Максимальный уровень риска отмечается для биоты реки Ольховка, загрязненной в результате прошлой деятельности Белоярской АЭС. Современные уровни экологического риска в районах АЭС не превышают $4 \cdot 10^{-4}$ для гидробионтов и $5 \cdot 10^{-3}$ – для наземной биоты, что соответственно в 2 500 и 200 раз ниже экологически безопасного уровня облучения (БУОБ).

Таблица 24

**Сравнительные оценки экологических рисков
от радиоактивного загрязнения окружающей среды**

Объект использования атомной энергии	Наземная биота	Водная биота
Белоярская АЭС (2000–2016)	$2 \cdot 10^{-3} - 9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2}$
Ленинградская АЭС (2000–2016)	$8 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-4}$
Нововоронежская АЭС (2000–2016)	$1 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-5}$
ПО «Маяк» ВУРС (2017)	0,001–1	0,007–0,7
Сибирский химический комбинат 2000 – 2008 2009 – 2016	$1 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-1}$ $1 \cdot 10^{-5} - 9 \cdot 10^{-4}$
Горно-химический комбинат 2000 – 2010 2011 – 2016	$1 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$
Приаргунское ПГХО (2000–2016)	$4 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1} - 6 \cdot 10^{-1}$

Уровни экологических рисков на территории ВУРС через 60 лет после радиационной аварии на ПО «Маяк» снизились до значений, не превышающих БУОБ. Максимальное значение экологического риска в районе СХК отмечалось в период работы ядерных реакторов (2000–2008 гг.) и достигало для гидробионтов в зоне распространения сбросов $2 \cdot 10^{-1}$, что в 5 раз меньше безопасного уровня. Максимальные значения экологического риска в районе ГХК в период работы ядерного реактора (2000–2010 гг.) достигали $3 \cdot 10^{-3}$, что в 330 раз ниже безопасного уровня. После остановки ядерных реакторов экологические риски для гидробионтов в районах СХК и ГХК значительно уменьшились и сопоставимы в настоящее время с экологическими рисками АЭС. Для наземной биоты современные значения экологических рисков в районе СХК не превышают $2 \cdot 10^{-4}$, для ГХК – $5 \cdot 10^{-4}$, т.е. в тысячи раз ниже БУОБ.

Вблизи уранового производства ППГХО значения экологического риска достигают $5 \cdot 10^{-2}$ для наземной биоты, и $6 \cdot 10^{-1}$ – для гидробионтов, что несколько ниже БУОБ.

В целом можно сделать вывод о том, что деятельность рассмотренных ОИАЭ (АЭС, радиохимических комбинатов, уранового производства) не приводила в исследуемый период к превышению экологически безопасного уровня облучения и соответствующего ему значения экологического риска для биоты.

Представление информации о радиационной обстановке

Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки – ЕГАСМРО

Сетью радиационного мониторинга Росгидромета генерируется огромный объем информационной продукции. Эта продукция предоставляется государственным органам власти и населению в виде ежегодников, справок и бюллетеней.

В электронном виде информация о радиационной обстановке на территории Российской Федерации представлена на сайте Единой государственной автоматизированной системы радиационного мониторинга (ЕГАСМРО) (<http://egasmro.ru>).

На сайте ЕГАСМРО пользователь может получить текущую оперативную информацию о мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на территории РФ в режиме онлайн, а также систематически пополняемую информацию – Ежегодник о радиационной обстановке на территории России и сопредельных государств, издаваемый Росгидрометом, ежегодные экологические отчеты ОАО «Росэнергоатом» для всех российских АЭС, ежемесячные бюллетени о радиационной обстановке на территории России по данным сети радиационного мониторинга Росгидромета.

Основными задачами ЕГАСМРО являются измерение параметров радиоактивного загрязнения, определение динамики изменения радиационной обстановки, оперативное выявление фактов ее ухудшения, анализ, прогноз и представление информации уполномоченным органам (рис. 42).

ЕГАСМРО имеет иерархическую структуру и включает три уровня сбора, анализа и обобщения информации – локальный, территориальный и федеральный (рис. 43).

К локальному уровню относятся измерительные средства, сети, службы (отделы) объектов систем контроля радиационной обстановки (РО), представляющие в установленном порядке измерительную информацию о параметрах РО в ЕГАСМРО.

К территориальному уровню относятся информационно-аналитические центры (далее – ИАЦ) подсистемы ЕГАСМРО субъекта Российской Федерации, а также региональные ИАЦ.

К федеральному уровню относятся головные ИАЦ ведомственных подсистем и служб и Главный ИАЦ ЕГАСМРО со средствами коммуникации, с помощью которых осуществляется информационный обмен с ИАЦ всех уровней, а также с взаимодействующими российскими и зарубежными информационными системами.

ГИАЦ ЕГАСМРО является информационно-аналитическим центром федерального уровня.

В состав участников ЕГАСМРО входят федеральные органы исполнительной власти, ответственные за организацию радиационного мониторинга. К ним относятся – Росгидромет (координатор), Минприроды (требования к сбору, обработке, хранению,

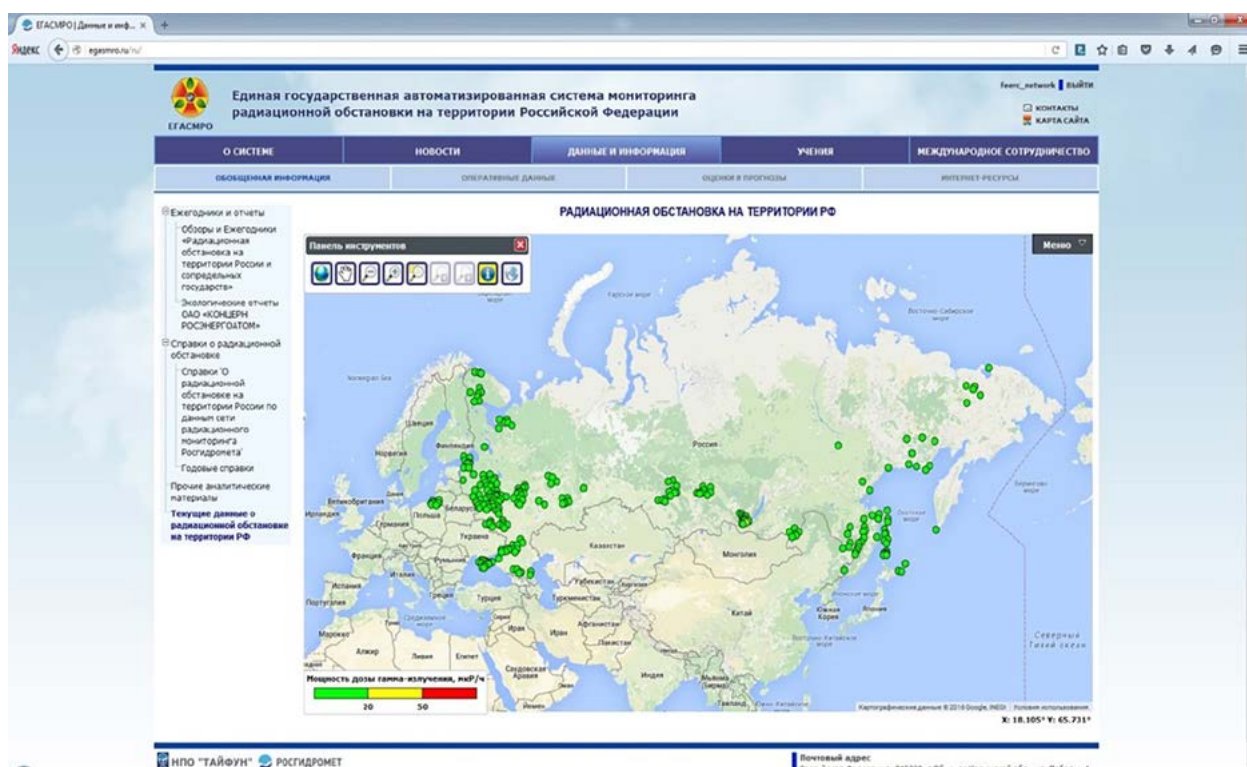


Рис. 42. Скриншот главной страницы сайта ЕГАСМО

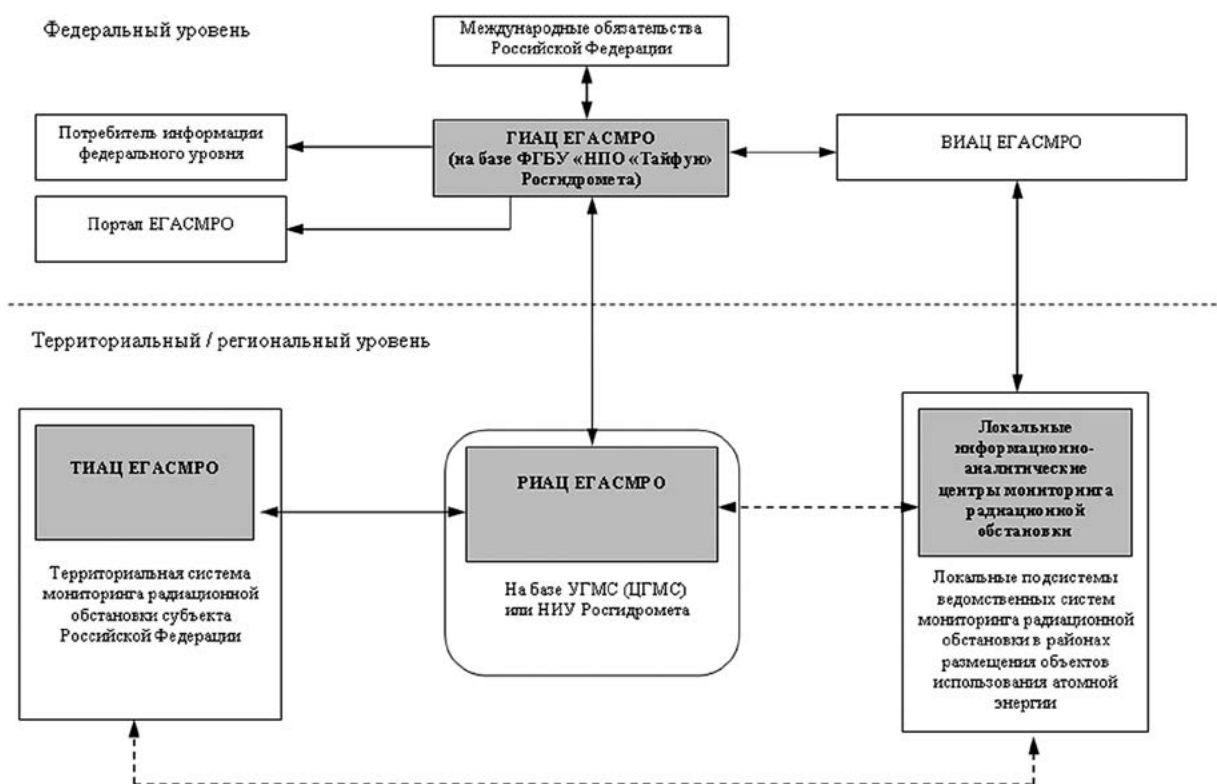


Рис. 43. Общая схема организации взаимодействия в ЕГАСМО

предоставлению, распространению информации), ГК «Росатом», Минпромторг России, территориальные АСКРО (поставщики информации), МЧС России, Ростехнадзор, ФМБА России, Минсельхоз России (потребители информации).

В режиме реального времени в ГИАЦ поступают данные от Гидрометцентра РФ, результаты измерений метеорологических параметров, выполненных метеорологическими станциями Росгидромета, а также результаты мониторинга радиационной обстановки от сети Росгидромета, отраслевых АСКРО Госкорпорации «Росатом» (АЭС и РОО первой категории) и территориальных АСКРО субъектов РФ (18 субъектов).

Межведомственная информационная система (МИС) «Радиационная безопасность населения Российской Федерации»

На странице Росгидромета Интернет-портала «Радиационная безопасность населения Российской Федерации» представлена информация о плотности загрязнения цезием-137 населенных пунктов субъектов РФ, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году (<http://rb.mchs.gov.ru/rosgidromet>).

Единая межведомственная информационная система (МИС) по вопросам обеспечения радиационной безопасности населения и проблемам преодоления последствий радиационных аварий создана в рамках мероприятий Федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» тремя ведомствами – МЧС России, Росгидрометом и Роспотребнадзором (рис. 44).

Основные цели Росгидромета на Интернет-портале МИС:

- Сохранение научного и исторического опыта, накопленного в Росгидромете, по вопросам преодоления последствий радиационных аварий и наблюдений за радиационной обстановкой в загрязненных районах.
- Повышение информированности населения о загрязнении территорий населенных пунктов после радиационных аварий.

Реализация первой цели – это создание на странице Росгидромета раздела Архив документов, второй цели – раздела Справочные услуги.



Рис. 44. Скриншот страницы Росгидромета на МИС

Архив документов

Архив документов состоит из двух больших разделов – Каталог документов и Карты.

В Каталоге документов содержатся документы, имеющие историческую ценность и относящиеся к проблеме ликвидации последствий радиационных аварий. Каталог документов содержит два верхних уровня:

- Нормативные документы, связанные с радиационными авариями;
- Документы, связанные с радиационным мониторингом окружающей среды.

Особый интерес в разделе «Документы, связанные с радиационным мониторингом окружающей среды» представляет раздел «Исторические документы». В нем представлены документы-первоисточники, которые относятся к созданию радиометрической службы и развитию и регламентированию ее деятельности в период до распада СССР. Они показывают предпринятые органами власти меры по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, а также процесс реагирования на последствия чернобыльской аварии с точки зрения развертывания сети наблюдений, организации экспедиций, получения первых данных и принятия первых решений об отселении на высоком государственном уровне.

Документы носят уникальный характер, некоторые из них сохранились в единственном экземпляре.

Каждый уровень данного Каталога содержит более подробные уровни, включая метаописания документов. На нижнем уровне можно познакомиться с исходными документами, отсканированными в формате .pdf.

В разделе «Карты» представлены уникальные скан-образы карт радиационной обстановки на территории СССР и некоторых стран зарубежья в ранний период после аварии на ЧАЭС, полученные методом авиационной гамма-съемки и наземных наблюдений на метеостанциях и постах. Все карты относятся к периоду с 4 по 30 мая 1986 года (рис. 45).

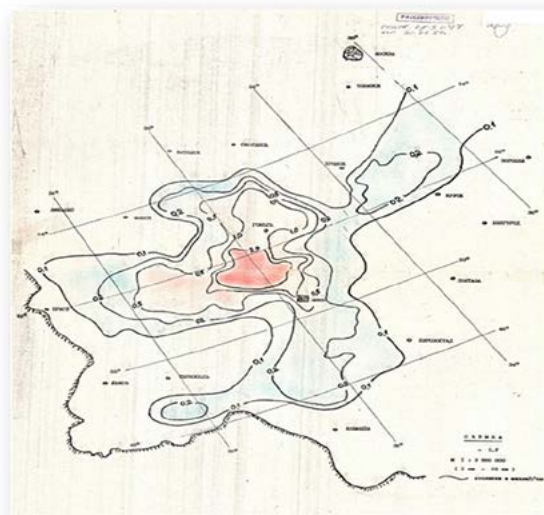
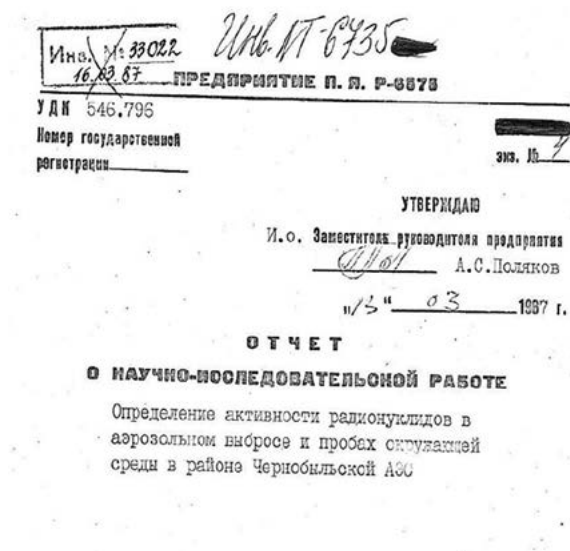


Рис. 45. Пример документа из Архива и скан-образа из раздела Карты

Справочные услуги

В этом разделе пользователю предоставляется уникальная возможность осуществить интерактивный запрос к БД «Чернобыль» и получить информацию за 1986 по настоящее время о плотности загрязнения цезием-137 населенного пункта на территории субъекта РФ, пострадавшего в результате аварии на ЧАЭС.

Дополнительно пользователь получает информацию о дате первого и последнего обследования, количестве отобранных проб и информацию о льготном статусе

населенного пункта в соответствии с Перечнем населенных пунктов, установленных Постановлением Правительства РФ от 08.10.2015 №1074.

В результате этого запроса пользователь получает официальную справку с интересующей его информацией (рис. 46).

Справочные услуги

Получение сведений о радиоактивном загрязнении местности

Уважаемый (-ая) Ирина Иванова, Вы выбрали

Область: Калужская

Район:

АТД (сельсовет,...):

Населенный пункт:

Отправить запрос

Сформировать запрос к базе данных "Чернобыль"

Уважаемый (-ая) Ирина Иванова,

На Ваш запрос от 30/10/2015 сообщаем, что в населенном пункте Калужская обл., респ.], Хвастовичский [р-н], Палькевичский [с/с], Палькевичи обследование впервые проводилось в 1986 году, последнее обследование проводилось в 1991 году.

На 1986 год средний уровень загрязнения территории населенного пункта радионуклидом Cs-137 составляет 0.3 Ки/км².

Количество проб за период от первого обследования до запрашиваемого года: 2.

Ответ подготовлен на основе базы данных «Чернобыль» и базы данных «Чернобыль 2» ФГБУ «НПО Тайфун».

Если вы не нашли свой населенный пункт или нуждаетесь в дополнительных сведениях, обратитесь, пожалуйста, с письменным запросом по адресу: 249031 Калужская обл., г. Обнинск, Победы 4, ФГБУ «НПО «Тайфун», директору ИПМ В.Г. Булгакову.

Также информацию можно получить:

Тел. (484)397-16-35 Яхрушин Валерий Николаевич, эл. почта valera@graturnoon.ru

Тел. (484)397-15-95 Купринова Ирина Александровна, эл. почта kouprinova@graturnoon.ru

Рис. 46. Пример запроса и ответа на него в разделе Справочные услуги

Заключение

Начиная с периода испытаний ядерного оружия и с началом развития ядерной энергетики в Советском Союзе была создана и продолжает развиваться на территории Российской Федерации государственная радиометрическая сеть Росгидромета. На ее базе получены многолетние ряды наблюдений за динамикой техногенного радиационного фона на территории России. После запрещения ядерных испытаний содержание в атмосфере и поверхностных водах долгоживущих техногенных радионуклидов, таких как ^{137}Cs , ^{90}Sr и изотопы плутония, уменьшалось, однако в 1986 году в ряде регионов России произошло значительное увеличение техногенной радиоактивности окружающей среды, в долгосрочном аспекте в основном за счет ^{137}Cs . В настоящее время на большей части территории России такие параметры радиационного фона, как мощность дозы гамма-излучения и суммарная β -активность определяются естественной радиоактивностью окружающей среды.

В системе радиационного мониторинга Росгидромета наблюдения за параметрами радиоактивного фона основываются на использовании современных технических средств и чувствительных методов измерений. Это позволяет определять активность радионуклидов в окружающей среде, поступающих с выбросами и сбросами при штатном функционировании РОО, и следить за изменением радиационной обстановки в районах их воздействия.

Как показали результаты работы радиометрической сети Росгидромета в период аварии на АЭС «Фукусима-1», сеть Росгидромета является эффективным инструментом обеспечения безопасности населения и окружающей среды в случае возникновения радиационных аварий и инцидентов, в том числе и на сопредельных территориях. Данные, генерируемые в системе радиационного мониторинга Росгидромета, позволяют оценить радиационную обстановку и ее динамику на всей территории России.

В рамках системы мониторинга Росгидромета проводятся экспедиционные радиоэкологические обследования поверхностных вод, включая морские акватории. Комплексные радиоэкологические обследования речной системы Теча–Исеть–Тобол–Иртыш–Обь позволили оценить влияние прошлой деятельности ПО «Маяк» на содержание ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и трития в компонентах речной экосистемы, разработать и тестировать по данным наблюдений радиоэкологическую модель миграции радионуклидов в речных системах. Было показано, что превышение фонового уровня ^{90}Sr в речной воде наблюдается на расстоянии более 1000 км, вплоть до впадения Иртыша в Обь.

Возможность переноса радионуклидов на дальние расстояния была показана и в более ранних исследованиях. Так, проведенные в 1973 году детальные обследования загрязнения воды, донных отложений и пойменных почв в Енисее установили, что источником радиоактивного загрязнения были сбросы технологических вод Красноярского ГХК, расположенного на расстоянии около 2 000 км от устья.

Влияние дальнего переноса радионуклидов наблюдается и в морских водах. При обследовании радиоактивности морей Арктики, которые проводились сотрудниками

НПО «Тайфун», было обнаружено повышенное содержание радионуклидов в Баренцевом, Карском и Гренландском морях и затем доказано, что основной причиной являются радиоактивные сбросы с предприятий Великобритании в Ирландское море.

В настоящее время радиационные обследования Арктических морей проводятся преимущественно с целью наблюдения за потенциальными источниками их радиоактивного загрязнения.

Наряду с регулярными наблюдениями проводятся экспедиционные обследования территорий в районах, загрязненных в результате аварий на ЧАЭС и ПО «Маяк», в районах мирных ядерных взрывов, что позволяет контролировать динамику радиационной обстановки и прогнозировать сроки реабилитации территорий.

В НПО «Тайфун» развиваются методология оценки радиоэкологических рисков в районах радиационных объектов, методы и технологии сбора, хранения и представления информации, что способствует повышению безопасности расширяющегося использования радиоактивных материалов в разных сферах хозяйственной деятельности.

Информация о радиационной обстановке на территории России предоставляется государственным органам власти и населению в виде ежегодников, справок и бюллетеней, а также на Интернет-сайте Единой государственной автоматизированной системы радиационного мониторинга (ЕГАСМРО), в том числе и в режиме реального времени.

Развитие новых технологий с использованием радиоактивных материалов, например, в области фармацевтики, систем безопасности на радиационно опасных объектах, а также современные стандарты в области радиационной безопасности приводят к появлению новых вызовов и требований к развитию государственного мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации. Существует острая необходимость в обеспечении согласованного функционирования систем радиационного мониторинга различных ведомств, прежде всего Росгидромета и ГК «Росатом». Необходимо расширить перечень радионуклидов, подлежащих мониторингу в окружающей среде (^{14}C , ^3H в воздухе и др.). Важно также обеспечить, особенно в районах расположения РОО, внедрение современных средств и программ наблюдений, позволяющих осуществлять эффективный радиационный мониторинг при штатном функционировании РОО и оперативно выявлять изменения в радиационной обстановке.

Литература

1. Отчет о НИР «Загрязнение окружающей среды в Советском Союзе радиоактивными продуктами деления урана и плутония». Обнинск, 1962 г. С. 23. Фонд данных ФГБУ «НПО «Тайфун». Инв. № 146.
2. *Махонько К.П.* Поведение в атмосфере радиоактивных продуктов ядерных взрывов. С.-Пб.: Гидрометиздат. 2002. С. 163.
3. *Сойфер В.Н., Горячев В.А., Вакуловский С.М., Катрич И.Ю.* Тритиевые исследования природных вод в России. М.: ГЕОС. 2008. 286 с.
4. *Jonzel J., Merlivat L.* Low-level tritium measurement in water: a complete system including liquid scintillation gas counting and electrolysis. Meth. Low-level Counting and Spectrom. Proc. Int. Symp., Berlin (West) 6–10 Apr. 1981. Vienna. 1981. P. 325–334. IAEA-SM-/252/54
5. *Povinec P.* Radioactivity produced in the earth's atmosphere by solar particles. Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis comenianae Physica. 1977. Vol.18. P. 151–164.
6. *Смирнов В.В.* Ионизация в атмосфере. С.-Пб.: Гидрометеиздат. 1992. 312 с.
7. *Тертышник Э.Г., Малахов С.Г.* Измерение концентрации криптона-85 в атмосферном воздухе. В сб. Труды Института экспериментальной метеорологии: Загрязнение природных сред. Вып. 3 (42). М.: Гидрометеиздат. 1974. С. 60–64.
8. *Тертышник Э.Г., Корсаков А.Т.* Темпы накопления ^{85}Kr в атмосфере // Атомная энергия. 1990. Т. 68. Вып. 4. С. 267–271.
9. МАГАТЭ, Безопасное обращение с плутонием и его хранение, серия по безопасности №9. 2001. 124 с.
10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году. Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2015. 322 с.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009.
12. *Вакуловский С.М., Крышев И.И., Никитин А.И. и др.* Оценка влияния Красноярского горно-химического комбината на радиоэкологическое состояние реки Енисей // Известия вузов. Ядерная энергетика. 1994. № 2–3. С. 124–129.
13. *Вакуловский С.М., Никитин А.И., Чумичев В.Б.* О загрязнении арктических морей радиоактивными отходами западноевропейских радиохимических заводов // Атомная энергия. Т. 58. Вып. 6. 1985. С. 445–449.
14. *Вакуловский С.М., Катрич И.Ю., Краснопевцев Ю.В. и др.* О загрязнении Атлантического океана и его морей радиоактивными продуктами. Океанология. Т. XXI. 1981. Вып. 2. С. 257–265.
15. *Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л., Губин А.Т., Данилян В.А., Кобзев В.И., Крышев И.И., Лавковский С.А., Мазокин В.А., Никитин А.И., Петров О.И., Пологих Б.Г., Скорик Ю.И.* Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря. («Белая книга–2000»). М.: ИздАТ. 2005. 624 с.

16. Отчет о НИР. Результаты экспедиционных исследований радиоактивного загрязнения Японского моря и северо-западной части Тихого океана после аварии на японской АЭС «Фукусима-1» (87-й рейс НИС «Павел Гордиенко»). Обнинск. 2011. 38 с.
17. Nikitin, A.I., Chumichev, V.B., Valetova N.K. et al. The current content of artificial radionuclides in the water of the Tobol-Irtysh river system (from the mouth of the Iset River to the confluence with the Ob River). *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007. Vol. 96. Issues 1–3. P. 138–143.
18. Никитин А.И., Крышев И.И., Чумичев В.Б., Крышев А.И., Валетова Н.К., Кабанов А.И., Катрич И.Ю., Рябцев И.А., Пельгунова Л.А., Полякова Н.И., Родин В.М., Мироненко А.Н. Радиоэкологический мониторинг Обь-Иртышской речной системы. Сборник материалов международной конференции «Радиоэкология: итоги, современное состояние и перспективы» (Москва, 3–5 июня 2008 года). С. 151–167.
19. Nikitin A.I., Kryshev I.I., Bashkirov N.I., Valetova N.K., Dunaev G.E., Kabanov A.I., Katrich I. Yu., Krutovsky A.O., Nikitin V.A., Petrenko G.I., Polukhina A.M., Selivanova G.V., Shkuro V.N. Up-to-date concentrations of long-lived artificial radionuclides in the Tom and Ob rivers in the area influenced by discharges from Siberian chemical combine. – *Journal of Environmental Radioactivity*. 2012. Vol. 108. P. 15–23.
20. Роговский И.А., Циглер В.Э., Банникова О.А., Корзунина Е.С. Радиационная обстановка на территории деятельности Уральского УГМС в 2016 году // Ежегодник. Екатеринбург: Уральское УГМС. 2016.
21. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-(239+240) // Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2017. 228 с.
22. Masson O., Baesa A., Bieringer J., Brudecki K., Bucci S. et.al. Tracking of radionuclides from the damaged Fukushima Dai-Ichi nuclear reactors by European networks // *Environmental Sciences and Technology*. 2011. № 45 (18). P. 7670–7677.
23. Отчет по государственному контракту № 10 от 21 мая 2012 г. Исследование радиоэкологической обстановки на объектах МПЯВ, рекультивация, мониторинг радиоактивного загрязнения воды в бассейне р. Марха в зоне возможного влияния МПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл». Якутск. 2012. 26 с.
24. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2016 году // Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2017. 344 с.
25. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году // Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2016. 348 с.
26. Никитин А.И., Шершаков В.М., Цатуров Ю.С. Совместные российско-норвежские исследования радиоактивного загрязнения западных арктических морей в районах, подверженных воздействию локальных источников // *Арктика: Экология и экономика*. №2. 2012. С. 26–35.
27. A survey of artificial radionuclides in the Kara Sea. Results from the Russian-Norwegian 1992 expedition to the Barents and Kara Seas / Joint Russian- Norwegian Expert Group for investigation of radioactive contamination in the Northern Seas. 1993. 92 p.
28. Источники радиоактивного загрязнения р. Теча и района расположения Производственного объединения «Маяк», Урал, Россия. Программа по изучению возможного влияния деятельности ПО «Маяк» на радиоактивное загрязнение Баренцева и Карского морей / Под редакцией С.В. Малышева и Э.А. Вестерлунда. Остерас. Норвегия. 2000. 134 с.
29. Сброс радиоактивных отходов и радиоактивное загрязнение Карского моря / Под редакцией Пера Странда, Александра Никитина, Бьерна Линда, Брит Сальбю и Гордона Кристенсена. Результаты трех лет исследований (1992–1994), проведенных совместной российско-норвежской группой экспертов. Совместная российско-норвежская группа экспертов по изучению радиоактивного загрязнения северных территорий. Март 1996 г. – первое издание, май 1997 г. – второе издание.

30. Никитин А.И., Сурнин В.А., Новицкий М.А., Валетова Н.К., Кабанов А.И., Катрич И.Ю., Чумичев В.Б., Дунаев Г.Е., Колесникова Н.И., Гочаренок В.М., Макаренко А.А. Радионуклиды и тяжелые металлы в Енисейском заливе // Метеорология и гидрология. 2005. №4. С. 56–65.
31. Мониторинг радиоактивного загрязнения морской среды при подготовке к подъему, подъему и после подъема АПК «Курск». Отчет о работах, проведенных в соответствии с указанием Росгидромета №140-26/У от 03.08.2001 «Об участии сотрудников Росгидромета в Экспедиции особого назначения». Обнинск: НПО «Тайфун». 2001.
32. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2013 году // Ежегодник / Под ред. В.М. Шершакова, В.Г. Булгакова, И.И. Крышева, С.М. Вакуловского, М.Н. Катковой, В.М. Ким, А.И. Крышева. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2014. 357 с.
33. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: критерии и экологические нормативы. Опыт практического применения для объектов использования атомной энергии // Вестник Российской академии естественных наук. 2015. № 4. С.16–23.
34. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И. Опыт апробации радиоэкологических критериев безопасности окружающей среды для Восточно-Уральского радиоактивного следа и районов расположения объектов использования атомной энергии. Радиоэкологические чтения В.М. Клечковского (30 ноября 2017 г. ВНИИРАЭ. Обнинск). Сборник материалов. Обнинск: ФГБУ ВНИИРАЭ. 2017. С. 29–58.
35. Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Крышев И.И., Косых И.В. Оценка контрольных уровней радиоактивного загрязнения водных объектов на основе экологических критериев // Метеорология и гидрология. 2017. № 5. С. 91–97.
36. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологический риск радиационных аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима» (Япония) // Атомная энергия. Т. 122. Вып. 1. Январь 2017. С. 46–55.
37. Рекомендации Р 52.18.787–2013. Методика оценки радиационных рисков на основе данных мониторинга радиационной обстановки. Утверждены Росгидрометом 19.09.2013. Обнинск. 2014. 108 с.
38. Рекомендации Р 52.18.820–2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Утверждены Росгидрометом 17.04.2015. Обнинск. 2015. 60 с.
39. Рекомендации Р-52.18.852–2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах. Утверждены Росгидрометом 17.08.2016 // В сб.: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. Обнинск. 2016. С. 3–28.
40. Рекомендации Р 52.18.853–2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в пресной воде и почве. Утверждены Росгидрометом 17.08.2016 // В сб.: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. Обнинск. 2016. С. 29–55.
41. Рекомендации Р-52.18-863–2017. Методика определения радиационного фона по данным мониторинга радиационной обстановки. Утверждены Росгидрометом 29.05.2017. Обнинск. 2017. 35 с.

Подписано к печати 18.05.2018 г. Формат 60 × 84/8.

Печать офсетная. Печ. л. 7,9. Тираж 300 экз. Заказ № 11.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королёва, 6.