

*Нашим согражданам, живущим и выживающим  
в радиоактивной окружающей среде, посвящается.*

Движение за ядерную безопасность  
Центр поддержки гражданских инициатив

## **Тритий – это опасно**

Населению – о сложном

Челябинск  
2001

В сборнике использованы материалы общественных слушаний «Третий – это опасно», проведенных «Центром поддержки Гражданских Инициатив» и «Движением за ядерную безопасность» 28 февраля 2000 г. при поддержке Института содействия общественным инициативам (ИСАР).

Директор проекта «Третий – это опасно» А.И. Малафеева.

Публикация осуществлена в рамках просветительского проекта для населения и политиков об экологических последствиях деятельности ядерной индустрии, при поддержке W. Alton Jones Foundation.

Научный редактор брошюры к.т.н Батурин В.А.

Директор проекта Н. И. Миронова.

## Оглавление

Предисловие .....	4
Вступление .....	9
Производство трития для военных целей..... <i>Миронова Н.И.</i>	11
Образование трития при эксплуатации атомных реакторов .....	12
<i>Миронова Н.И.</i>	
Тритиевая проблема – гигиенические аспекты..... <i>Демин С. Н.</i>	13
Источники поступления трития в окружающую среду .....	22
<i>Иваницкая М.В., Малафеева А.И. (публикуется в сокращении)</i>	
Биологическое действие трития на живые организмы .....	24
Принципиальные выводы относительно токсичности трития.....	25
Тритий в окружающей среде на территории Российской Федерации .....	26
Загрязнение подземных вод .....	28
Организация и развитие радиационного мониторинга в зоне влияния ПО «Маяк» .....	32
Загрязнение территории Челябинской области тритием в ретроспективе.....	33
Методы отбора и анализа проб трития в природных средах .....	36
Применение трития .....	38
Тритий в промышленных водоемах ПО «Маяк» .....	40
<i>Усачёв В. Л. (публикуется в сокращении)</i>	
Другие сведения о тритии и его соединениях .....	47
Получение трития.....	47
Получение трития.....	48
Искусственные источники поступления трития в атмосферу и его поведение во внешней среде.....	49
Другие методы измерения трития .....	50
Ионизационные методы.....	51
Анализ трития в газовых и жидких средах. Определение трития в водородсодержащих компонентах газовых смесей .....	51
Определение трития в жидких органических продуктах .....	51
Очистка выбросов от трития .....	52
Очистка газов от окиси трития .....	53
Физические методы очистки газов от трития.....	53
Химические методы очистки .....	54
Удаление трития из сточных вод методами изотопного разделения .....	54
Заключение .....	56
Сведения об авторах .....	57

## Предисловие

**Я убит не под Ржевом,  
не в кровавой Чечне,  
а убит я в деревне  
на родной стороне.**

**Здесь и пули не свищут,  
нет глухих канонад,  
но по-прежнему матери  
здесь хоронят ребят.**

**Молодых и веселых,  
полных светлых надежд,  
но в их жизнь хлопотливую  
вторгся атома след.**

**Я хотел очень жить,  
видеть дочку свою,  
а познал только боль  
да могильную мглу.**

Эти строки одна из жительниц ст. Муслюмово посвятила коренному жителю Муслюмово М.Г. Хуснутдинову, сотруднику линейной милиции ст. Муслюмово, умершему в 2000 году в возрасте 44 лет от рака кожи.

Строки из писем 1994-95 гг в адрес «Движения за ядерную безопасность»

*«Я категорически против ввоза в нашу область отработанного ядерного топлива, я против строительства АЭС. Я и мой муж несем тяжелую ношу болезней, безусловно связанных с радиационным воздействием. Мой муж – бывший житель села Метлино. Имеет высокую дозу облучения, с 56 лет инвалид II группы. ФИБ не связывает его болезни с облучением, хотя это очевидный факт. Сама я проработала на Восточно-Уральском радиоактивном следе с 1958 по 1994 гг., болею с 35 лет. Все это время живу только на лекарствах. Говорю каждый день: «Проклятье атомной энергии». Но бороться против этого зла у меня нет сил...».*

*К\*, Челябинск-65*

*«Я остался один, мне 69 лет, ликвидатор аварии ПО «Маяк». Как жить в эти годы? Сестра, брат, мать, жена померли в 38-44-58-60 лет – и все раковая опухоль, а мы там жили (Метлино начальное), пили, ели рыбу из этого пруда, купались... Потом поставили охрану на пруд, нас переселили в Ворошиловское, а потом и оттуда всех с 1957 по 1961 гг. разогнали, чтобы помирали так не видно было. Работал в ОНИС с 1958 по 1961 гг. с научными сотрудниками, и они тоже померли. Уехал в Кулуево, тоже был совхоз от*

---

\* по ряду соображений мы не приводим полностью имена и фамилии людей написавших эти письма

«Маяка», а сейчас не знаю, как называется. Пенсионер, участник войны. Через 37 лет дали корочки Ликвидатора аварии ПО «Маяк», а что же я видел в жизни? Да ничего хорошего, все не опишешь, это целая история. Сын недалеко живет, но мне, старику, не легче от этого, и здоровье у него не блещет, он же родился в Метлино. Состоим на учете в больнице ФИБ в Челябинске».

Т., Аргаяшский район, с. Кулуево

«Мы живем в п. Новогорном, ну вы представляете, в скольких км мы от всего этого. Муж у меня Ликвидатор 1959-61 гг., льготы? Простите, по-моему, никаких, кроме как на пенсию уйдет в 55 лет. Живем здесь, дети, внуки, а здоровья ведь нет! И теперь, когда казалось, нас должны выслушать, прислушаться, чёрта с два, «Маяк» всю жизнь жил прекрасно, «шоколадники» говорили мы про них, и сейчас они заботятся о себе, а не о нас, уже полумёртвых! Будь всё проклято!».

Л., Кыштымский район, п. Новогорный

«Челябинская область – это всемирная помойка. За что? Почему люди наши страдают? Вся тяжелая промышленность на Урале, никаких льгот. В основном одни болезни: рак, сердце. Про Чернобыль сразу заговорили на весь мир, а у нас здесь больше люди страдают, и ничего. Все дорого, хоть бы про лечение людей подумали. И зарплата низка. И все травят, и травят...».

Е., г. Миасс

«Моя дочь тоже получила некоторую дозу облучения. Сейчас ее обследуют доктора, у нее болезнь печени, почек, щитовидной железы...».

Ф., Октябрьский район, п. Свободный

Строки из писем 2001 года в адрес «Движения за ядерную безопасность»

«Я и моя семья из Р. Течи, родственники очень пострадали от плывущих по реке Тече в 1951-52-53 гг. отходов от ПО «Маяк», заражая людей, животных, растительный мир. Муж умер в 1954 году от заболевания легких. Родной брат, гостивший-отдыхавший у нас подростком 14-15 лет, вскоре заболел и умер 20-летним от рака крови в областной больнице. Два двоюродных брата в эти годы служили в Армии и их молодых вместо учений заставляли на тракторах сносить деревни как Черепановка, Баклановка и др. от Р. Течи в 2-3 км, убивать, расстреливать животных. Таких испытаний они не вынесли, заболели, лечились в Биргильде (родом из деревни Глубокое, переселены в Донгузлы). Один брат в плохом состоянии увезен неизвестно куда. Другой в Биргильде, постоянно сбегает к тетке в Донгузлы, его возвращают обратно. Дочь моя болеет с раннего детства, и казалось, что вот с возрастом должно быть лучше. И хотя ей два раза вливали купленную кровь, состояние здоровья неважное: падает гемоглобин, душит астма, в последние годы сделали две операции, давление, слабость. Двое внуков растут слабыми, вялыми, с 12 лет у обеих астма, прыгающее давление, повышенный сахар в крови. Сама я начала болеть с 1952 года в 24-летнем возрасте... Перенесла 4 операции, сахарный диабет, и вот снова предстоит операция в онкологическом диспансере. За отравление, за нанесенный нам большой ущерб здоровью государство нам

ничем не помогает, кроме численности в ФИБе (только 2 раза в жизни в застойное время проходили лечение в реабилитационном центре как в прошлой сказке). Мне очень больно и тяжело, что так поступает государство с населением России. У молодых нет надежды на жизнь...».

И., г. Челябинск

«Я – К. и М. – онкобольные и многие другие больные встревожены за здоровье наших детей и внуков, многие из которых тоже уже больные. Мы требуем издать закон, запрещающий ввоз ядерных отходов в Челябинскую область и вообще в нашу страну. Когда прекратится этот геноцид?...»

9 подписей

«На заре создания «Маяка» медленно умер мой дядя., затем другой... Не знаю, чем они на «Маяке» занимались, но когда встречались с мамой, жаловались на слабость, боли во всем теле, а они были здоровыми, роста 180-190 см, а в 40 лет умерли. И до сих пор в Красноармейском районе в селе Канаши умирают от рака. Можно догадаться почему: выделяют покосы близко к реке Тече. За три года из наших родственников ушли из жизни 4 человека в возрасте от 40 до 59 лет. Все от рака. И других жителей деревни не обходит эта беда...».

Г. и Г., Челябинск

«При взрыве 1957 года на «Маяке» я проработала в мае, июне, июле, августе и сентябре... Были связаны непосредственно с речкой Теча. Нам было по 16 лет. Два моих одноклассника и я проводили изотопные работы на участке от деревни Нижняя Петропавловка Челябинской области от границы с Курганской обл. до Долматовских ключей. Мы без спецодежды, летом босые лезли в любую грязь – яму, середину речки, на другой берег лазили с рейками. Нас детей послали работать от колхоза. Колхоз распался. Председатель умер – который посылал, архив не сохранили. Трудовых у нас не было. Мы безотказно работали от зари до зари. Выполняли такую грязную работу. И ни разу не отказались. А вот правительство отказалось. Даже врачи пошли на преступление. Скрыли вызов Американских врачей... Мое состояние жуткое. Я рожала, стремилась всех детей сохранить. В результате еле-еле выносила дочь 1961 г., вторая дочь 1963 г. родилась мертвая, ее оживили и ей уже сделали операцию (опухоль на почках). 1964 г. сына чуть-чуть выносила, родился – не было иммунитета... После сына не могла выносить троих – они умирали во мне до 7 месяцев. И на 38-м году еще беременность. Все силы приложила, береглась, но увы, увезли в Курган, прооперировали. После двух суток мальчик умер. Сама я после каждого родов едва-едва выживала. Родители мои были здоровые. Мать умерла в 76 лет и в больнице не была. А что со мной? Речка всему виноватая... Мне уже немного жить. Знаете такая несправедливость. Так много льготников Маячных с нечистой рукой. А мы в самой грязи были, не заработали внимания от государства. А ведь здоровье наше тоже государственная вина... Очень прошу от доброй совести и чистой души помочь мне... Ведь я все же достойна внимания от нашего государства за труд. Нас детьми убили, а сейчас наши власти смотрят на меня с лихвой...».

В., Курганская обл.

Такие письма получало и получает «Движение за ядерную безопасность». Люди пишут в надежде, что их кто-нибудь услышит, возможно, чем-либо помогут, как предостережение тем, кто принимает важные решения и законы, разрешающие продолжать развитие ядерных технологий в области, как объяснение, почему они голосуют против строительства Южно-Уральской АЭС, против ввоза зарубежного отработавшего ядерного топлива на хранение и переработку.

Это не просто поток слов. Это голоса отчаяния, боли, страданий и страха за жизни детей и внуков, которые с рождения больны.

«Я не могу устроиться на работу, куда хочу и куда позволяет мне образование, потому что я не могу получить справку от медкомиссии. У меня все время низкий гемоглобин, и я не могу поднять его до нормы...», - говорит девушка Л., которая была вывезена из Муслумово в раннем детстве и приезжала туда лишь в гости к родным.

И это не самый плохой, можно сказать, рядовой случай. Подобных судеб в Челябинской области сотни тысяч.

Вдумайтесь, уважаемые читатели... *Сотни тысяч...*

И вот типичное интервью на ту же тему начала 90-х годов. Еженедельная газета Челябинска «Голос» № 26 от 10-17 июля 1992 г. «Государственная политика: молчание – золото. В крайнем случае – стронций-90». Журналистка В. Ситникова беседует с зав. отделом радиационной гигиены областной санэпидемстанции Э.М. Кравцовой. Поводом для встречи послужило письмо от А.Г. Воробьева, в котором он затрагивает проблемы, связанные с аварией 1957 г. «В то время я жил и работал в д. Пьянково Ларинского сельсовета. Полоса радиоактивных осадков разделила деревню на две равные части. Более 500 гектаров пастбищ, сенокосных угодий, выселенных сел были переданы в пользование колхоза им. Свердлова. С первых же дней после ухода спецотряда по обеззараживанию территории наша бригада в течение 20 лет обрабатывала эти угодья: сеяли, убирали урожай, пасли скот, заготавливали корма. К 73-му году жители деревни разъехались по всей стране, не получив никакой компенсации. Многие из них уже умерли, не дожив до 50 лет. Остальные больны...».

Журналистка задает вопрос Э.М. Кравцовой: «Почему этим людям государство не предоставило в течение ряда лет никаких льгот, а специалисты скрыли от людей опасность, которой они подвергались, проживая и работая на территории повышенной радиации?».

Ответ был таков: «Это была государственная политика, и больше я ничего не могу вам сказать, поскольку государственная политика не зависит от частного мнения».

Политика умолчания... Не было ли это преступлением по отношению к женщине и ее детям из Курганской области, которая подверглась облучению в юности, всю зрелую жизнь страдала от того, что не могла выносить нормально ребенка и не могла понять, почему все так происходит. Ее

родители были здоровы. Если бы она знала о последствиях облучения! Рожала бы она столько раз?

Не было ли это преступлением по отношению к жителям Пьянково и многим другим...

Одна из жительниц Челябинска в своем письме вспоминает общественные слушания, проходившие в 1989 году по поводу строительства Южно-Уральской АЭС в Гипромезе: «На перерыве я подошла к Фетисову и стала его убеждать и говорить, что Вы не боитесь, что сам погибнете в первую очередь и Вам не жаль себя, ваших детей и других детей, что Вы им оставляете?»

И вот Фетисова уже нет, нет и Невского с Белоярской АЭС и его сына. Они, будучи уже в Москве (уехал на повышение), умерли от лейкозиев...

Жаль всех безвременно ушедших. Но специалисты знали об опасности радиации.

Чем может помочь общественное «Движение за ядерную безопасность» тем людям, которые присылали и присылают подобные письма? Глубоким сочувствием и сопереживанием. Деятельностью по защите права людей на благоприятную окружающую среду, на экологическую информацию, на здоровье.

С 1998 года Движение опубликовало несколько книг для населения, в которых в популярной форме знакомит с имеющимися данными о загрязнении долгоживущими радиоактивными веществами (стронцием-90, цезием-137, плутонием), особенностях их воздействия, и самом источнике загрязнения; с общими представлениями о влиянии радиации на организм человека и с влиянием ионизирующего излучения невысоких мощностей (малых доз) на здоровье людей; как защитить здоровье при влиянии малых доз; результаты последних исследований челябинских ученых по оценке техногенного воздействия на здоровье населения Урала.

В предлагаемой публикации «Тритий – это опасно» приводятся имеющиеся на данный момент сведения о еще одном загрязнителе – радиоактивном изотопе водорода – тритии. Почему о тритии?

При расчете доз облучения не учитывается его воздействие. Однако, некоторые специалисты считают, что загрязнение воды хлором и тритием являются, наряду с плотностью загрязнения стронцием-90, ведущим фактором, воздействующим на здоровье населения.

Публикация состоит из статей, которые будут полезны не только знающим радиоэкологию. Любой, интересующихся проблемами радиационного загрязнения, несомненно найдет в ней нужное и полезное для себя.

*Г.П. Плохих, Н.И. Миронова*



## Вступление

Общественность обеспокоена проблемами ядерной безопасности, возможностью загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами, в том числе и радиоактивным водородом - тритием, и его соединениями. Тритий – бета-излучатель, в силу своих радиохимических свойств, легко растворяется в жидкостях, попадает в организм человека, нанося ущерб здоровью.

Для защиты населения и обслуживающего персонала от радиационного воздействия разработаны нормы и правила обеспечения безопасности при проектировании и эксплуатации потенциально опасных объектов, созданы государственные органы лицензирования и ведутся инспекции радиационно-опасных объектов.

В процессе работы над созданием этой брошюры мы встретились с представителями более чем десяти государственных организаций, в том числе, Госатомнадзора, Государственного Центра Санэпиднадзора, Комитета природных ресурсов, Комитета по экологии, Гидрометеослужбы. Из этих встреч стало понятно, что ни в статистической отчетности, ни в инструкциях этих служб не предусмотрены контроль за выбросам трития и его соединений в окружающую среду: в воздух, в воду и в почвы. Постоянного наблюдения, мониторинга, по загрязнению окружающей среды тритием этими службами не ведется. Полная информация о загрязнении тритием окружающей среды недоступна органам государственного контроля, общественности и населению, проживающему на территории области.

В то же время, о пагубном влиянии трития на здоровье и окружающую среду мы узнаем из американских научных журналов. Информацию о том, как ведется контроль над содержанием трития в продуктах питания – молоке, мясе, питьевой воде – можно найти в ежегодных докладах по окружающей среде, издаваемых одним из крупнейших американских ядерных предприятий в Савана Ривер (Savannah River Site).

Следует заметить, что в последние годы российскими, американскими и норвежскими учеными были проведены подробные исследования и выпущены публикации об экологическом состоянии территорий вокруг российских ядерных предприятий. Однако загрязнение тритием осталось за рамками этих работ.

Своей публикацией мы приглашаем официальные структуры к продолжению разговора о радиационном загрязнении Челябинской области. Нами сделаны первые шаги по привлечению внимания к проблеме загрязнения окружающей среды тритием и его соединениями. В брошюре описаны радиобиологические и физико-химические свойства, источники поступления трития в окружающую среду, влияние трития на здоровье населения, методы дозиметрического и

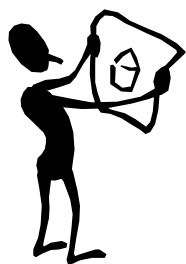
радиометрического контроля трития. Подготовка и публикация брошюры стала возможной благодаря финансовой поддержке Ploughshares Fund и W.A.Jones Fund.

Мы выражаем благодарность авторам публикаций, любезно согласившимся подготовить их для нашей брошюры, а также Институту содействия общественным инициативам «ИСАР» за поддержку нашего проекта «Тритий – это опасно. Населению – просто о сложном».

*А.И. Малафеева, Н.И. Миронова*

## Производство трития для военных целей

Миронова Н.И.



Производство трития в России было начато в связи с программой разработки термоядерного оружия. В ноябре 1949 г. производство термоядерной бомбы стало приоритетным направлением. Первое в СССР испытание термоядерного устройства произведено 12 августа 1953 г. Первое двухступенчатое термоядерное устройство испытано 22 ноября 1955 г. До 28 февраля 1958 г. было проведено еще десять испытаний большой мощности<sup>1</sup>.

К началу испытаний термоядерного оружия в атмосфере в результате естественных природных процессов было накоплено  $1,85 \times 10^{18}$  Бк (1,85 ЭБк, Экса-беккерель) трития. Проводившиеся вплоть до начала 60-х годов испытания термоядерного оружия в атмосфере привели к дополнительному образованию трития активностью 62,9 ЭБк и увеличению трития<sup>2</sup> в атмосфере в 35 раз. По оценкам к 2000 году активность «военного» трития в атмосфере должна была снизиться до 11,1 ЭБк, что, тем не менее, в 6 раз превышает исходный уровень.

Тритий используется в термоядерной реакции бустирования (усиления) первичного узла ядерного боезаряда. Термоядерный заряд представляет собой многоступенчатое взрывное устройство, мощность взрыва которого достигается за счет последовательно происходящих взрывов плутониевого и тритиевого зарядов<sup>3</sup>.

Традиционным методом производства трития является его наработка в реакторах при облучении нейтронами мишеней из изотопа лития-6. В России наработка трития продолжается на двух промышленных реакторах «Руслан» и «Людмила» на ПО «Маяк» в Челябинской области. Здесь же осуществляются выделение и переработка трития и производство тритиевых узлов ядерных зарядов. При хранении боеголовки потери трития в результате естественного распада составляют примерно 5,5% в год. Тритий, распадаясь, превращается в гелий. Поэтому тритий должен подвергаться периодической очистке от гелия.

В России тритий наработан с избытком. С учетом предполагаемого сокращения ядерного арсенала России, с 30 тысяч ядерных боеголовок в 1985 г. до 1,5 тысяч в недалеком будущем, уже наработанного трития достаточно для обеспечения ядерного арсенала до 2030 года, и это даже без учета ведущегося на ПО «Маяк» производства нового трития<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Кохран Т. и др. Ядерное вооружение СССР. М., 1992.

<sup>2</sup> Кесслер Г. Ядерная энергетика. М., 1986.

<sup>3</sup> Подвиг П. Л. Термоядерное оружие. Ядерная энциклопедия. М., 1996.

<sup>4</sup> Бухарин О. Ядерный контроль № 5, 1999.

## Образование трития при эксплуатации атомных реакторов

*Миронова Н.И.*

Тритий также образуется в активной зоне атомных реакторов при облучении урана и плутония. При облучении плутония образование трития увеличивается вдвое. Кроме того, тритий образуется в теплоносителе (охлаждающей среде), при охлаждении им тепловыделяющих стержней реактора. Из реакторов и установок по переработке топлива тритий выделяется или в виде содержащего тритий водорода (НТ), или в виде содержащей тритий воды (НТО), которые попадают в атмосферу, в реки и озера. В конце концов любой выброшенный тритий оказывается в виде тритированной воды (вода, в составе которой в молекулах содержится тритий). Повышение уровня трития в окружающей среде приводит к повышению содержания трития в растениях, организмах животных и людей. Тритированная вода (НТО) замещает обычную воду (H<sub>2</sub>O). В организмах и растениях устанавливается соотношение концентраций НТО и H<sub>2</sub>O, близкое соотношению в окружающей среде.

Радиационное воздействие трития является следствием потребления человеком продуктов питания и питьевой воды, загрязненных тритием. Кроме того, тритированная вода (НТО) может попасть в организм человека при вдыхании, а также через кожный покров. При наличии трития, весь человеческий организм подвергается воздействию бета-излучения.

По оценкам Агентства по защите окружающей среды (ЕРА), если бы к 2000 году суммарная мощность атомной энергетики выросла до 2 000 000 МВт, то в этом случае атомными станциями и перерабатывающими топливо заводами было бы выброшено в окружающую среду дополнительно трития активностью 16,7 ЭБк.

Выход трития в окружающую среду может быть уменьшен за счет изменения технологии, прекращения выбросов в окружающую среду, концентрации тритированной воды и хранения ее в баках в течение длительного времени.

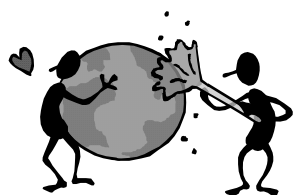
Обнадеживает то, что по данным Международного Агентства по атомной энергии (МАГАТЭ)<sup>5</sup>, общая мощность действующих АЭС в мире была 349 063 МВт, что в 6 раз меньше от намеченных 2 000 000 МВт, по которой ЕРА делал расчет выбросов трития в окружающую среду.

---

<sup>5</sup> Состояние мировой ядерной энергетики. Бюллетень МАГАТЭ, том 42, №2, 2000, Вена, Австрия, с. 62.

## Тритиевая проблема – гигиенические аспекты

Демин С. Н.



Тритий – важнейший биологически значимый радионуклид. В современной литературе, посвященной оценкам риска от радиационного воздействия, все чаще встречается термин «тритиевая проблема». Являясь изотопом водорода, тритий входит в состав многих органических соединений, в том числе и биологически важных. Его радиоактивный бета-распад приводит к нарушению молекулярных структур и межмолекулярных связей под действием собственного бета-излучения, а также в результате превращения трития в изотоп гелия. В естественных условиях источником непрерывного синтеза трития в атмосфере являются ядерные реакции под действием космического излучения на ядра атомов химических элементов, образующих атмосферу. Тритий встречается в атмосфере в виде окиси трития (*HTO*), молекулярного водорода (*HT*) и метана (*CH<sub>3</sub>T*). До 1954 г. на Земле имелось примерно 2 кг природного, естественного трития (примерно 666 ПБк), из которых 10 г остаются в атмосфере, 13 г находятся в подземных водах, а остальное количество переходит в воду океанов. Первый термоядерный взрыв водородной бомбы (март 1954 г.) резко увеличил концентрацию трития в дождевой воде, выпадающей в северном полушарии, а затем продолжался рост его удельной активности в во всех экологических средах до прекращения испытаний термоядерного оружия в 1962 г. При подземных ядерных взрывах в окружающую среду поступает также значительное количество трития.

Наиболее весомым источником поступления трития в среду обитания является атомная промышленность и ядерная энергетика, в частности, ядерные реакторы и заводы по регенерации ядерного топлива (*PT*). Тритий относится к числу важнейших дозообразующих радионуклидов, характеризующих и определяющих радиационную обстановку в районах расположения предприятий ядерного топливного цикла<sup>6,7,8,9</sup>. В процессе их деятельности тритий выбрасывается в составе газо-аэрозольных выбросов в атмосферу и с жидкими отходами в поверхностные и подземные воды, увеличивая уровни содержания этого радионуклида в окружающей среде. О масштабах его радиационной опасности для населения, проживающего вблизи таких объектов,

<sup>6</sup> Галкин Б. Я., Геденов Л. И., Демидович Н. Н. Выброс в атмосферу летучих продуктов деления при работе АЭС и установок регенерации отработавшего топлива и перспективы их улавливания. //Атомная энергия, 1978. Т. 44, №2. С.145–149.

<sup>7</sup> Романов Г. Н. Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития, //Проблемы радиозащиты. М., ВИНТИ, 1983. Т. 4. С. 6–31.

<sup>8</sup> Демин С. Н., Телушкина Е. Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия, //Бюллетень радиационной медицины, 1987. №1. С. 23–28.

<sup>9</sup> Klement et al. Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960–2000. –EPA. 1972. 67 p.

свидетельствует тот факт, что именно по причине фактических и прогнозируемых количеств высвобождающегося из растворяющихся ТВЭЛов при их переработке трития были закрыты опытно-промышленные установки в Карлсруэ (Германия) и Вэст-Вэлли (США).

Действующие в настоящее время заводы по регенерации ТВЭЛов в Селлафилде (Великобритания) и Ла-Аге (Франция) характеризуются специалистами как мощные источники поступления трития в окружающую среду<sup>10</sup>. Причем в силу географического расположения эти предприятия имеют и реализуют возможность сброса и разбавления трития в море, что естественно влечет за собой широкомасштабное загрязнение тритием морских гидробионтов. Вместе с тем около 15% всего трития выбрасывается в атмосферу вокруг этих предприятий и создает повышенное загрязнение всех объектов окружающей среды, продуктов питания, питьевой воды, а также часть накапливается в водной фазе организма людей, проживающих в радиусе до 100 км от предприятий РТ. Поэтому изучение особенностей поведения трития в окружающей среде и характера поступления его в организм человека различными путями является задачей весьма важной, а высокая миграционная способность и биохимическая мобильность<sup>11, 12</sup> обуславливают необходимость тщательного динамического мониторинга, что нашло отражение в отечественных нормативных документах НРБ-96 и НРБ-99<sup>13</sup>. Даже небольшие количества трития при постоянном выбросе его в атмосферу приводят к локальному и глобальному загрязнению внешней среды.

При деятельности первого отечественного завода РТ-1 на ПО «Маяк» в атмосферу выходит газообразный тритий, который сразу превращается в окись трития. Поэтому гигиенический мониторинг уровней локального загрязнения тритием атмосферного воздуха осуществляется путем отбора проб водяных паров на цеолит.

При отборе проб паров тритированной воды (оксида трития) из атмосферного воздуха предварительно обезвоженный цеолит в количестве 80 г помещается в специальные кюветы. Время экспонирования составляет 10 суток – для определения среднегодовых концентраций – одновременно проводится контроль температуры и влажности воздуха. После декадного экспонирования цеолит пересыпается в склянки с притертой пробкой и доставляется в лабораторию, где он помещается в металлическом стакане в шахтную электропечь и нагревается до температуры 350 °С. При этом влага из цеолита испаряется и поступает в сборник конденсата,

---

<sup>10</sup> Беловодский Л. Ф., Гаевой В. К., Гришмановский В. И. Тритий. М., Энергоатомиздат, 1985. 248 с.

<sup>11</sup> Демин С. Н., Телушкина Е. Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия, //Бюллетень радиационной медицины, 1987. №1. С. 23–28.

<sup>12</sup> Klement et al. Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960–2000. –EPA. 1972. 67 p.

<sup>13</sup> Нормы радиационной безопасности НРБ-99; Гигиенические нормативы. М., Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России. 1999. 116с.

охлаждаемый жидким азотом. Полученная влага, с целью удаления примеси, перегоняется с перманганатом калия в обычном перегонном аппарате с прямым холодильником.

Исследования радиационно-гигиенической опасности атмосферного трития в районе первого отечественного завода по регенерации ядерного топлива проводятся нами в течение многих лет и позволяют отметить, что уровни загрязнения воздуха тритием за этот период колебались от 28,3 Бк/м<sup>3</sup> (1980 г.) до 5,4 Бк/м<sup>3</sup> (1999 г.) и в 2–40 раз превышали аналогичные концентрации в контроле (рис. 1).

Концентрации трития в воздухе жилого района вблизи завода РТ-1 несколько уменьшились по сравнению с доконверсионным периодом, что вполне объяснимо снижением объемов переработки.

Влияние завода по регенерации отработанного ядерного топлива (РТ-1) на формирование локального и глобального загрязнения тритием атмосферы и гидросферы в районе его расположения нельзя охарактеризовать однозначно. Так, в предпусковой период завода РТ-1 объемная активность трития составляла 22,5 Бк/м<sup>3</sup>, а в первый год работы РТ-1 – 12,9 Бк/м<sup>3</sup>. В последующие годы также не представилось возможным выявить корреляционные связи между величинами вентиляционного выброса в атмосферу из труб РТ-1, повторяемостью и силой преобладающих ветров, влажностью воздуха приземной атмосферы, темпами испарения трития с поверхности технологических водоемов, величинами сброса трития в закрытую гидросеть и концентрациями трития в воздухе селитебной зоны в районе предприятия.

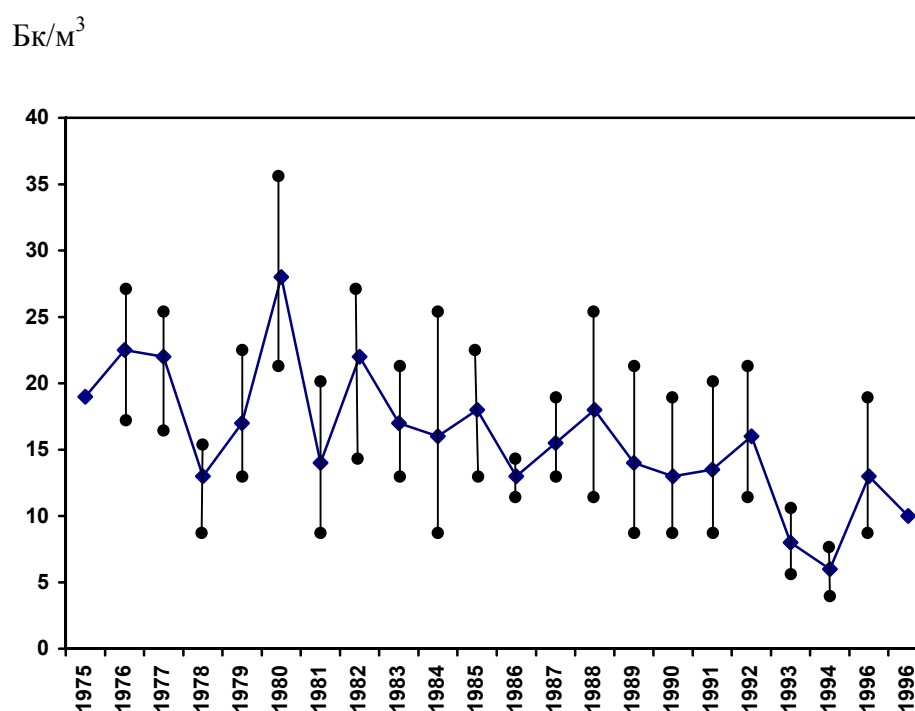


Рис. 1. Тритий в атмосферном воздухе

По сравнению с допустимой концентрацией  $ДК_e$  (воздуха), установленной НРБ 76/87, изучаемые локальные уровни загрязнения тритием атмосферы составляли 0,05 – 0,25%, а по сравнению с допустимой среднегодовой объемной активностью  $ДОА_{нас}$  (населения), узаконенной НРБ-99 для населения России, максимальная величина составляет около 1,4% от  $ДОА_{нас}$ .

Учитывая пятикратное ужесточение предела эффективной дозы в НРБ-99 до 1 мЗв в среднем за любые последовательные пять лет, следует рассматривать тритий как ведущий радионуклид по вкладу в эффективные дозы облучения населения за период деятельности ПО «Маяк».

Если плутоний, распространяясь из труб предприятия, локально распределяется на поверхности почвы и, помимо ресуспензии и последующей ингаляции, является потенциальным источником радиационного воздействия на население при условии перехода под влиянием почвенных фульвокислот в миграционные пищевые цепочки, то тритий мгновенно поступает во все звенья экологического кругооборота, замещая водород и обуславливая разрывы в цепочках РНК и ДНК в биологических структурах всех живых организмов. Именно органически связанный тритий (*ОСТ*), прошедший по всей пищевой цепи трава–корова–молоко–мясо–человек, является наиболее биологически опасным по сравнению с тритиевой водой (*НТО*), являющейся также источником и фактором облучения организма, в котором замещает простую воду ( $H_2O$ ) и распадается с выходом бета-частиц и ядер гелия.

Нами проводится многолетний мониторинг фактического загрязнения тритием продуктов питания местного населения, питьевой воды, подземных потоков, открытой гидрографической сети в районе ПО «Маяк». Темой отдельного сообщения может являться освещение закономерностей распространения трития от источников выхода его в окружающую среду – до поступления в организм человека по звеньям экологической цепи.

Как известно, интегральным гигиеническим показателем радиационной опасности радионуклидов является информация о фактическом содержании их в организме человека. Установлено, что тритий равномерно в течение короткого времени после поступления с воздухом и пищей распределяется в водной фазе организма. Поэтому общепринятым является метод измерения этого радионуклида в пробах мочи.

Нами накоплена и проанализирована многолетняя информация об уровнях содержания трития в водной фазе организма детей, проживающих в районе расположения ПО «Маяк», и рассчитаны дозы внутреннего облучения на основе фактического равновесного содержания его в виде окиси трития.

Определение трития в моче детей производится путем отбора проб мочи (200–500 мл) в стеклянные банки с герметичной крышкой и последующей очистки посредством двукратной перегонки их с перманганатом калия.



Пробы, предназначенные для электролитического обогащения, заливали в колбу для дистилляции. Дополнительно вводили носители – по одному миллилитру стронция, цезия, церия, никеля, два миллилитра хромовой смеси – и производили дистилляцию до появления паров серной кислоты. Эту операцию проводили трехкратно. После третьей дистилляции отбирали 80 мл дистиллята, вводили гранулированный *КОН* и пробу подвергали электролизу. На электроды электролизера подавали ток четыре ампера. Электролиз считался законченным, когда ток в цепи падал до нуля. Остаток электролита переводили в дистиллятор и обрабатывали в течение 10–15 мин. двуокисью углерода для нейтрализации щелочи. Затем пробы дистиллировали, и часть дистиллята измеряли на установке УМФ-1500 и гамма-спектрометре для проверки степени очистки от других радионуклидов.

Измерение трития в пробах мочи осуществляли на жидкостных сцинтилляционных счетчиках Дельта-300 и Рокбета-2. Чувствительность метода 160 Бк/л, погрешность измерения  $\pm 10\%$  при времени измерения 50 минут.

Статистическая обработка данных проводилась по общепринятым методикам с вычислением среднегодовых концентраций с ошибкой при 95%-ном доверительном интервале.

Расчет доз облучения за счет равновесного содержания трития в организме производился по общепринятой формуле:

$$D_{год} = 2,7 \times 10^{-5} \times ОБЭ \times C_m (\text{Бк/л}) = \text{мЗв/год},$$

где:  $D_{год}$  – мощность годовой дозы при равновесном в течение года содержании трития в виде *НТО* в водной фазе организма (мЗв/год);

$2,7 \times 10^{-5}$  – переходный коэффициент;

ОБЭ – относительная биологическая эффективность по разным данным от 1 до 2,5, нами принята за 1;

$C_m$  – концентрация окиси трития (*НТО*) в моче детей (Бк/л).

Анализ проб мочи показал, что наибольшее содержание трития отмечается в восточном и северном направлениях от объекта.

В г. Озерске концентрации трития колебались от 0,6 кБк/л в 1999 г., до 2,3 кБк/л в 1975 г.

Многолетние данные<sup>14</sup> показывают, что отсутствует четкая зависимость спада концентраций трития в организме детей, проживающих в разных населенных пунктах, по мере удаленности от предприятия на расстояния более 150 км.

<sup>14</sup> Демин С. Н., Телушкина Е. Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия, //Бюллетень радиационной медицины, 1987. №1. С. 23–28.

Причиной, по-видимому, является преобладание диффузного распределения окиси трития в атмосфере в виде водяного тритированного пара в процессе круговорота воды по компонентам биогеоценоза, как об этом рассуждает Л. А. Ленский<sup>15</sup>.

Вместе с тем некоторая коррелятивная связь концентраций с повторяемостью ветров и расстоянием от источника выбросов все-таки существует. Это видно из таблицы 1.

Таблица 1. Концентрации трития в организме детей в различных населенных пунктах, кБк/л

Год	Озерск	Касли	Тюбук	Щелкун (контроль)
1980	1,2±0,51	1,1±0,37	1,0±0,28	0,9±0,41
1990	1,5±0,27	1,2±0,30	0,9±0,13	1,2±0,21
1998	1,1±0,35	0,8±0,31	0,9± 0,22	0,9±0,28

В таблице 1 представлены наиболее показательные величины среднегодового содержания трития в организме детей по данным весеннего и летнего пробоотборов в городах Озерске, Каслях, Тюбуке, Щелкуне.

По г. Снежинску оно было рассчитано на основе расчетного регрессионного анализа, исходя из результатов определения трития в моче у детей из 30 населенных пунктов в радиусе 40 км от предприятия за период 1974–1995 гг. Рассчитывалось соотношение концентраций теоретических, исходя из дальности от источника и повторяемости ветров, с фактическими.

Согласно расчетным данным можно с некоторой осторожностью допустить, что концентрация трития в организме детей г. Снежинска составляет примерно 80% ( $\pm 9,2$ ) от аналогичной в организме детей г. Озерска.

Это примерно совпадает с данными за период 1980–1990 гг., характеризующими концентрации трития в моче детей г. Вишневогорска (от 0,9 до 1,1 кБк/л).

Дополнительным доводом для такого расчета являются данные о содержании трития в воде водоемов вокруг предприятия. Так, в оз. Синара и р. Синара его концентрации составляют примерно  $0,8\pm 0,12$  от концентраций в оз. Иртяш, являющемся источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения г. Озерска.

Для продуктов питания и атмосферного воздуха эти соотношения более неопределенны, но при расчетах поступления в организм трития либо в виде *НТО*, либо в органически связанном виде алиментарным путем важно знать превалирующий характер соединения.

Следует отметить, что удельный вклад поступления трития с вдыхаемым воздухом и через кожные покровы составляет 15–20% от дозы, обусловленной фактическим содержанием трития в организме. С продуктами питания и питьевой водой поступает 80–85% этого радионуклида,

<sup>15</sup> Ленский Л. А., Физика и химия трития. М., Энергоиздат. С. 181–113.

обладающего большой миграционной способностью.

Колебания соотношений аэрогенного и алиментарного путей обусловлены, по всей видимости, величиной атмосферного выброса промышленного трития накануне пробоотбора. Вероятно, определяющую роль играет изотопный эффект при миграции трития по экологическим звеньям. Более того, тритий, попадающий в атмосферу в виде *HT*, менее токсичен и подвижен, чем *HTO* или *T<sub>2</sub>O*. Но в последующем, через довольно короткий период времени, весь тритий переходит в окись трития и активно замещает стабильный водород в молекулах воды, сначала в водяных парах, а затем и в остальных водосодержащих объектах, а также представителях флоры и фауны. За весь период наблюдения среднегодовые концентрации трития в водной фазе организма не превышали 2,3 кБк/л.

Дозы облучения детей за счет трития в водной фазе организма находились в пределах 10–63 мкЗв/год и составляли 1–6,5 % от предела дозы для населения, установленного НРБ-99, хотя и превышали фоновые величины в 10–20 раз<sup>16</sup>.

Учитывая создавшееся в изучаемом районе относительно равновесное локальное загрязнение тритием в течение многих лет объектов окружающей среды, необходимо интенсифицировать разработку методики экспрессного определения в биосредах органически связанного трития и развернуть исследование перехода по пищевым цепям органически связанного трития, уровни накопления которого в белковых фракциях организма оцениваются нерепрезентативно, а дозы облучения за счет связанной в молекулах ДНК фракции трития<sup>17</sup> могут вносить дополнительно 60% и более к величине дозы, обусловленной поступлением тритированной воды. Но именно эти 60%, по современным данным, ответственны за те вредные последствия для здоровья населения, которые заставляют ужесточать нормативы содержания его в виде *HTO* в экологических объектах.

Имея в виду господствующую современную беспороговую концепцию, провозглашенную Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» №3–ФЗ от 09.01.96 г. и Нормами радиационной безопасности (НРБ–99), можно со всей уверенностью считать, что именно эта фракция ответственна за накопление поломок в молекулах ДНК с последующими генетическими и онкологическими стохастическими последствиями как для отдельного, особенно детского, организма, так и для всей популяции, подверженной хроническому воздействию трития.

Появившиеся в последние годы данные о повышенных уровнях смертности детей от лейкозов в районе завода РТ около Селлафилда, по нашему мнению, объясняются отнюдь не

<sup>16</sup> Klement et al. Estimates of Ionising Radiation Doses in the United States 1960 – 2000.–EPA., 1972. 67 p.

<sup>17</sup> Романов Г. Н. Поведение в окружающей среде и биологическое действие трития, //Проблемы радиэкологии. М., ВИНТИ, 1983. Т. 4. С. 6–31.

кластерным эффектом, как это объясняют лидеры МКРЗ, а именно воздействием на детский организм важнейшего биологически значимого радионуклида – трития. При аналогичных исследованиях в районе Ла-Ага были отмечены негативные тенденции в демографических процессах, выражающихся в повышении частоты младенческой (перинатальной) смертности от заболеваний неинфекционного характера. Аналогичные предварительные данные получены нами при анализе данных за 40 лет об уровнях, характеризующих заболеваемость и смертность населения трех областей, подверженных радиоактивному воздействию от регламентных и аварийных выбросов ПО «Маяк».

Из медико-статистических данных, полученных нами в районе ПО «Маяк», следует, что тенденции демографического развития близки к стационарному типу с некоторым уклоном к регрессивному типу. Вместе с тем нарастает частота проявления соматико-стохастических эффектов в виде злокачественных новообразований и генетических эффектов у подрастающего поколения за счет накопления дозовых нагрузок на население, воздействия выбросов и сбросов трития и других биологически активных радионуклидов от ПО «Маяк». Результаты корреляционного анализа выявили, что показатели младенческой смертности коррелируют с загрязненностью тритием питьевой воды, почвы, овощей. Показатели заболеваемости по классу болезней органов дыхания особенно активно коррелируют с выбросами вредных химических веществ в воздух. Показатель заболеваемости гриппом коррелирует с загрязненностью воздуха, а показатель по классу «болезни кожи и подкожной клетчатки» – с уровнями загрязнения экотоксикантами воздуха и воды.

Многофакторный регрессионный анализ позволил из всей совокупности многочисленных корреляционных связей между показателями заболеваемости населения в районе ПО «Маяк» и комплексом радиационных и нерадиационных факторов выявить приоритетные. Оказалось, что из 13 антропогенных факторов, взятых нами для многофакторного анализа, ведущими можно считать четыре:

- уровни загрязнения воздуха выбросами ТЭЦ;
- величины загрязнения пищевых продуктов нитратами, а питьевой воды хлором и тритием;
- дозовые нагрузки за счет рентгенодиагностики;
- плотность накопления стронция-90 на почве.

Для оценки медико-географической ситуации применен кластерный анализ, являющийся многофакторным статистическим методом группировки объектов в сравнительно однородные кластеры по совокупности признаков. Показано, что одним из главных факторов, определяющих подход к медико-экологическому районированию, является социальный, следствием влияния которого является формирование на первом иерархическом уровне устойчивого «сельского»

кластера. Гипотетически это вполне объяснимо ввиду отмеченного ранее типа питания местного населения продуктами собственного производства, в которых тритий присутствует не только в качестве *НТО*, но и в качестве органически связанного трития (*ОСТ*). Таким образом, задачами текущего момента являются:

- анализ и обобщение всего информационного массива данных об уровнях удельной активности трития в виде *НТО* и *ОСТ* в среде обитания в соответствии с требованиями НРБ-99;
- ретроспективная оценка эффективных доз облучения тритием населения и расчет вероятности проявления соматико-стохастических последствий;
- разработка контрольных уровней загрязнения тритием объектов окружающей среды и продуктов питания местного производства;
- выявление реперных нозологических форм проявления патологических процессов от воздействия трития;
- оценка риска популяционных изменений в состоянии здоровья населения от воздействия трития, поступающего из различных источников, не исключая термоядерные реакторы;
- разработка эффективных мероприятий по снижению радиационно-гигиенической значимости трития для населения в районе ПО «Маяк».

## Источники поступления трития в окружающую среду

Иваницкая М.В., Малафеева А.И. (публикуется в сокращении)



Тритий является радиоактивным изотопом водорода. Основные его физико-химические характеристики:

Атомная масса 3,01605.

Средняя энергия бета-излучения 5,8 кэВ.

Максимальная энергия излучения 18,5 кэВ.

Период полураспада 12,3 года. На полный распад требуется больше 120 лет.

Радиоактивный изотоп тритий бывает как природного – космогенного происхождения, так и техногенного.

Природный тритий образуется в атмосфере, литосфере и гидросфере. Основным источником природного трития является атмосфера, где он образуется в результате взаимодействия протонов и нейтронов космического излучения с водородом, кислородом и аргоном. Тритий может образовываться на солнце, во время солнечных вспышек и на других звездах (таблица 1).

Около 99 % общего количества космогенного трития превращается в тритиевую воду *НТО* и участвует в нормальном земном круговороте воды. Большая часть природного трития концентрируется в океанах в результате поступления его с дождем или путем прямого обмена водяными парами между воздухом и морской водой. Попав в океан, тритий рассеивается в нем в результате перемешивания воды. Концентрация природного трития на водной поверхности океана составляет в среднем 0,11 Бк/л<sup>18</sup>.

Концентрация природного трития в пресной воде обычно выше, чем в морской. До начала проведения ядерных испытаний на планете концентрация трития в пресной воде колебалась от 0,2 до 0,9 Бк/л.

Искусственный техногенный тритий проник в стратосферу благодаря наземным термоядерным взрывам, причем его количество превысило количество космогенного трития. Общая активность трития, произведенная ядерными взрывами, оценивается в  $2,4 \times 10^{20}$  Бк<sup>19</sup>. Пик выноса радиоактивного искусственного трития приходится на 1954–1958 и 1961–1962 гг. Вклад ядерных взрывов в вынос трития после 1964 г. составляет менее 5% от общего его количества.

Искусственный тритий, образованный в результате термоядерного взрыва,

---

<sup>18</sup> Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977г. Генеральной Ассамблее с приложениями. Нью-Йорк, 1978. 382 с.

концентрируется, в основном, в виде тритиевой воды в высоких слоях атмосферы (в стратосфере). В течение года пары тритиевой воды мигрируют в тропосферу, а оттуда вместе с осадками выпадают на земную поверхность. На земле техногенная тритиевая вода также вступает в общий круговорот воды. Большая часть ее попадает в океан и разбавляется его водами. Часть этой воды частично испаряется в атмосферу. Тритиевая вода, попадающая на земную поверхность, частично просачивается в почву, где может поглотиться растениями, испариться или мигрировать с грунтовыми водами к рекам или океанам. Часть тритиевой воды сразу поступает в озера и реки или откладывается на растениях. Распределение трития, образованного ядерными взрывами, шло неравномерно: 80% его было сконцентрировано в северном полушарии и около 20% – в южном<sup>20</sup>. Это связано с тем, что циркуляция атмосферного воздуха между полушариями незначительна, а основная часть взрывов была произведена в северном полушарии. Концентрация трития в осадках на морских станциях, расположенных по всему миру, возрастает экспоненциально от экватора к полярным районам.

Другим источником техногенного трития являются ядерные реакторы атомных электростанций. На каждый акт деления урана-235 (основного ядерного топлива) тепловыми нейтронами образуется  $2 \times 10^{-4}$  ядер атомов трития.

Таблица 1. Распределение природного трития в окружающей среде

Природная среда	Содержание трития, %
Стратосфера	6,8
Тропосфера	0,4
Земная поверхность и биосфера	27,8
Верхние перемешивающиеся слои океана	35
Глубины океана	30

При работе ядерного реактора тритий может поступать в окружающую среду как с жидкими сбросами, так и с газообразными выбросами. Скорость образования трития в реакторе на быстрых нейтронах (например, Белоярская АЭС) составляет 740 ГБк на МВт электроэнергии в год. Для примера: за 10 лет работы ядерного реактора на тяжелой воде образуется в среднем  $7 \times 10^{11}$  Бк трития<sup>21</sup>. Считают, что с используемыми в настоящее время оболочками тепловыделяющих элементов из циркониевого сплава в жидких сбросах содержится менее 1% образующегося при делении трития.

<sup>19</sup> Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977г. Генеральной Ассамблее с приложениями. Нью-Йорк, 1978. 382 с.

<sup>20</sup> Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977г. Генеральной Ассамблее с приложениями. Нью-Йорк, 1978. 382 с.

<sup>21</sup> Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 г. Генеральной Ассамблее с приложениями. Нью-Йорк, 1978. 382 с.

При регенерации отработавшего ядерного топлива (урана-235, плутония-239) большая часть выделяющегося трития поступает в жидкие радиоактивные отходы. Некоторое количество трития удаляется с газообразными отходами. На сегодня не существует эффективных систем улавливания трития, поэтому значительное его количество выносится напрямую в окружающую среду. Для примера: в 1980 г. производство трития на заводах по регенерации отработавшего ядерного топлива оценивалось в  $1,5 \times 10^{17}$  Бк, из них вынесено в окружающую среду  $4 \times 10^{15}$  Бк<sup>22</sup>. Общая величина текущего производства трития в ядерном топливном цикле сравнима с величиной его естественного производства, а величина выноса меньше на порядок.

В промышленных выпусках предприятий ядерного топливного цикла тритий содержится в трех основных соединениях: тритиевой воде *НТО*, тритиевом водороде *НТ* и тритиевом метане *СН<sub>3</sub>Т*. Время жизни тритиевого водорода и тритиевого метана в атмосфере оценивается в 5–10 лет. Основными процессами утилизации трития из атмосферы является действие бактерий и фотохимическое окисление тритиевого водорода и отдельно тритиевого метана. Конечным продуктом в обоих случаях является тритиевая вода. Тритиевая вода биологически более активна, чем тритиевый водород и тритиевый метан.

### Биологическое действие трития на живые организмы



Тритий – чистый бета-излучатель с низкой эффективной энергией излучения. Обладая наименьшей из всех радиоизотопов энергией бета-частиц, тритий создает значительную плотность ионизации тканей (число пар ионов, образуемых заряженной частицей на единице ее пути). Кроме того, пробег бета-частицы трития значительно меньше геометрических размеров клеток, поэтому поражение тритием локализуется возле самого изотопа, и общее поражение зависит от геометрии его распределения в тканях организма и микрогеометрии распределения в клетке.

Биологическое действие трития усиливается тем, что при его распаде образуется инертный газ гелий, поэтому рвутся водородные связи в живых клетках, а это будет сказываться как на нарушении процесса синтеза органических структур при жизни индивида, так и на наследственности, возможно отдаленной. Из этого следует необходимость контроля за содержанием трития в окружающей среде и продуктах питания, прежде всего вблизи предприятий ядерного топливного цикла, где содержание трития в окружающей среде значительно превышает среднее.

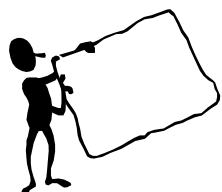
---

<sup>22</sup> Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 г. Генеральной Ассамблее с приложениями. Нью-Йорк, 1978. 382 с.



Внешнее облучение организма тритием не представляет большой опасности для здоровья. Роговые слои кожи (толщиной около 70 мкм) удовлетворительно защищают от бета-частиц низкой энергии. Доза тормозного облучения тритием (рентгеновские лучи) еще меньше. Но попадание трития в любой форме в организм представляет потенциальную опасность. Период биологического полувыведения тритийсодержащей воды колеблется от 9 до 14 суток для разных людей (в среднем 12 суток). Из-за низкой растворимости трития (или водорода) в жидкости человеческого организма обычно считают, что тритийсодержащая вода представляет большую биологическую опасность, чем газообразный тритий.

### Принципиальные выводы относительно токсичности трития



1. Опасность облучения газообразным тритием в 1000 раз меньше, чем опасность облучения тритийсодержащей водой.

2. Максимальная опасность острого облучения смесью газообразного трития и воздуха обусловлена окислением трития до оксида при воспламенении взрывчатой смеси.

3. Мощность дозы облучения поверхности дыхательных органов в слое 1 мкм после вдыхания газообразного трития очень высока (тысячи бэр/сек.). Низкая растворимость трития в тканях и крови по сравнению с воздухом приводит к тому, что легкие начинают играть роль очень эффективных фильтров. Поэтому сами легкие и дыхательные пути следует рассматривать как критические органы, получающие максимальную дозу облучения.

4. Степень поражения организма в целом в результате непосредственного растворения трития в жидкости организма или биологического окисления трития с последующей адсорбцией тритийсодержащей воды примерно одинакова. Эта опасность не смертельна. Облучение в течение 10 секунд чистым газообразным тритием создает дозу излучения не более шести бэр. Если воздух в помещении содержит 10% трития, то 10-минутное облучение равносильно дозе около 40 бэр.

5. Доза, получаемая в результате тормозного облучения, даже при очень высокой концентрации трития может оказаться пренебрежимо малой благодаря низкой интенсивности и малой проникающей способности рентгеновских лучей.

6. Окислением трития в результате его собственной радиации, по-видимому, можно пренебречь по сравнению с биологическим окислением. Окисление трития в организме осуществляется в основном бактериями кишечника.

7. Вещества высокой удельной активности представляют серьезную опасность для живых организмов. Из них наиболее опасны те вещества, которые, будучи поглощенными, подвергаются

медленному метаболизму (или катаболизму) либо концентрируются в определенных тканях, клетках или органах. Вещества, попадающие в клетки, например, нуклеозиды и аминокислоты, могут создавать большие местные дозы.

### Тритий в окружающей среде на территории Российской Федерации



В настоящее время уровни концентрации трития в окружающей среде обусловлены глобальными источниками – тритием естественного происхождения и, в определенной мере, прежними термоядерными испытаниями. Вклад в повышение локальных уровней содержания трития в окружающей среде дают промышленные ядерные объекты (ядерные установки, исследовательские реакторы, заводы по регенерации отработавшего ядерного топлива).

Росгидрометом на территории бывшего Советского Союза, а теперь Российской Федерации осуществляется мониторинг содержания трития в атмосферных осадках и его выпадениях из атмосферы, а также содержания трития в водных объектах.

На рисунках 1 и 2 представлен ход среднегодовых концентраций и суммарной за год плотности выпадений трития из атмосферы в среднем по РФ, по данным многолетних наблюдений Росгидромета. Средняя многолетняя концентрация трития в атмосферных осадках составляет 4,4 Бк/л. Среднегодовая за 12-летний период плотность выпадений трития составляет 2065 Бк/м<sup>2</sup> <sup>23</sup>.

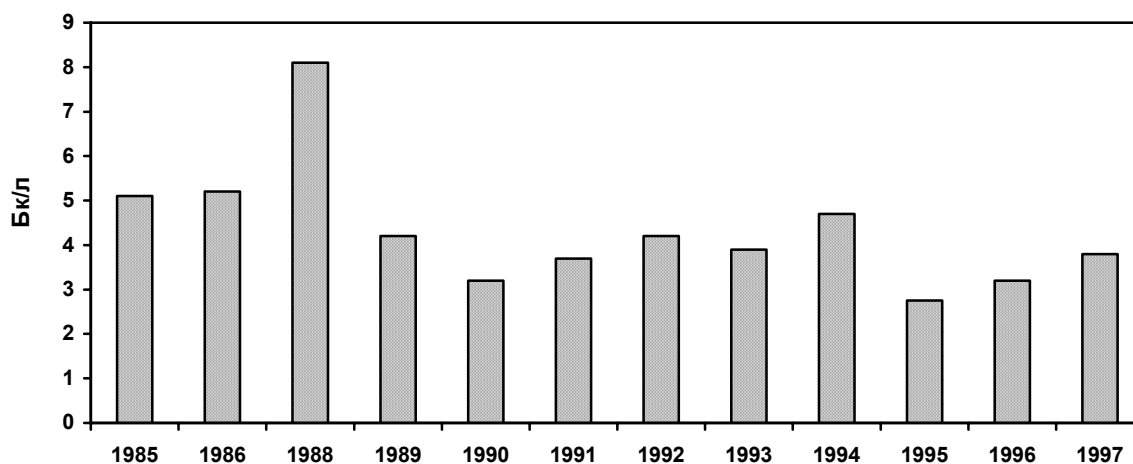


Рис.1. Динамика колебаний концентраций трития в атмосферном воздухе (осадки) на территории России

<sup>23</sup> Радиоактивное загрязнение территории СССР в 1986 г. Ежегодник/ Под ред. К.П. Махонько. Обнинск. НПО «Тайфун», 1987.

Более высокие концентрации трития фиксировались в 1987–1988 гг. как следствие Чернобыльской аварии, при которой произошел мощный вынос техногенных радионуклидов в окружающую среду. В целом колебания годовых выпадений трития связаны с изменчивостью процессов его выведения из атмосферы и поступления в атмосферу от естественных и техногенных источников.

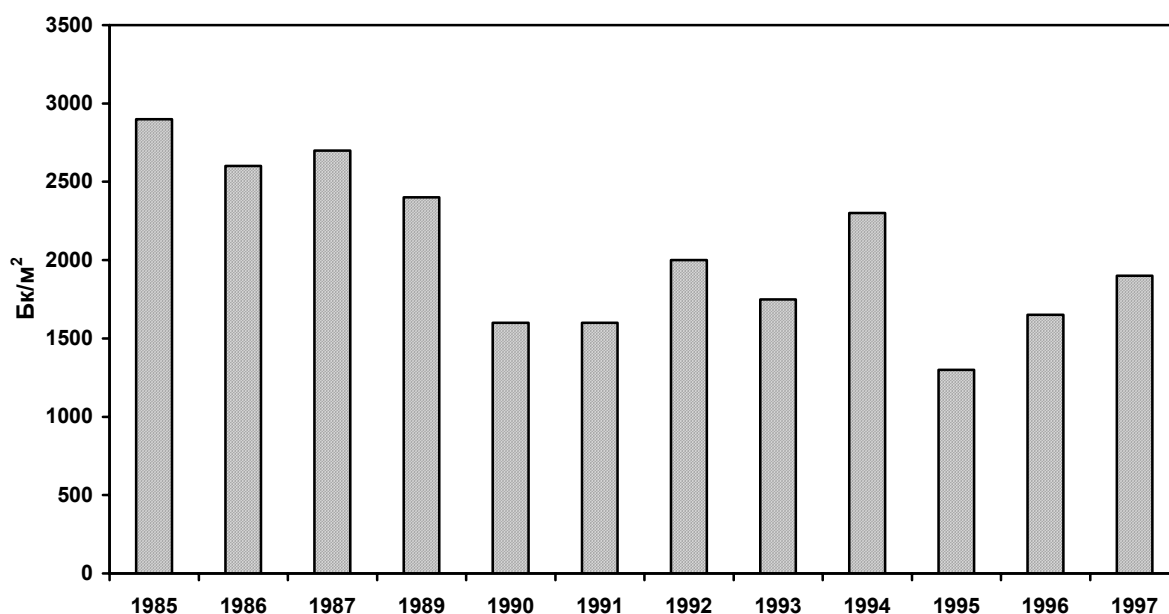


Рис. 2. Динамика плотности выпадения трития из атмосферы

Концентрация трития в атмосфере имеет годовой ход с максимумом в конце весны – начале лета и с минимумом зимой (рис. 3).

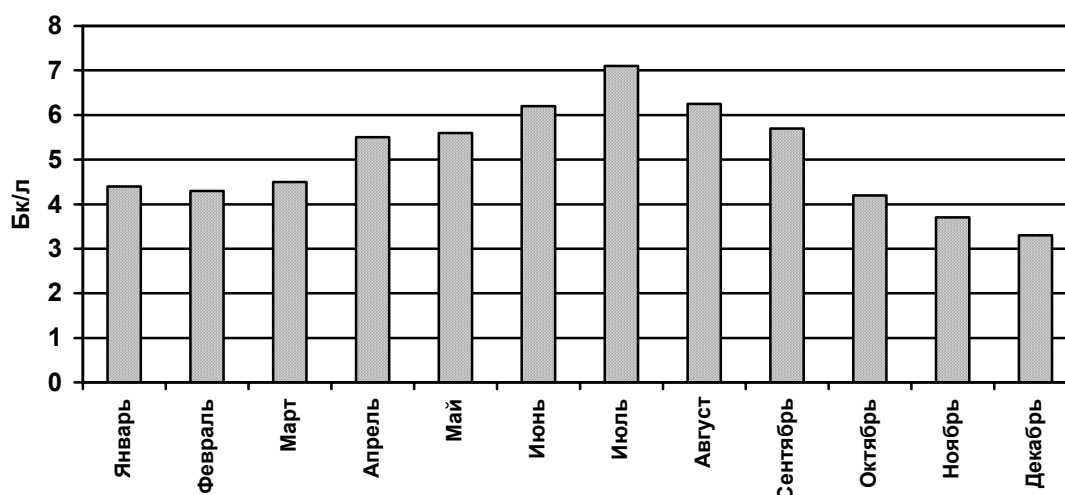



Рис. 3. Среднемесячные концентрации трития в атмосферных осадках в 1985 г. на территории СССР

Мониторинг радиоактивного загрязнения воды поверхностных водотоков и океанов, омывающих берега России, осуществляется Росгидрометом длительное время. По средним многолетним данным, концентрация трития в водах морей колеблется в пределах 4–10 Бк/л, при определенной тенденции к спаду. Фоновые уровни загрязнения рек России тритием в 1997 г. составляли 2–7 Бк/л при среднем значении по России в пределах 4 Бк/л.

### Загрязнение подземных вод



Хранилища жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк», включая водоемы 9 и 17, расположены в районе междуречья Течи и Мишеляк. Гидрогеологические условия: поверхность – щебнисто-глинистый аллювий мощностью до 25 м, далее следуют порфириды, выветренные на глубину 30–40 м и трещиноватые до 100–150 м. По глубинному разлому порфириды надвинуты на мощную плиту известняков, слагающих Теча-Бродскую впадину, для которой характерны зоны закарстованности, развитые до глубины 400 м. Грунтовые воды территории ПО «Маяк» к западу от регионального разлома приурочены к трещиноватым порфиритам и прикрывающему их аллювию. Мощность водоносного горизонта достигает 100 м. К востоку от разлома вода содержится в закарстованных и трещиноватых известняках, водопроницаемость которых достигает 500–900 м/сут. Подземные воды образуют с поверхностными единую гидродинамическую систему.

Вся водная система района дренируется реками Теча и Мишеляк. Водоем В-9 удален к западу от разлома и связан с поверхностными водами. Фильтрующиеся из водоема В-9 воды распространяются в северном и южном направлении, объем фильтрации до 250 тыс. м<sup>3</sup>/год. Вследствие хорошей связи с подземными водами радионуклиды из водоема попадают в подземные горизонты. Тритий, нитраты и ацетаты находятся в растворах водоема В-9 в виде анионов и в составе молекул; они не сорбируются грунтами и поступают в водоносный горизонт в концентрациях, равных по среднемноголетним данным 1,1–1,2 МБк/л.

Миграция загрязненных растворов, профильтровавшихся из водоема в горизонт подземных вод, происходит в соответствии со структурой потока, водопроницаемостью и трещиноватостью пород в интервале глубин преимущественно до 100 м. Изучение распространения загрязнения осуществляется через систему наблюдательных скважин, глубина которых 30–300 м. Систематические наблюдения за миграцией компонентов загрязнителей в потоке подземных вод были начаты в 1970 г. и продолжаются до настоящего времени. Содержание компонентов определяется спектрометрическим, радиометрическим, радиохимическим и химическим

методами. В грунтовый поток от водоема В-9 поступают радионуклиды, в их числе тритий, стронций-90, цезий-137 и др.

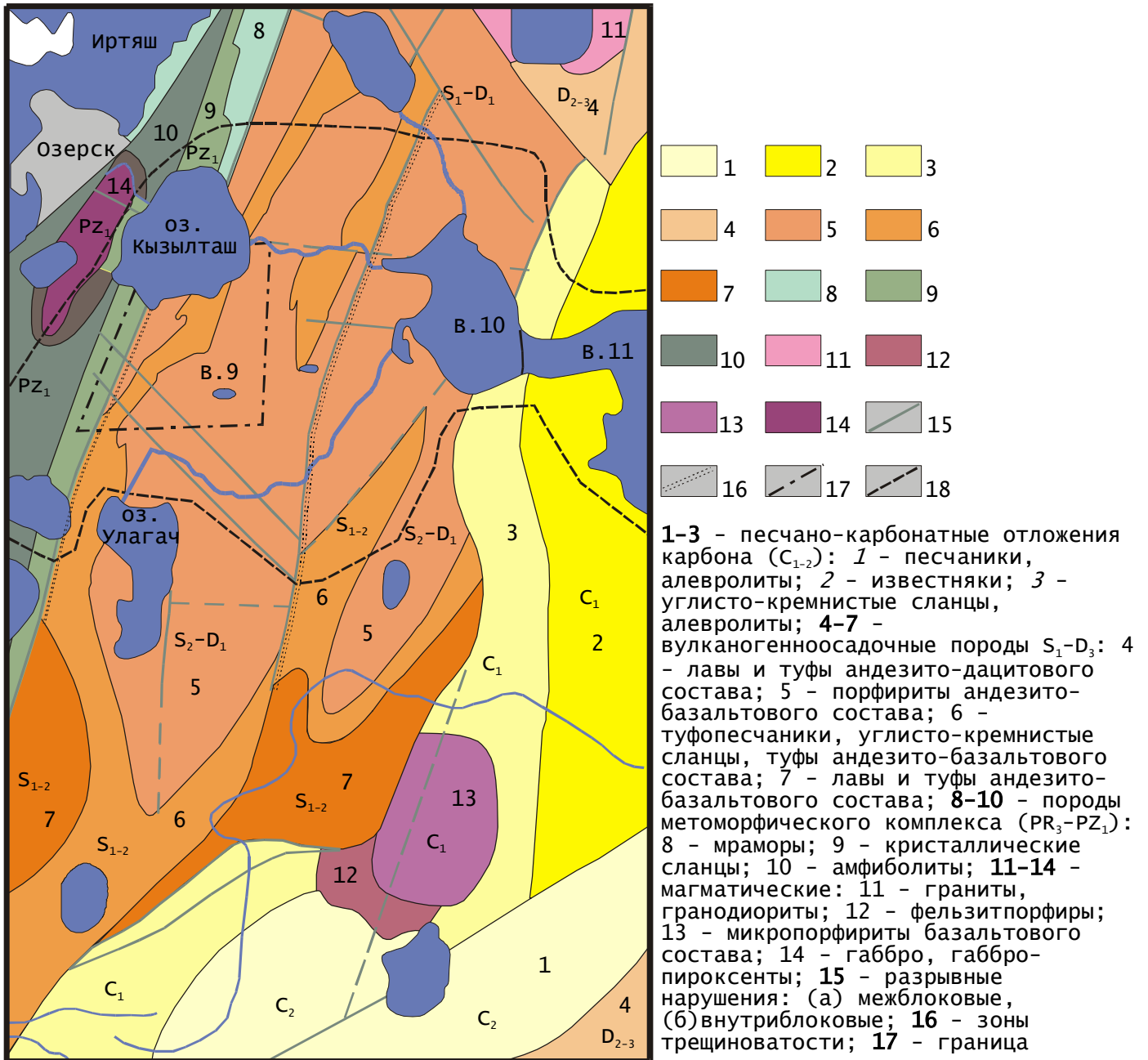


Рис 4. Геологическая карта района ПО «МАЯК»<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Источники радиоактивного загрязнения р. Теча и района расположения ПО «Маяк», Урал, Россия. Остерас, Норвегия, 2000 г., с. 15.

Благодаря тому, что тритий поступает в водоносный горизонт в постоянных количествах, вблизи водоема В-9 образовалась зона загрязнения подземных вод со стабильными концентрациями этих компонентов. В результате использования водоема В-9 в качестве хранилища радиоактивных отходов в подземные воды поступило значительное количество трития.

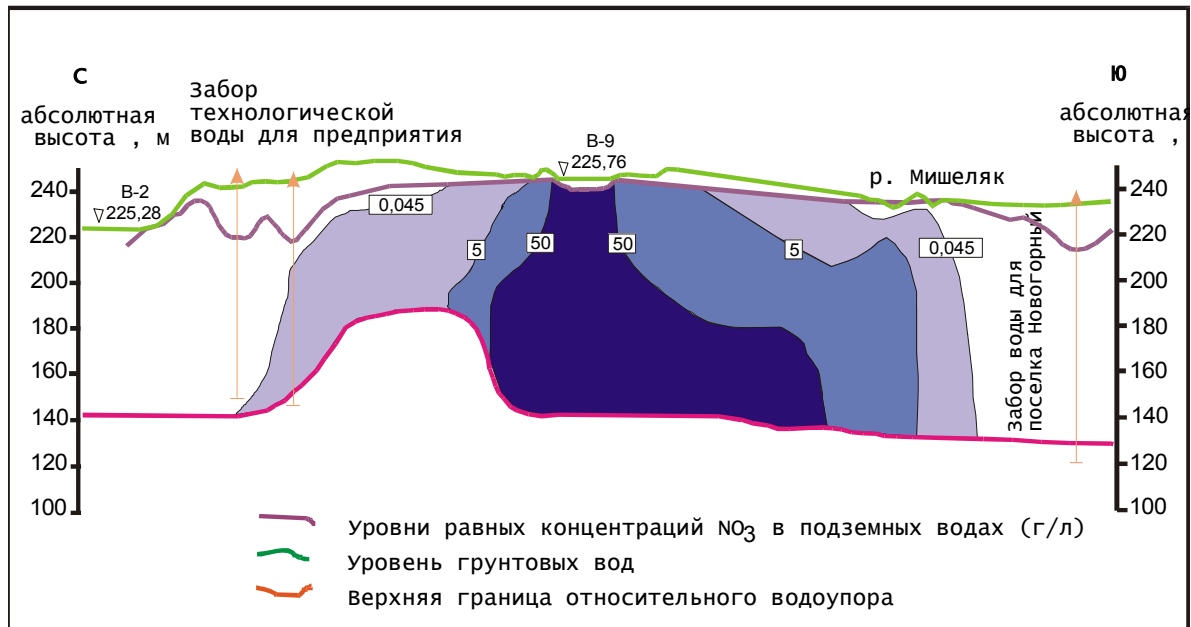


Рис. 5. Гидрогеохимический разрез от водоема №2 через водоем №9 и реки Мишеляк до водозабора пос. Новогорный<sup>25</sup>

Ореолы загрязнения по тритию в границах ДКб не выходят за пределы санитарно защитной зоны. Загрязненные растворы подходят к долине р. Мишеляк (скважина 14/68 в интервале глубин 60–100 м) с концентрацией трития до 4,8 кБк/л (1997 г.).

Поток фильтрационных вод в северном и южном направлениях дренируется водоемами 2 и 3 (р. Теча). Поток в южном направлении дренируется р. Мишеляк. Это наиболее опасный поток. За 40 лет эксплуатации водоема В-9 он распространился на 2,5–3 км и достиг р. Мишеляк. Поток загрязненных вод проходит под ложем реки на глубине 15 м. Общий объем грунтовых вод оценивается более 4 млн. м<sup>3</sup>, площадь ореола 10 км<sup>2</sup>.

Расход южного потока 65 м<sup>3</sup>/сут, скорость 0,84 м/сут. Скорость пространственного перемещения радионуклидов достигает в среднем 80 м/год. Существует реальная угроза разгрузки этих вод в открытую гидрографическую сеть и загрязнения источников питьевых водозаборов уже в ближайшие годы.

<sup>25</sup> Источники радиоактивного загрязнения р. Теча и района расположения ПО «Маяк», Урал, Россия. Остерас, Норвегия, 2000 г., с. 122.

Северный ореол загрязнения, содержащий рутений-106, кобальт-60 и тритий, осложнен наличием на этом участке технических водозаборов, местных дренажей и прочих гидротехнических сооружений. Разбавленные растворы подтягиваются к действующему техническому водозабору.

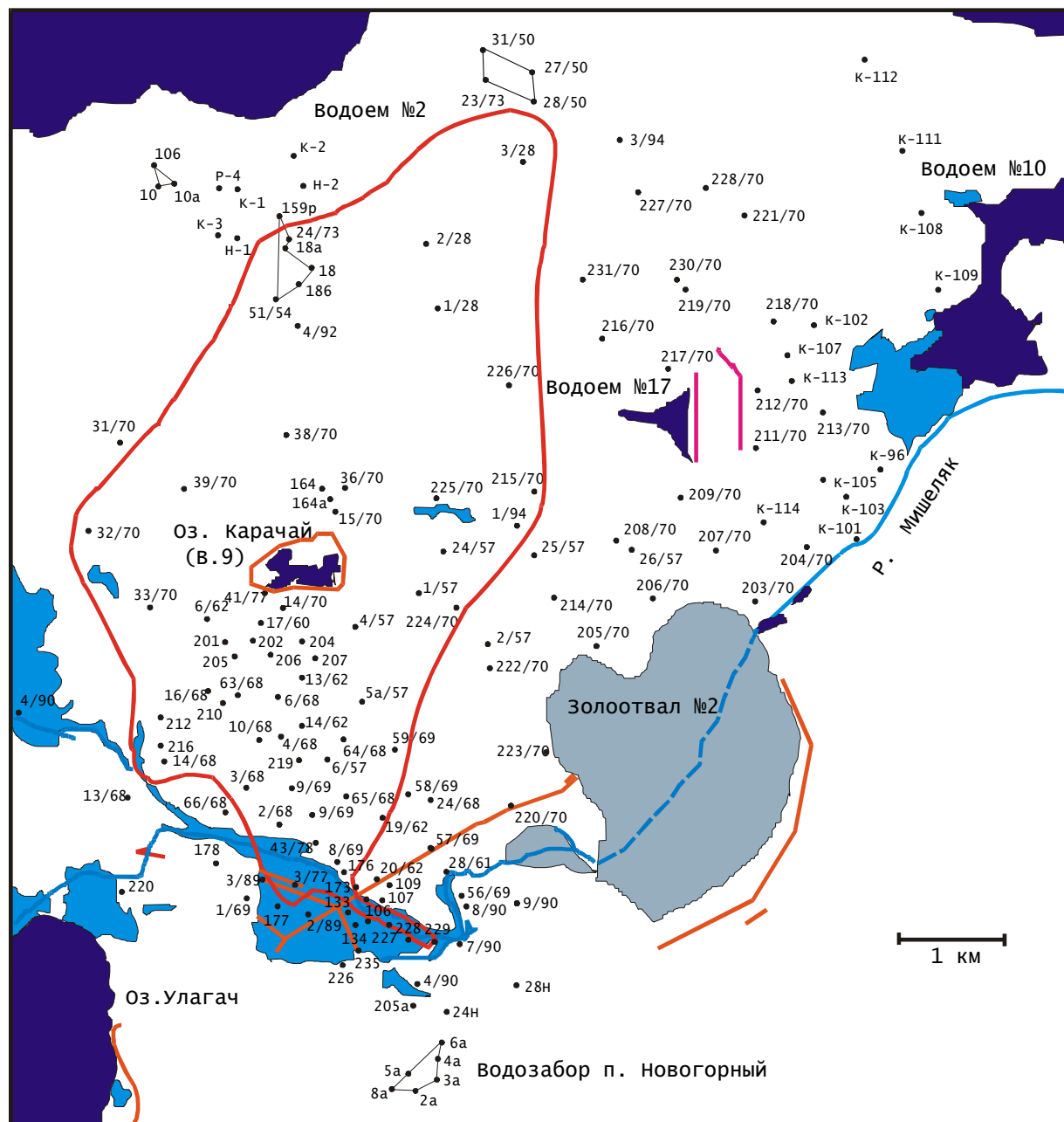


Рис. 6. Сеть скважин наблюдения в районе оз. Карачай<sup>26</sup>

К настоящему времени накоплен значительный материал, имеются данные многолетних наблюдений за подземными водами и распространением загрязнений. Наличие этой информации позволяет делать прогнозы (таблица 2).

<sup>26</sup> Источники радиоактивного загрязнения р. Теча и района расположения ПО «Маяк», Урал, Россия. Остерас, Норвегия, 2000 г., с. 66.

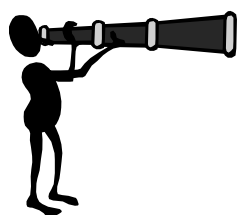
Таблица 2. Концентрации трития в технологических водоемах в различные годы

№ п/п	Номер и название водоема - хранилища	Концентрация трития в воде, кБк/л			
		1981 г.	1990 г.	1993 г.	1995 г.
1	№ 9, Карачай	1100	1400	3100	2000
2	№17, Старое Болото	1610	–	3700	3700
3	№ 2, Кызылташ	0,19	0,89	–	~
4	№ 6, Татыш	1,8	0,41	–	~
5	№ 3, Теченский каскад	25,3	25,9	–	–
6	№ 4, Теченский каскад	26,8	20,0	–	–
7	№ 10, Теченский каскад	8,3	8,89	–	–
8	№ 11, Теченский каскад	1,8	12,9	–	–
9	Правобережный обводной канал	–	0,37	–	–
10	Левобережный обводной канал	–	0,37	–	–
11	ДУА (кБк/л)	30			

Дно водоема 17 состоит из суглинков мощностью 4–6 м, которые сорбируют на себя основную часть радионуклидов, поэтому ореол загрязнений подземных вод от водоема 17 значительно меньше, чем от водоема В-9. К северу и северо-востоку от водоема загрязненные воды поступают в количестве 153 м<sup>3</sup>/сут. Из водоема 17 в подземные воды поступает тритий и нитрат-ион.

Распространение загрязняющих веществ от водоемов хранилищ в подземные воды контролируется сетью наблюдательных скважин.

### Организация и развитие радиационного мониторинга в зоне влияния ПО «Маяк»



Самые первые годы работы ПО «Маяк» были периодом максимальных выбросов. Ввиду отсутствия системы измерения, вернее разработанных методов измерения, а также отсутствия концепции о негативной роли выбросов соответствующие измерения не проводились. Лишь к 1958–1959 гг. были разработаны основные подходы к оценке состояния окружающей среды, к оценке радиоактивных выбросов.

В 1967 г. была организована система наблюдений за атмосферными выпадениями службой Гидромета, ОНИСом, лабораторией ПО «Маяк»

В зоне влияния ПО «Маяк» действует система мониторинга ПО «Маяк», в том числе за основными дозообразующими радионуклидами и тритием. Наблюдения за радиоактивным загрязнением подземных вод от оз. Карачай и водоема 17 ведет также специализированная гидрогеологическая экспедиция.



### Загрязнение территории Челябинской области тритием в ретроспективе



В таблице 3 представлены концентрации трития в водоемах Челябинской области, расположенных в разном направлении и на разном удалении от ПО «Маяк» за 1982 и 1986 гг., по данным службы мониторинга ПО «Маяк». Практически по всем исследуемым водоемам прослеживается локальное загрязнение вод тритием. Концентрации в 4–25 раз выше глобального фоновый уровень загрязнения поверхностных водоемов тритием в анализируемые годы. В восточном направлении границы распространения загрязнения тритием несколько дальше, так как на данной территории преобладают ветра западной четверти.

Таблица 3. Удельная активность трития в поверхностных водоемах Челябинской области

№ п/п	Направление от источника	Удаление от источника, км	Водоем	Концентрация $^3\text{H}$ , Бк/л	
				1982 г.	1986 г.
1	С	10	оз. Бердяниш	220	180
2	С	20	оз. Б. Касли	180	70
3	С	30	оз. Кисегач	70	120
4	С	40	оз. Синара	70	40
5	С	60	оз. Анжелы	220	80
6	С	70	оз. Карагуз	70	69
7	ССВ	20	оз. Алабуга	70	60
8	ССВ	30	оз. Аллаки	110	100
9	ССВ	50	оз. Игиш	100	100
10	СВ	60	оз. Шаблиш	62,5	70
11	ССВ	60	оз. Щелкун	80	80
12	СВ	20	оз. Урукуль	70	140
13	СВ	20	оз. Кажаккуль	160	100
14	СВ	40	оз. Урукуль	170	120
15	СВ	45	оз. Маян	110	80
16	СВ	50	оз. Пороховое	170	70
17	СВ	70	оз. Б. Куяш	120	70
18	ВСВ	20	оз. Суртаныш	70	110
19	ВСВ	30	оз. М. Куяш	70	100
20	ВСВ	60	оз. Кунашак	120	91
21	В	20	оз. Сарбалык	160	100
22	В	30	оз. Карагайкуль	140	91
23	В	40	оз. Чебакуль	160	70
24	В	50	оз. Уелги	100	80
25	ВЮВ	30	оз. Калды	70	80
26	ВЮВ	50	оз. Урефты	160	180
27	ЮВ	20	оз. Аргаяш	70	60
28	Ю	10	оз. Улагач	170	170
29	ЮЮЗ	40	Вдхр. Аргазы	70	80

30	ЮЗ	30	оз. Увильды	100	130
31	З	20	оз. Б. Наного	210	230
32	З	20	Кыштымский пруд	70	60
33	З	20	оз. Сугомак	130	80
34	ЗСЗ	10	оз. М. Наного	160	230
35	ЗСЗ	30	оз. Булдым	80	240
36	ССЗ	10	оз. Иртяш	140	200
37	ССЗ	30	оз. Киреты	178	150
38	ССЗ	30	оз. Сунгуль	80	100
39	ЮЗ	60	Карабашский пруд	20	20

В таблице 4 представлены концентрации трития в реках Челябинской и соседних с ней областей. Река Теча имеет более высокие концентрации трития в верховьях. По мере удаления от истока концентрации трития в реке падают, что указывает на источник загрязнения, находящийся в верхнем течении реки.

Таблица 4. Удельная активность трития в водах рек

№ п/п	Река	Контрольный створ	Расстояние от пром. площадки, км	Концентрация трития, Бк/л	
				1984 г.	1986 г.
1	Теча	Тракт Екатеринбург – Челябинск	40	–	300
2	Теча	с. Муслумово	60	290	370
3	Теча	с. Верхняя Теча	120	120	–
4	Теча	с. Затеченское	150	100	170
5	Исеть	Выше г. Двуреченск	110	50	16
6	Исеть	с. Колюткино	103	30	40
7	Исеть	г. Каменск-Уральский	110	60	20
8	Исеть	г. Катайск	130	30	–
9	Исеть	с. Долматово	150	30	–
10	Исеть	с. Красноисетск	150	80	–
11	Исеть	с. Мехонское	245	60	–
12	Сысерть	Выше г. Двуреченск	110	50	30
13	Синара		60	60	60
14	Караболка	Новобурино	60	60	–
15	Миасс	Тракт Уфа-Челябинск	90	178	20
16	Миасс	Тракт Миасс-Карабаш	40	80	20
17	Камышевка	Часовая	110	20	30
18	Ай	г. Златоуст	85	60	–
19	Ай	г. Куса	90	70	30
20	Каменка	п. М. Грязнуха	110	20	20

В остальных водотоках концентрации трития ниже, чем в озерах. Это объясняется более быстрыми процессами разбавления вод в реках. В период с августа по ноябрь 1992г. осуществлялся отбор и анализ на содержание трития проб, отобранных в ряде озер, рек и других

водных источников областной службой Госсанэпиднадзора. По результатам их обследования, уровень загрязнения воды тритием в исследуемых водоемах сократился в несколько раз по сравнению с уровнем в 80-е годы. Например, объемная активность трития в воде оз. Иртяш была ранее в пределах 200–500 Бк/л, а в 1992 г. она составила 76 Бк/л. По мнению специалистов ОблСЭС это можно объяснить уменьшением величины газо-аэрозольных выбросов в атмосферу от ПО «Маяк». Содержание трития в водах Кыштымского района фиксировалось в пределах 32–76 Бк/л, в Каслинском районе 40–76 Бк/л, в Кунашакском от уровней, близких к фоновым (менее 10 Бк/л), до 81 Бк/л. Таким образом, концентрация трития в водах озер и рек вокруг ПО «Маяк» в 1992–1993 гг. превышала фоновые уровни данного радионуклида в поверхностных водоемах (4 Бк/л) в 2–20 раз.

В таблице 5 представлены концентрации трития в атмосферном воздухе контрольных пунктов ПО «Маяк» за 1989 и 1994 гг. Сравнение результатов показывает снижение данного показателя в 2–5 раз по контрольным пунктам.

Таблица 5. Среднегодовые концентрации радионуклидов в приземном слое воздуха в 1989 г. (по данным ПО «Маяк»)

№ п/п	Пункт контроля	Направление от источника	Расстояние, км	Концентрация НТО, Бк/м <sup>3</sup>
1	Озерск	ССЗ	10	5,9
2	Метлино	СВ	17	13,3
3	Башакуль	В	2,6	20
4	Худайбердинск	ЮВ	12	17,0
5	Новогорный	Ю	8	5,9
6	Татыш (пос. №2)	ЮЗ	6	5,9
7	Фон по РФ			3,7–4,7
8	ДКБ			11000

На территории Челябинской области мониторинг трития в объектах окружающей среды Гидрометом не проводился. В 1998 г. Челябинским областным центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды совместно со специалистами НПО «Тайфун» г. Обнинск был осуществлен отбор и анализ проб воды из 10 контрольных створов в п. Новогорный, г. Челябинске, а также из рек Теча и Караболка.

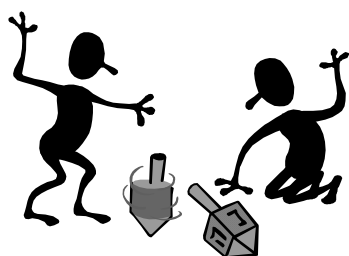
В таблице 6 представлены данные по содержанию трития в отобранных пробах. По полученным результатам можно сделать вывод, что концентрация трития в водных источниках выше фоновых уровней в среднем по стране. Концентрации трития в р. Теча превышают фоновые уровни в 40–50 раз. Концентрация трития в водопроводной воде п. Новогорный в 10 раз выше фоновых уровней, в р. Караболка уровни трития в 2 раза выше фона, в питьевых источниках г. Челябинска значения концентрации трития в воде близки к фоновым уровням.

Таблица 6. Концентрации трития в пробах воды, отобранных на территории Челябинской области в 1998 г.

№ п/п	Место отбора проб	Концентрация трития, Бк/л
1	п. Новогорный, водопроводная вода	55
2	п. Новогорный, водопроводная вода	53
3	г. Челябинск, водопроводная вода, с/з	9
4	г. Челябинск, водопроводная вода, с/з	13
5	Колодец в районе Градского прииска	46
6	р. Теча, с. Муслиумово	234
7	р. Теча, с. Бродокалмак	168
8	Р. Теча, с. Нижнепетропавловское	124
9	р. Караболка, с. Усть-Караболка	10
10	Фоновые концентрации по РФ	4

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные из-за малого количества проб, ограниченного промежутка времени, в течение которого они были отобраны, и небольшого числа обследованных объектов. Измеренные концентрации трития в этих пробах значительно меньше допустимых уровней удельной активности в питьевой воде для населения ( $ДУА_{\text{нас}}=30000$  Бк/л по НРБ-96 – нормы радиационной безопасности, утвержденные в 1996 г.), тем не менее полученные данные позволяют заключить, что ПО «Маяк» является источником загрязнения тритием грунтовых вод, а также водоемов и водотоков. Поэтому представляются целесообразными организация и проведение регулярного мониторинга загрязнения тритием рек, озер, ручьев и родников, а также колодцев и подземных скважин на территориях, примыкающих к ПО «Маяк» и находящихся в зоне возможной миграции трития.

### Методы отбора и анализа проб трития в природных средах



Для получения надежных репрезентативных данных по содержанию трития необходимо строго придерживаться процедуры отбора проб. Тритий присутствует во всех природных средах: в атмосферном воздухе, водах, почве, растительности, снежном покрове.

В силу того, что тритий легко и достаточно быстро окисляется в воде, то наиболее распространенным методом оценки его содержания в окружающей среде является его содержание в атмосферных осадках.

Сбор атмосферных осадков осуществляется на метеостанциях или специальных постах. На открытой площадке устанавливается специальный бак-приемник из нержавеющей стали с крышкой, который открывается только когда выпадают осадки. Так как скорость испарения

тритиевой воды (*НТО*) отличается от скорости испарения протиевой воды (*ННО*), то необходимо в перерывах между выпадениями осадков предохранять отобранную воду от испарения. Если этого не сделать, то содержание трития в воде будет завышено. В дальнейшем осадки до анализа хранят в герметически закрытой посуде.

В зимнее время после прекращения снегопада приемный сосуд закрывают крышкой и в помещении дают снегу растаять без подогрева, чтобы избежать испарения. Пробы маркируются, в сопроводительном листе записывается дата отбора, количество осадков, выпавших за исследуемый период, их продолжительность, относительная влажность воздуха, температура и другие метеопараметры. Эти данные необходимы для расчета концентрации трития на объем воздуха.

Если возникает необходимость отбора пробы атмосферного водяного пара, то одним из методов является вымораживание (конденсация) прокачиваемого окружающего воздуха через специальный сосуд с охлаждающими пластинами, помещенный в морозильную камеру. Прокачка воздуха осуществляется портативной ротационной воздуходувкой. Сконцентрированный (замороженный) пар сливается в бутылку и анализируется на содержание трития.

Поскольку, в конечном итоге, весь тритий переходит в воду, очень важным является отбор и анализ его содержания в поверхностных водах. Отбор проб поверхностных вод осуществляется на специальных гидропостах. Время отбора проб речной воды устанавливается в зависимости от гидрологических режимов и может не совпадать по отдельным водоемам. Пробы из водоема берутся с гидрометрической переправы, лодки, а из болот – пешим ходом, специальным ведром. Объем отбираемой воды около одного литра. Отобранная проба анализируется в стационарной лаборатории. При отборе пробы осуществляются гидрометрические измерения.

Пробы подземных вод отбираются из наблюдательных скважин либо питьевых водозаборов и родников. Частота отбора проб определяется конкретными гидрогеологическими условиями и уточняется по результатам изучения фронта загрязнения. Объем отбираемой воды около одного литра. Проба маркируется, описывается место отбора, дата и анализируется в лабораторных условиях.

Анализ содержания трития в природных средах осуществляется в стационарной специализированной лаборатории. Поступающие пробы очищаются, при необходимости обогащаются путем уменьшения их первоначального объема.

## Применение трития



В настоящее время тритий широко используется в мирных целях. Он является сравнительно дешевым радионуклидом, что способствует широкому его использованию в различных сферах человеческой деятельности. Тритий применяется в лабораторной практике для получения меченых образцов. Он оказался незаменимым во многих радиобиологических экспериментах благодаря сравнительно большому периоду полураспада, относительно высокой удельной активности, прекрасным автордиографическим свойствам, которые обусловлены низкой энергией бета-частиц. В физике тритий применяют для изготовления тритиевых мишеней, источников света и микро мишеней для лазерного термоядерного синтеза, в химии и биологии – как индикаторы водорода и углеродной структуры. В радиационной химии тритий используют для обнаружения и идентификации продуктов радиолиза. Он находит все более широкое применение в исследованиях механизма и кинетики химических реакций, а также при исследовании реакций переноса водорода. В биологических исследованиях тритий используют для определения времени биологического полувыведения воды из организма человека и животных. Газообразный тритий может быть использован в клинической практике для определения вентиляционного объема легких, а также в фармакологических исследованиях и экспериментальной радиотерапии. Также в биологических исследованиях применяется меченый тритием гепоксалин  $B^{27,28,29,30,31}$ . Гепоксалин  $B_3$  обладает мощной инсулинсекреторной активностью и может применяться для лечения диабета. Тритиевая вода используется в гидрогеологии при изучении перемещений воды на поверхности и в глубинах земли, а также при изучении распределения грунтовых вод в нефтяных пластах.

Тритий образуется в активной зоне реактора в результате тройного деления: в среднем примерно на  $10^4$  делений  $^{235}U$  всего одно происходит с образованием трития. Приблизительно в два раза больше образуется трития при делении  $^{239}Pu$ . Кроме того, тритий образуется в теплоносителе в результате захвата нейтронов ядрами дейтерия, содержащегося в воде в количестве 0,015%. Тритий образуется также при взаимодействии нейтронов с бором, входящим в

---

<sup>27</sup> Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 г. Ежегодник/ Под ред. К.П. Махонько, Обнинск, НПО «Тайфун». 1992.

<sup>28</sup> Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1992 г. Ежегодник/ Под ред. К.П. Махонько, Обнинск. НПО «Тайфун», 1993.

<sup>29</sup> Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1994 г. Ежегодник/ Под ред. К.П. Махонько, Обнинск. НПО «Тайфун», 1995.

<sup>30</sup> Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1995 г. Ежегодник/ Под ред. К.П. Махонько, Обнинск, НПО «Тайфун», 1996.

<sup>31</sup> Методика контроля радиоактивного загрязнения водных объектов (МВИ. 01–7/96)/ Под ред. А.И. Никитина, Обнинск, 1996.

состав органов регулирования. Из реакторов и установок по переработке топлива тритий выделяется или в виде содержащего тритий газа (*HT*), или в виде содержащей тритий воды (*HTO*) и попадает в атмосферу, реки, озера. Газообразный тритий *HT* очень быстро окисляется и переходит в *HTO*. В конечном счете, любой утекающий самопроизвольно или сбрасываемый под контролем тритий оказывается в виде тритированной воды. В растениях и организмах животных устанавливается соотношение концентраций *HTO* и  $H_2O$ , близкое к существующему в окружающей среде. Радиационное воздействие трития является следствием потребления человеком продуктов питания и питьевой воды. Потому особенно важно ведение мониторинга по тритию питьевой воды, молока, мяса и др. продуктов на загрязненных тритием и близрасположенных территориях.

Все люди подвергаются воздействию естественного фона излучения природных радиоактивных веществ. Так, в США средняя доза облучения всего организма из-за естественного фона излучения равна 0,7–2,2 мЗв/год, в Германии 1,1 мЗв/год.

Международная комиссия по радиационной защите опубликовала рекомендации по допустимым уровням радиационного воздействия на человека в связи с работой ядерных установок, в которых проведено разграничение предельных доз для обслуживающего персонала и предельных (более низких доз) для гражданского населения.

## Тритий в промышленных водоемах ПО «Маяк»

Усачёв В. Л. (публикуется в сокращении)



Образующийся в ядерных реакторах тритий поступает в окружающую среду с газообразными или жидкими отходами. Наиболее значимым считается водный путь загрязнения окружающей среды тритием и его соединениями. Поэтому целесообразно рассмотреть миграцию трития при его поступлении с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) в водоемы, расположенные в зоне влияния ПО «Маяк».

ПО «Маяк» производит сброс жидких радиоактивных отходов в водоемы, расположенные на территории промышленной площадки, входящие и не входящие в состав Теченского каскада водоемов (ТКВ). Исторически сложившаяся система отведения ЖРО среднего и низкого уровня активности в открытые водоемы не отвечает современным требованиям обращения с РАО и потому может рассматриваться только как временная мера.

Под промышленными водоемами на ПО «Маяк» понимают следующие водные объекты:

В-2 – водоем-хранилище, в качестве которого рассматривается Кызылташ;

В-3 – искусственный водоем в долине старого русла р. Теча;

В-4 – искусственный водоем в долине старого русла р. Теча;

В-6 – водоем-хранилище, в качестве которого рассматривается оз. Татыш;

В-9 – водоем-хранилище на месте оз. Карачай;

В-10 – искусственный водоем в долине старого русла р. Теча;

В-11 – искусственный водоем в долине старого русла р. Теча;

В-17 – искусственный водоем в междуречье Теча – Мишеляк.

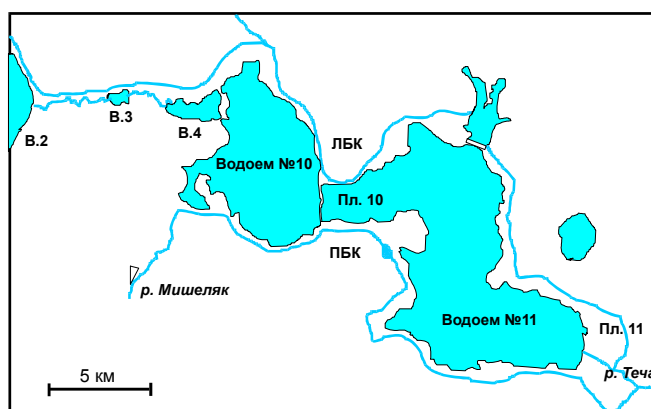


Рис. 7. Промышленные водоемы в верховьях реки Теча<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Источники радиоактивного загрязнения р. Теча и района расположения ПО «Маяк», Урал, Россия. Остерас, Норвегия, 2000 г., с. 22.



Параметры промышленных водоемов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры промышленных водоемов ПО «Маяк» (значения даны для нормального подпорного уровня)

Водоем	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Объем, млн. м <sup>3</sup>
В-6	3,57	16,1
В-9	0,131	0,287
В-17	0,131	0,243
В-2	18,6	84,4
В-3	0,8	0,78
В-4	1,3	4
В-10	18	73,5
В-11	44	230

Примечание. Для водоема В-9 параметры приведены на начало 1998 г.

Теченский каскад водоемов (ТКВ) состоит из трех проточных водоемов (В-3, В-4, В-10) и конечного непроточного водохранилища В-11. Сообщаясь между собой, верхние водоемы ТКВ имеют также тесную фильтрационную связь с нижними водоемами через подземные воды.

Водопользование и водоотведение подразделений ПО «Маяк» является сложной взаимосвязанной системой, включающей ряд крупных водопотребителей, значительное число водных объектов – источников водопотребления и приемников сточных вод.

Основное технологическое предназначение промышленных водоемов следующее.

Водоем В-2. Этот водоем является основным источником производственного водоснабжения промышленных подразделений ПО «Маяк». Водный режим водоема полностью зарегулирован. В южной и юго-восточной его части находятся пять водозаборов, обеспечивающих промышленное водоснабжение производств и охлаждение промышленных установок.

Сброс отработанной горячей воды в течение всего периода эксплуатации установок осуществлялся в отводящий канал, образованный ограждающей дамбой в юго-восточной части водоема. Кроме охлаждающих вод в водоем В-2 сбрасываются воды из бассейнов и шахт выдержки реакторов, транспортных галерей, душевых и прачечных, хозяйственно-фекальные воды.

При этом изменение уровня воды в водоеме обусловлено, главным образом, повышенным испарением с водной поверхности, фильтрацией через глухую часть плотины и передачей некоторой части воды в виде различных жидких отходов в другие водоемы.

Водоемы В-3, В-4, В-10, В-11 расположены последовательно в верхней части старого русла р. Теча и предназначены для хранения нетехнологических низкоактивных жидких отходов, регенераторов от аппаратов химводоподготовки технической воды и очистных сооружений.

Водоемы гидравлически связаны между собой. Вода самотеком перетекает из

вышележащих водоемов в нижележащие. Для предотвращения притока воды с площади водосбора водоемы ограждены обводными лево- и правобережными каналами. При этом левобережный канал в настоящее время имеет статус канализированного русла р. Теча, правобережный канал – канализированное русло р. Мишеляк.

Водоем В-3. С апреля 1972 г. водоем эксплуатируется как хранилище пульпы и регенераторов от очистных сооружений предприятия. Водоем имеет низконапорную земляную плотину, в тело которой встроен трубчатый водосброс для перелива в водоем В-4. Для хранения пульпы в водоеме сооружены отсеки, в которых пульпа надежно закрыта водным экраном. Мелководные участки водоема по береговой кромке засыпаны грунтом выше зеркала воды на 0,5–0,7 м.

Водоем В-4. Водоем имеет низконапорную плотину с бетонным водосбором, оборудованным спитцевым заграждением. Сброс стоков «кислотной» канализации в водоем и далее в водоемы В-10 и В-11 приводит к постепенному раскислению воды водоемов с понижением ее *pH*.

Водоем В-10. Водоем сооружен в 1957 г. и оборудован низконапорной плотиной с аварийным железобетонным водосбросом и рабочим трубчатым водосбросом. Уровень воды в водоеме поддерживается в строго определенных пределах. Максимально допустимый уровень воды лимитируется порогом аварийного водосброса. В настоящее время ПО «Маяк» не сбрасывает жидких отходов в водоем В-10. Транзитом через водоем В-10 вода поступает в водоем В-11.

Водоем В-11 эксплуатируется с 1965 г. и является последним в системе водоемов-хранилищ, расположенных в верховье р. Течи. Сбросов жидких отходов в водоем В-11 не осуществляется, загрязненные воды поступают в этот водоем самотеком из водоема В-10.

До створа плотины 11 проложены лево- и правобережные каналы. После плотины 11 создана система сбора фильтрационных вод, которые подлежат возврату в водоем. Таким образом, со строительством плотины 11 в верховьях р. Течи было закончено создание системы каскада искусственных водоемов, используемых в технологических циклах ПО «Маяк». Сооружение каскада водоемов и системы обводных каналов позволило:

- локализовать значительные количества радионуклидов за счет их аккумуляции и распада в донных отложениях;
- организовать сброс чистых вод из Иртышско-Каслинской системы озер в открытую гидрографическую сеть, минуя каскад промышленных водоемов;
- исключить непосредственный сброс промышленных отходов в р. Теча.

Водоем В-6. Водоем используется в основном как источник и приемник воды оборотного

водоснабжения.

Водоем В-9. С 1951 г. и по настоящее время в водоем В-9 сбрасываются среднеактивные жидкие отходы (САО) после предварительной обработки. В общей сложности в водоем В-9 отведено около 3,5 млн. м<sup>3</sup> жидких средне активных отходов. В период с 1951 по 1957 гг. водоем В-9 использовался в испарительно-аккумуляционном, а затем в испарительно-фильтрационном режиме. В процессе инфильтрации минерализованный техногенный раствор вытесняет из трещиноватых пород водоносного горизонта природные воды, образуя ореол загрязненных подземных вод. К настоящему времени береговая кромка водоема поднята на три метра, ведутся работы по закрытию его акватории.

Водоем В-17. В двух километрах восточнее водоема В-9 в пониженной части рельефа находится водоем В-17 (Старое болото), куда сбрасываются низкоактивные жидкие отходы, преимущественно содержащие тритий. Берега водоема засыпаны мелким гравием на 10–12 м от уреза воды. Водоем В-17 в течение всего периода эксплуатации использовался в накопительном режиме. Фильтрационный поток водоема направлен в сторону Теченского каскада водоемов.

Загрязненные радионуклидами воды в течение длительного времени сбрасывались в верхние водоемы В-3 и В-4. Рабочий объем этих водоемов в несколько раз меньше (В-3) или соизмерим (В-4) с общим объемом сбрасываемых в них ЖРО. Это обстоятельство используется специалистами ПО «Маяк» при нормировании сбросов ЖРО для обоснования возможности рассматривания ТКВ в качестве одного крупного водоема, а водоемы В-3, В-4 и В-10 – как проточные участки этого водоема.

В настоящее время руководство ПО «Маяк» рассматривает водоемы, расположенные на территории предприятия, как изолированные водные объекты промышленного значения, выведенные из хозяйственного пользования и в связи с этим не имеющие рыбохозяйственного и культурно-бытового значения.

Однако в ныне действующем Водном Кодексе отсутствует понятие изолированных водных объектов промышленного назначения. Таким образом, нельзя считать правомерным положение о том, что на эти водоемы не распространяется действие Отраслевой методики расчета предельно допустимых сбросов радиоактивных веществ в речные системы (ПДС-83).

В настоящее время на ПО «Маяк» действуют и ежегодно утверждаются нормативы сброса радиоактивных вод (контрольные уровни – КУ) для каждого подразделения, осуществляющего сброс сточных вод в водоемы ТКВ. Нормирование, как правило, включает в себя обоснование допустимого объема сточных вод и лимита суммарного поступления радиоактивных и химических веществ в промышленные водоемы.

В 1996 г. были разработаны нормативы поступления долгоживущих бета-активных

радионуклидов в промводоемы, утвержденные Управлением экологической безопасности ГК РФ по охране окружающей среды и согласованные с Федеральным управлением медико-биологических и экстремальных проблем Минздрава РФ.

Эти нормативы, являясь стандартом, используются для обоснования объемов сбросов долгоживущих бета-излучающих радионуклидов ( $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) в промышленные водоемы ПО «Маяк». В качестве такого норматива используется временный лимит поступления (ВЛП), полученный расчетным путем для каждого радионуклида.

При разработке проекта ВЛП бета-излучающих нуклидов в промводоемы используется подход, предполагающий, что поступление радионуклидов в водоемы не должно превышать их убыль за счет процесса естественного радиоактивного распада. Такой подход обеспечивает неувеличение во времени общего запаса бета-излучающих радионуклидов (с периодом полураспада до 30 лет) в каждом промводоеме.

Однако подобный подход не соответствует основному принципу установления ВСС, согласно которому одновременно с установлением временных согласованных сбросов необходимо разрабатывать мероприятия по снижению объемов сбросов до показателей ПДС.

Следует отметить, что указанный выше подход не может быть распространен для альфа-излучающих радионуклидов, поскольку основная (по радиоактивности) часть таких нуклидов обладает большими периодами полураспада (более 20 тысяч лет). В соответствии с подходом, обозначенным специалистами ПО «Маяк», при нормировании поступления радиоактивных веществ в водоемы предлагается использовать требование, при котором «Продолжение на существующем уровне сброса жидких радиоактивных отходов ПО «Маяк» не приведет к повышению концентрации этих нуклидов в промышленных водоемах-накопителях ЖРО в ближайшем обозримом будущем (т.е. до начала ликвидации этих водоемов)».

При этом предполагается, что в период действия разрабатываемых нормативов не произойдет существенных изменений в условиях эксплуатации промышленного водоема и, соответственно, изменений его гидрологических, физико-химических и биологических характеристик. Переходя к терминам удельной активности радионуклидов в воде, критерий максимально допустимого сброса радионуклидов формулируется как «Максимально допустимый сброс радионуклида (ВЛП радионуклида) – это годовой сброс радионуклида», при котором обеспечивается невозрастание среднегодовой удельной активности отдельных радионуклидов в воде промышленных водоемов».

Предполагается, что выполнение данного условия обеспечит неухудшение ядерной и радиационной безопасности указанных водоемов на период их дальнейшей эксплуатации и не увеличит в существенной мере суммарные дозозатраты персонала на проведение в будущем работ

по их ликвидации.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные по текущим фактическим максимальным сбросам радионуклидов, в том числе и трития, в водоемы ПО «Маяк» в 1996–1998 гг. приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сведения о текущих фактических сбросах радионуклидов в промышленные водоемы ПО «Маяк»

Водоем	Радионуклид	Фактический и максимальный сброс, кКи*/год		Установленные нормы сброса на 1998 г., кКи/год
		1995 г.	1996–1998гг.	
В-2	Суммарн. бета	0,05	0,05	Отсутствует
	Тритий	1,04	1,2	1,2
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,009	Отсутствует
В-3	Суммарн. бета	Нет сведений	1,0	Отсутствует
	Тритий	Нет сведений	0,7	0,84
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,04	Отсутствует
В-4	Суммарн. бета	Нет сведений	2,5	Отсутствует
	Тритий	Нет сведений	1,8**	0,84
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,016	Отсутствует
В-10	Суммарн. бета	Нет сведений	1,0**	Отсутствует
	Тритий	Нет сведений	1,24	Отсутствует
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,001**	Отсутствует
В-11	Суммарн. бета	Нет сведений	1,5	Отсутствует
	Тритий	Нет сведений	1,0**	Отсутствует
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,001**	Отсутствует
В-6	Суммарн. бета	0,0012	0,002	Отсутствует
	Тритий		Нет сведений	Отсутствует
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,002	Отсутствует
В-17	Суммарн. бета	0,11	0,2	0,24
	Тритий	–	4,0	Отсутствует
	Суммарн. альфа	Нет сведений	0,006	Отсутствует
В-9***	Суммарн. бета	722,4	700	960
	Тритий		Нет сведений	Отсутствует
	Суммарн. альфа	Нет сведений	40	Отсутствует

\*) –  $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ расп/с}$ ,

\*\*) – фактическое поступление рассчитано на основе данных о перетоках;

\*\*\*) – в случае изменения параметров водоема при засыпке акватории величина максимально допустимого сброса должна быть пересчитана.

Данные таблицы 2 показывают, что фактические объемы сброса ЖРО в течение последних лет не превышали соответствующие проектные нормативы<sup>33, 34</sup>. Однако обращает на себя внимание отсутствие нормативных показателей для большей части водоемов по многим показателям. Это не позволяет сделать однозначные выводы об эффективности и достаточности нормативных показателей сброса основных дозообразующих радионуклидов в водоемы ТКВ и другие водные объекты территории, подверженной воздействию деятельности ПО «Маяк». Установленные нормативы отражают лишь достигнутый на предприятии технический уровень при работе с ЖРО и реальную годовую производственную программу и, видимо, не могут служить достаточным основанием для утверждений об абсолютной безопасности деятельности ПО «Маяк» для прилегающих территорий. Оценка степени влияния производственной деятельности ПО «Маяк» на загрязнение подземных и поверхностных вод выполняется также путем постановки систематического контроля по режимной сети, включающей в себя более 480 гидрогеологических скважин, гидростворы и водопосты на поверхностных водотоках (р. Мишеляк, ЛБК, ПБК) и точки наблюдений на поверхностных водоемах в пределах контролируемой зоны. Существующая система наблюдений дала возможность выявить масштаб, структуру и состав загрязнения подземных вод и проследить изменение его во времени.

В рамках данной работы представляется целесообразным отметить превышение допустимых контрольных показателей ( $ДК_e$ ) загрязнения подземных вод тритием, зафиксированных в пробах из некоторых наблюдательных скважин, расположенных в южном направлении от водоема

В-9. Указанные превышения были зафиксированы в 1996 г. и составили 1,8–7,8 значений ДКб. Специалисты ПО «Маяк» объясняют этот факт изменением положения уровней подземных вод, а также локальными изменениями структуры подземного потока, произошедшими в указанном году. Эти два фактора были связаны с водностью года и обусловили изменение скорости миграции загрязняющих веществ в водоносном горизонте и процессы разбавления.

Для снижения воздействия радиоактивных сбросов на близлежащие водные объекты необходимо разработать и внедрить на ПО «Маяк» новейшие технологии, позволяющие исключить попадание ЖРО в окружающую среду. Кроме того, представляется целесообразным разработать программу дальнейшей реабилитации водоемов, содержащих радиоактивные отходы в компонентах.

---

<sup>33</sup> Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87. М., Энергоатомиздат. 1988.

<sup>34</sup> Радиохимия. Т., 28. Выпуск 4, 1986. «Наука», Ленинградское отделение.

## Другие сведения о тритии и его соединениях



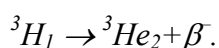
Тритий – чистый бета-излучатель со средней энергией излучения 0,018 МэВ, что на два порядка меньше энергии бета -излучения радиоуглерода. С этим связана особенность повреждений тканей, производимых тритием. Обладая наименьшей энергией бета-частиц, тритий создает значительную плотность ионизации ткани (число пар ионов, образуемых заряженной частицей на единице ее пути). Кроме того, пробег бета-частиц трития значительно меньше геометрических размеров клеток, поэтому поражение тритием локализуется возле самого изотопа, и общее поражение зависит от геометрии его распределения в тканях организма и микрогеометрии распределения в клетке. Атомы трития замещают в молекулах ткани атомы водорода. Биологическое воздействие трития усиливается тем, что при его распаде образуется инертный гелий. Поэтому водородные связи в этом месте будут рваться, что должно сказываться на нарушении процесса синтеза органических структур при жизни индивида и оказывать воздействие на наследственность, возможно отдаленную.

Из вышесказанного следует необходимость контроля за содержанием трития в окружающей среде и продуктах питания, прежде всего вблизи предприятий ЯТЦ.

Масса ядра трития = 3,01683 а.е.м.;

$$E_{св} = 8,1 - 8,4 \text{ МэВ.}$$

В процессе радиоактивного распада трития испускается частица сравнительно низкой энергии



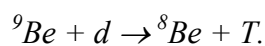
## Получение трития



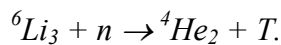
Водород в природе встречается в виде трех изотопов: протия, дейтерия и трития. Протий и дейтерий стабильны, тритий радиоактивен. Имеются сведения о существовании еще двух изотопов водорода:  ${}^4\text{H}_1$  и  ${}^5\text{H}_1$ , которые очень нестабильны. В свободном состоянии водород существует в виде двухатомной молекулы, которая имеет общую электронную оболочку. Поэтому в смеси изотопов водорода обнаруживаются молекулы  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$ ,  $\text{T}_2$ ,  $\text{HD}$ ,  $\text{DT}$ ,  $\text{HT}$ . Накопление трития в природе обусловлено как естественными, так и искусственными процессами. Тритий образуется в верхних слоях атмосферы в результате ядерных реакций, вызываемых столкновениями с

молекулами воздуха быстрых протонов, нейтронов и дейтронов, входящих в состав космического излучения.

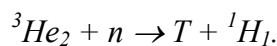
Атомы трития, образуемые под действием космического излучения, переходят в молекулу воды в результате реакций радиационного окисления и изотопного обмена, затем тритий в виде дождевой воды (*HTO*, *DTO*, *T<sub>2</sub>O*) выпадает на поверхность земли. Образование трития происходит во многих ядерных реакциях. Исторически первый синтез этого радионуклида был осуществлен по реакции  $D(d, p)T$ . Бомбардировка атомов *B*, *Cu*, *Fe* дейтронами также приводит к образованию трития. В циклотроне тритий можно получить, бомбардируя бериллиевую мишень дейтронами:



В промышленных масштабах тритий получают в ядерном реакторе, облучая чаще всего литий, обогащенный изотопом  ${}^6\text{Li}$ :



${}^3\text{He}_2$ , являющийся продуктом естественного распада трития, также вступает в ядерную реакцию:

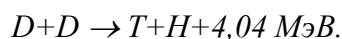


### Получение трития

Тритий образуется при ядерных и термоядерных взрывах. Взрыв водородной бомбы мощностью 1 Мт приводит к выделению 7–20 МКи трития. После взрыва тритий выпадает на земную поверхность с атмосферными осадками. При подземных ядерных взрывах также образуется тритий вследствие реакций деления и синтеза. Тритий образуется в ядерных энергетических реакторах непосредственно в ТВЭЛах. При делении *U* и *Pu* существует вероятность тройного деления, т.е. образования трех осколков, одним из которых является тритий.

В ядерных реакторах, где тяжелая вода используется в качестве теплоносителя, тритий образуется по реакции  $D(n, \gamma)T$ .

Тритий образуется также в регулирующих борных стержнях по реакции  ${}^{10}\text{B}(n, 2\alpha)T$  и в графитовом замедлителе вследствие наличия в нем лития. Кроме того, в реакторе может происходить обратный процесс, приводящий к образованию трития:





## Искусственные источники поступления трития в атмосферу и его поведение во внешней среде



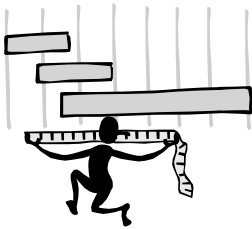
Тритий, в отличие от других радионуклидов, может накапливаться в атмосфере в течение длительного времени. Следовательно, существует потенциальная опасность облучения, связанная с возрастающим накоплением трития при развитии ядерной энергетики и сопутствующем развитии атомной промышленности, включая и заводы по переработке топлива. По прогнозам, активность трития к 2000 г. составит 11,1 ЭБк (в предположении, что прекратятся испытания ядерного оружия в атмосфере). Фактические данные приводятся в докладах. Предполагается, что тритий накапливается больше в атмосфере северного полушария. Дополнительное радиологическое воздействие на человека из-за накопления трития к 2000 г. составит 15 мЗв/год (доза облучения для всего организма). Выход трития может быть уменьшен за счет концентрации тритированной воды и хранения в баках в течение длительного времени, что вызовет уменьшение приведенной выше дозы. В результате испытаний ядерного оружия возник стратосферный запас искусственных радионуклидов (в том числе трития), выпадение которых привело к повсеместному загрязнению биосферы. Общее количество поступившего в биосферу трития составляет 1900–8000 МКи, причем 80% приходится на долю северного полушария. Тритий поступает в окружающую среду также из ядерных реакторов АЭС и в процессе переработки ядерного топлива. Реакторы и заводы по переработке ядерного топлива стали основными источниками загрязнения окружающей среды тритием. На ядерных реакторах тритий образуется непосредственно в элементах ядерного топлива, теплоносителе (воде, тяжелой воде), замедлителе (графите, тяжелой воде), регулирующих борных стержнях. Образующийся там тритий поступает в окружающую среду с газообразными или жидкими отходами. Газообразные отходы выбрасываются в атмосферу через газоотводную трубу высотой 100–150 м, чтобы обеспечить лучшее разбавление в воздухе. Интенсивность рассеяния зависит от двух основных факторов: скорости ветра и распределения температуры воздуха по вертикали. Нормализованный выброс трития в атмосферу на АЭС с реакторами типа PWR оценивается равным 0,1 Ки в год на 1 МВт (эл.), а на АЭС с реакторами типа BWR – 0,05 Ки в год на 1 МВт (эл.), более высокое значение выброса наблюдается на АЭС с тяжеловодными реакторами – до 600 Ки в год. Получение электроэнергии на термоядерных реакторах в будущем может привести к накоплению и выбросу в окружающую среду значительного количества трития. Подсчитано, что в гипотетическом термоядерном реакторе будет в  $10^4$ – $10^5$  раз больше образовываться трития, чем на обычной АЭС такой же электрической мощности. Существенное количество трития поступает в окружающую среду с заводов по

получению и переработке трития для нужд промышленности, науки и оборонной техники. В качестве величины предельно допустимого выброса трития в атмосферу исследователи называют разные значения от – 10 до 1000 Ки в сутки. По данным наблюдений 70 станций отбора проб, общее количество трития в Мировом океане оценивается равным 164 кг (1640 МКи).

При попадании радионуклидов в водную среду на них влияют потоки, в которых они перемещаются под действием молекулярной и турбулентной диффузии. В растворе радионуклиды могут адсорбироваться микроорганизмами и далее с пищей поступать в высшие организмы. Некоторые из этих организмов отмирают, перенося радионуклиды в донные отложения, откуда они могут вновь включаться в биологические цепочки.

Помимо непосредственного сброса трития с жидкими отходами, есть другой путь его поступления в водоемы – обмен между парами *НТО* в атмосфере и поверхностью воды. При контакте поверхности воды с атмосферой, содержащей пары *НТО*, тритий поступает в воду и растворяется в ней. Помимо сорбции *НТО* поверхностью воды существует еще один путь поступления трития в водоемы — вымывание *НТО* из воздуха осадками или так называемое «мокрое» осаждение. Тритий может поступать в почву из водоемов, загрязненных *НТО*, а также в результате поглощения его почвенной влагой из воздуха (сухое осаждение) и с каплями дождя (мокрое осаждение). Из воздуха, почвы и водоемов тритий поступает в растительность и животный мир.

### Другие методы измерения трития



Максимальный пробег бета-частиц трития в веществе настолько мал, что практически исключается применение каких-либо пленок, отделяющих измеряемый объект от рабочего вещества измерительного прибора. Последнее обстоятельство определяет специфику аппаратуры для регистрации излучения трития. Определение содержания трития в различных средах основано на измерении его активности ионизационными или сцинтилляционными методами, а также на использовании других физико-химических свойств этого нуклида с помощью масс-спектрометрических, калориметрических, фотографических и других методов. Измерением активности в некоторых случаях можно надежно обнаруживать присутствие трития в пробе до  $10^{-16}$  г, что соответствует приблизительно  $10^7$  атомам трития, или активности 37 мБк. Радиометрические методы можно применять для измерения содержания трития в веществах, находящихся в любом агрегатном состоянии.

## Ионизационные методы

Бета-частица трития на своем пути в воздухе образует в среднем около 170 пар ионов.

При полном собирании этих ионов в ионизационной камере может быть получен импульс напряжения порядка 1 мкВ. В связи с трудностью регистрации таких отдельных импульсов ионизационные камеры преимущественно работают в токовом режиме. Для счета отдельных импульсов применяются пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера–Мюллера. Амплитуда импульса на выходе при коэффициенте газового усиления  $10^3$ – $10^7$  достигает  $10^{-3}$ –10 В.

Ионизационные камеры используют преимущественно для измерения содержания трития в газовых средах, которые вводятся во внутренний объем камеры. В некоторых случаях открытые ионизационные камеры применяют для контроля содержания трития в твердых образцах (на поверхностях).

При работе ионизационных камер желательно обеспечивать полное собирание ионов, так как в области рекомбинации, на начальном участке вольт-амперной характеристики камеры, возможны большие погрешности измерения вследствие нестабильности питающего напряжения.

### Анализ трития в газовых и жидких средах. Определение трития в водородсодержащих компонентах газовых смесей

Анализ основан на селективном переводе трития из каждого химического соединения в форму воды путем их окисления на оксиде меди, взаимодействия с раствором соли тяжелого металла или кислоты. Окисленный тритий (*HTO*) выделяют из газовой фазы либо конденсацией при пониженной температуре, либо путем обмена с чистой водой. В полученных пробах измеряют содержание трития методом жидкостной сцинтилляционной радиометрии. Экспериментальная проверка показала, что чувствительность метода составляет  $10^{-5}$  Бк/см<sup>3</sup> при наличии потока анализируемого газа и  $10^{-2}$  Бк/см<sup>3</sup> при анализе газовых проб ограниченного объема.

### Определение трития в жидких органических продуктах

Анализ основан на окислении этих веществ в реакторе с оксидом меди при 400–500°C в атмосфере инертного газа, конденсации образующихся тритированных водяных паров и определении концентрации трития в выделенных и очищенных пробах воды методом жидкостной сцинтилляционной радиометрии. Чувствительность анализа составляет около 1 Бк/см<sup>3</sup>.

Существует еще много методов измерения трития. В некоторых из них для количественного определения используют радиоактивные свойства трития – это

калориметрические, фотографические, экзоэмиссионные методы.

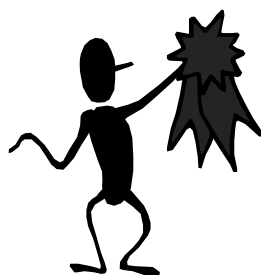
Масс-спектрометрический, спектральный метод, метод ядерного магнитного резонанса и др. основаны на физико-химических свойствах трития. Несмотря на то, что эти методы пока не находят широкого применения, в будущем они могут получить дальнейшее развитие.

Калориметрические методы основаны на измерении тепловой энергии, выделяющейся при поглощении бета-излучения трития в веществе.

Фотографические методы основаны на почернении фотоэмульсии при поглощении в ней бета-частиц трития. На почернение пленок и эмульсии влияют многие факторы (температура, условия проявления, время выдержки пленки после контакта с образцом и другие). Поэтому количественные измерения трития этими методами практикуются редко.

Масс-спектрометрические методы применяют для изотопного и химического анализа газовых смесей, содержащих тритий, а также других примесей газов в широком диапазоне концентраций и соотношений.

### **Очистка выбросов от трития**



Эксплуатация установок по получению и переработке трития, ядерных и термоядерных реакторов и устройств, заводов по регенерации отработавших ТВЭЛов, нейтронных генераторов с тритиевыми мишенями и другими неизбежно связано с поступлением в вентиляционную систему и выбросом в окружающую среду определенного количества трития и его соединений.

Поэтому одной из проблем атомной промышленности, ядерной, а в перспективе и термоядерной энергетики является очистка газообразных выбросов от трития. В общем случае в очищаемых газах присутствуют газообразный тритий, пары его окиси и тритийсодержащие аэрозоли. Поэтому проблема очистки выбросов от трития сводится к очистке газов от газообразного трития паров тритиевой воды и аэрозольных частиц. В лабораторной и промышленной практике широко используют физические и химические методы очистки газов от трития и паров тритиевой воды. Для улавливания аэрозольных частиц применяют различные фильтры. Воздух, поступающий в вентиляционную систему, очищают от радиоактивных частиц тканевыми и волокнистыми фильтрами. Реже применяют электрические и зернистые фильтры. Те же методы и фильтры могут быть использованы для извлечения трития и его соединений из газообразных выбросов. Однако применительно к тритию каждая специальная проблема очистки чаще всего может быть решена только одним методом, наиболее эффективным для конкретных условий. В общем случае, если в очищаемых газах присутствует тритий, его окись и аэрозоли, установка для очистки должна

состоять из нескольких основных узлов: аэрозольного фильтра, узла для очистки от трития и узла для очистки от *НТО*. К установкам очистки газообразных выбросов от трития предъявляются такие же требования, что и к газоочистным устройствам для других радиоактивных веществ: герметичность, надежность, простота и безопасность обслуживания, экономичность, небольшое гидравлическое сопротивление, длительный срок эксплуатации без замены узлов и коммуникаций.

### Очистка газов от окиси трития

Пары тритиевой воды могут быть абсорбированы гигроскопическими жидкостями, химикатами, сконденсированы охлаждением или сжатием, адсорбированы твердыми осушителями. Для осушки газов в промышленности могут быть использованы жидкие абсорбенты:  $H_2SO_4$ , растворы  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $ZnCl_2$ ,  $LiCl_2$ ,  $CuCl_2$ ,  $AlCl_3$ ,  $LiBr$ ,  $Ca(NO_3)_2$ , глицерин, едкие щелочи, диэтиленгликоль (*ДЭГ*), триэтиленгликоль (*ТЭГ*). Пары тритиевой воды могут быть абсорбированы протиевой водой пропусканием (барботажем) газа, содержащего *НТО*, через слой воды.

### Физические методы очистки газов от трития

Физические методы извлечения трития основаны на различиях в физических свойствах газов.

Один из широко применяемых физических методов очистки газов от трития – диффузия через металлические или металлокерамические мембраны, избирательно пропускающие тритий. Чаще всего для избирательной диффузии трития используют палладий и его сплавы. Как правило, диффузионные диафрагмы располагают между двумя камерами: впускной для очищаемого газа и выпускной для  $T_2$ . При этом диафрагмы могут иметь самые различные геометрические формы, а камеры – различную конструкцию.

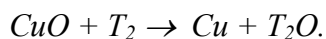
Другой физический метод выделения трития из газовых смесей – низкотемпературная дистилляция. Для выделения трития из смеси с высококипящими неорганическими газами исходную газовую смесь при повышенном давлении пропускают через два или несколько теплообменников, где происходит охлаждение смеси. В последних (по ходу смеси) теплообменниках происходит конденсация газовых компонентов, кроме трития. Частично сконцентрированный в последнем теплообменнике тритий проходит снизу вверх через последний теплообменник, контактируя в противотоке с образовавшимся здесь конденсатом. Конденсат отделяют от газовой смеси. Выходящий из верхней части последнего теплообменника  $T_2$  повышенной концентрации направляют в нижнюю часть теплообменника. После выхода из

нижней части последнего теплообменника тритий повышенной концентрации охлаждают расширением.

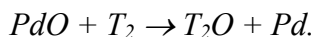
Тритий может быть выделен из газов методом сорбции на металлах или других сорбентах. При этом он поглощается значительно лучше инертных газов, но хуже других газов. Титан, цирконий и другие металлы могут служить абсорбентами трития. Известен также способ, основанный на абсорбции трития иттрием, покрытым никелем. Эффективность улавливания трития составляет 99,9%<sup>35,36</sup>.

### Химические методы очистки

Классический метод удаления трития состоит в применении окиси меди при температуре не ниже 270°C:



Для очистки газов от трития применяют также окислы палладия, платины и других металлов. При этом окись палладия эффективна при комнатной температуре:



Если в очищаемом газе присутствует кислород, очистку от трития целесообразно проводить в присутствии катализатора. В качестве катализаторов реакции взаимодействия  $\text{T}_2$  с  $\text{O}_2$  могут служить как металлы, так и окислы металлов. Наибольшей каталитической активностью в отношении окисления трития обладают металлы восьмой группы периодической системы элементов: *Ni*, *Pd*, *Pt*. На этих металлах взаимодействие  $\text{T}_2$  с  $\text{O}_2$  протекает с большой скоростью уже при 20 °C и даже при отрицательной температуре.

### Удаление трития из сточных вод методами изотопного разделения

Для удаления трития из сточных вод и его концентрирования в небольшом объеме наиболее пригодными считают методы, основанные на изотопном разделении. Один из таких методов – ректификация воды, в основе которой лежит неодинаковая летучесть  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HTO}$  вследствие их различных температур кипения. В результате ректификации паровая фаза обогащается более летучей  $\text{H}_2\text{O}$ , а жидкая фаза – менее летучей  $\text{HTO}$ , что обуславливает концентрирование трития в кубовом остатке ректификационной колонны.

Другой метод разделения  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HTO}$  – электролиз воды. Этот метод основан на изотопном обмене, в результате которого электролит обогащается тритием. В электролитической ячейке

---

<sup>35</sup> Радиохимия. Т., 28. Выпуск 4, 1986. «Наука», Ленинградское отделение.

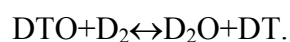
---

протекают равновесные реакции:



Вследствие различных скоростей реакции обоих изотопов водорода в газовой фазе устанавливается более высокая концентрация  $H_2$ , что приводит к обогащению тритием жидкой фазы.

Третьим методом является каталитический обмен между газообразным тритием или дейтерием и парами  $HTO$ . Катализаторами служат платина и палладий. При каталитическом обмене идет следующая реакция:



---

<sup>36</sup> Радиохимия. Т., 37. Выпуск 3, 1986. «Наука», Ленинградское отделение.

## Заклучение

Как видно, тритий и его образующие представляют серьезную опасность для населения, проживающего на территории Челябинской области и особенно вблизи предприятий ядерного топливного цикла ПО «Маяк». Тритий, попадая в окружающую среду, проникает в организм человека через воздух, продукты питания, питьевую воду.

Учитывая достаточно большую подвижность трития в окружающей среде, а также его высокую биологическую активность, можно отметить потенциальную опасность этого радионуклида для окружающих ПО «Маяк» территорий при его воздушно-водном (атмосферном, наземном и подземном) пути распространения из промышленных водоемов. В связи с тем, что по большинству водоемов ПО «Маяк» отсутствуют нормативы, нет возможности сделать вывод о степени воздействия деятельности предприятия и степени его опасности для прилегающих территорий. Отмечается превышение норм ДКБ загрязнения подземных вод тритием, в т.ч. скважин, расположенных в южном направлении от водоема В-9. Необходимо разработать и внедрить на ПО «Маяк» технологии, позволяющие исключить попадание жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в окружающую среду.

Данные многолетних наблюдений показали, что обнаружен высокий уровень концентрации трития в организме детей, проживающих в разных населенных пунктах, удаленных от предприятия на расстоянии более 150 км. Спада концентрации трития в организме детей по мере удаления от источника выбросов не наблюдается. Это еще раз подчеркивает необходимость контроля, ведения постоянного мониторинга на всей территории Челябинской области и за ее пределами.

Для включения общественности и населения в процесс подготовки и принятия решений, затрагивающих вопросы экологической безопасности, необходимо обеспечить доступ к информации по загрязнению тритием окружающей среды территории области, а также продуктов питания – молока, мяса, питьевой воды. По заключению специалистов, тритий следует рассматривать как ведущий радионуклид по вкладу в эффективные дозы облучения населения за период деятельности ПО «Маяк».

Кроме того, следует отметить, что потенциальная опасность облучения населения за счет трития будет возрастать при продолжающихся работах на предприятиях ЯТЦ и вводе в эксплуатацию новых реакторов АЭС, особенно на быстрых нейтронах. Если в настоящее время эффективная эквивалентная доза, обусловленная тритием, не превышает в среднем на одного человека 0,05% от естественного фона, то с увеличением числа работающих реакторов во всех странах она может через 60–70 лет достигнуть одного процента<sup>37</sup>. Это без учета потенциальной возможности возникновения радиационных аварий.

---

<sup>37</sup> Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М., Энергоатомиздат. 1990. 160 с.



## Сведения об авторах

**Батурич Вячеслав Андреевич.** Инженер–физик. Кандидат технических наук. Работает в должности заместителя начальника внешней среды Уральского научно-практического центра. Занимается исследованиями миграций радионуклидов в объектах внешней среды. Автор и соавтор более 30 научных статей и монографии «Медико-биологические и экологические последствия загрязнения реки Течи».

**Дёмин Сергей Николаевич.** Доктор медицинских наук. Заведовал лабораторией в ФИБ–1 в г. Озёрске. Занимался изучением распределения радионуклидов в промзоне ПО «Маяк» и в организме людей. Является автором более 50 статей по указанной тематике.

**Иваницкая Марина Викторовна.** Заместитель начальника Челябинского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Соавтор ряда статей по радиационному загрязнению территорий Челябинской области. Соискатель на звание кандидата технических наук.

**Малафеева Алла Ивановна.** Окончила Одесский гидрометеорологический институт в 1964 г. Работала в Гидрометслужбе инженером-гидрологом. Затем 25 лет в должности начальника отдела в водохозяйственном управлении в системе Минводхоза. Научные и творческие интересы – экология, водное хозяйство, радиационная безопасность, права граждан на здоровую окружающую среду.

**Миронова Наталья Ивановна.** Председатель «Движения за ядерную безопасность». Организатор и председатель Комитета по радиационной безопасности населения при администрации Челябинской области (1992 год), депутат Совета народных депутатов (1991-1993), член Высшего экологического Совета Государственной Думы РФ. Организатор и соавтор публикаций: «Южно-Уральская атомная: быть или не быть? Резонанс. Экспертная оценка экологической ситуации» (1991), «Повышение энергоэффективности как альтернатива новой атомной станции в Челябинской области» (1996), «Современные подходы к оценке техногенного воздействия на здоровье населения Урала» (1998), «Плутониевая экономика: выход или тупик? Плутоний в окружающей среде» (1998), «Переговоры как основа взаимодействия» (1998), «Радиация и окружающая среда» (1998), «Радиация и здоровье. Влияние малых доз радиации» (1998), «Радиация – малые дозы. Как защитить здоровье» (2000).

**Усачёв Владимир Леонидович.** Председатель Государственного комитета по охране окружающей среды ЗАТО г. Озерска. Кандидат биологических наук. Тематика работ – охрана окружающей среды, рациональное природопользование.

## Движение за ядерную безопасность

Основано в 1989 году, зарегистрировано как юридическое лицо в 1993 году. Председатель Движения – Миронова Наталия Ивановна.

Движение – общественное просветительское экологическое объединение – является информационным и ресурсным центром более чем 30 общественных организаций Урала и Сибири. Движение развивает сетевой организационный принцип.

Миссия – содействие формированию демократической культуры и активной гражданской позиции, развитие гражданского участия в процессе формирования ядерной политики.

Методы – организационная и методическая поддержка молодых общественных организаций и гражданских групп как в организационном строительстве, так и в проведении целевых программ; проведение собственных просветительских и образовательных программ, ориентированных на просвещение населения по проблемам окружающей среды, состояния здоровья и механизмов принятия решений, влияющих на состояние окружающей среды; построение коалиций для защиты экологических прав граждан, вовлечение граждан в процесс формирования ядерной политики.

Форма деятельности – общественная активность.

Ресурсы программ Движения складываются из благотворительных грантов, дарений и взносов.

тел/факс (351-2) 37-51-63

E-mail: [bureau@chat.ru](mailto:bureau@chat.ru), [mnatalie@chat.ru](mailto:mnatalie@chat.ru), <http://movementns.narod.ru>

## Центр поддержки гражданских инициатив

Челябинская городская общественная организация «Центр поддержки гражданских инициатив» зарегистрирована Управлением юстиции администрации Челябинской области в 1996 году.

**Миссия** – проведение просветительской деятельности для формирования в обществе отношений, основанных на сохранении общечеловеческих ценностей.

**Методы** – проведение обучающих семинаров и тренингов по защите гражданских, экономических, социальных прав и интересов граждан; развитие активности и самодеятельности граждан, привлечение их к участию в выработке решений органов государственной власти и органов местного самоуправления.

В 1997-1999 годах Центр провёл 5 обучающих семинаров по финансовому управлению для общественных организаций Челябинской, Оренбургской областей и Башкортостана и общегородскую презентацию общественных экологических организаций.

В 2000 году Центр провёл при поддержке «Движения за ядерную безопасность» общественные слушания «Тритий – это опасно. Населению – просто о сложном» с участием представителей санитарной службы и экологического комитета г. Озёрска.

В 2001 году совместно с «Движением за ядерную безопасность» проведен межрегиональный обучающий семинар «Основные проблемы и развитие общественного контроля в сфере разоружения и нераспространения ядерного оружия».

Издается книга «Тритий – это опасно» на основании проведённого в 2000 году семинара. Книга будет распространяться в библиотеки Челябинской области, а также рассылаться в общественные объединения городов Урала и Сибири для распространения в этих регионах.

Председатель Правления Центра – Миронова Наталия Ивановна

Тел./факс (351-2) 37-51-63

E-mail: [bureau@chat.ru](mailto:bureau@chat.ru)