

ТРИТИЙ В ВОДЕ БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПЕРИОД РАБОТЫ ТРЕХ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

© 2010 г. М.Я. Чеботина

*Институт экологии и животных Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург*

Ключевые слова: тритий, концентрация радионуклида, радиоэкологическое состояние водных систем, Белоярская АЭС, Белоярское водохранилище.

В работе приводятся результаты многолетнего исследования концентраций трития в водоеме-охладителе Белоярской АЭС им. И.В. Курчатова в период работы трех энергоблоков. Мониторинг проводился в период с 1980 по 2003 гг. в постоянных точках наблюдений, расположенных в нижней части водоема (район АЭС) и верховье. Установлены пределы колебаний концентраций радионуклида в различных акваториях Белоярского водохранилища и выявлены пути поступления трития от АЭС в водоем. Показано, что практически во всех случаях концентрации трития в воде Белоярского водохранилища, включая его верховье, превышают уровни техногенного фона, установленного для Уральского региона.

Введение

Исследование радиоэкологического состояния водных систем в районах расположения АЭС весьма важно в связи с использованием некоторых водоемов для охлаждения подогретой воды. Такие водоемы в той или иной степени обычно подвергаются радиационному, химическому и тепловому воздействию стоков этих предприятий, что может существенным образом повлиять на их экологическое состояние.

Одним из радиоактивных загрязняющих веществ водоемов-охладителей АЭС является тритий, концентрации которого в природных водах на несколько порядков величин выше по сравнению с таковыми для ^{90}Sr и ^{137}Cs . Основным депо нахождения трития в природе служит вода, с которой он легко перемещается на большие

расстояния. В настоящее время не существует эффективных мер улавливания трития. Постоянный сброс повышенных количеств этого радионуклида предприятиями атомной промышленности в открытые водоемы приводит к широкомасштабному их загрязнению тритием. В результате испарения воды загрязнению может подвергаться воздух природной среды, жилых и рабочих помещений [1–4].

В статье приводятся результаты многолетних наблюдений за содержанием трития в воде Белоярского водохранилища в период с 1980 по 2003 гг., охватывающий время работы трех энергоблоков АЭС.

Белоярская АЭС расположена на Среднем Урале, в 60 км от г. Екатеринбург. Она была пущена в эксплуатацию в 1964 г. Первая очередь АЭС с уранграфитовыми реакторами канального типа АМБ-100 и АМБ-200 состояла из двух энергоблоков, первый блок выведен из эксплуатации в 1981 г., второй проработал с 1967 по 1989 гг. В 1980 г. был пущен третий энергоблок на быстрых нейтронах корпусного типа с жидкометаллическим теплоносителем (БН-600), который работает и в настоящее время.

Белоярское водохранилище – водоем-охладитель Белоярской АЭС – образовано в 1959–1963 гг. путем зарегулирования русла р. Пышма в 75 км от истока. Река относится к Обь-Иртышскому бассейну и является правым притоком р. Туры, впадающей в р. Тобол – приток Иртыша. Протяженность водоема около 20 км, ширина на уровне Белоярской АЭС около 3 км. Глубина по фарватеру р. Пышма достигает 15–20 м, средняя глубина – 8–9 м. Площадь зеркала водоема составляет примерно 47 км² [5].

Методика исследований

Воду для определения содержания в ней трития отбиралась по 0,5–1,0 л в двух-трех повторностях, фильтровалась через бумажный фильтр, дистиллировалась и хранилась в холодильнике в плотно закрытых сосудах.

При количественном определении трития пробы воды предварительно обогащались с помощью специально сконструированной электролитической установки методом одноступенчатого электролиза с одним или двумя доливами [6]. Метод основан на значительной разнице в скорости выделения легкого (протия) и тяжелых (дейтерия и трития) изотопов водорода при разрядке ионов на катоде в ходе электролитического разложения воды. Выделяющийся при этом молекулярный водород обогащается протием, а электролит – соответственно, тритием и дейтерием

(последнего в пробах мало, поэтому при количественном определении трития им можно пренебречь).

Пробы просчитывались на американской установке «Дельта-300». Концентрация трития определялась относительным методом путем сравнения со стандартным раствором. Для этого в процесс электролиза включался контрольный электролизер с известным содержанием трития в воде. Ошибка бэта-счета на счетной установке не превышает 5 %, чувствительность метода составляет 3 Бк/л.

Для оценки надежности метода неоднократно производилась сверка методик количественного определения трития. В частности, в пробах воды был определен тритий разными организациями: Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) Министерства природных ресурсов (пос. Зеленый, Московская обл.), Институтом биофизики Сибирского отделения Российской академии наук (г. Красноярск), Белоярской АЭС им. Курчатова и др. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно хорошей сходимости методов.

Результаты исследований и их обсуждение

Контрольный регион

Для выявления вклада Белоярской АЭС в загрязнение водоема-охладителя тритием необходимо было в первую очередь знать уровень техногенного фона, который установился в водных средах после прекращения испытаний ядерного оружия в атмосфере. Превышение этого уровня позволит выявить вклад атомного предприятия в общую картину загрязнения водной среды. Согласно данным Росгидромета концентрация трития в реках России в 1997 г. составляла 2–7 Бк/л при среднем показателе 4 Бк/л. В Киевском водохранилище после аварии на Чернобыльской АЭС уровень техногенного фона по тритию составлял 5 Бк/л. Поэтому величину 5 Бк/л можно условно принять за уровень техногенного фона в поверхностных водах нашей страны. Это вполне согласуется с данными концентраций радионуклида в атмосферном воздухе (осадках) на территории России, которые отражают поступление трития в атмосферу от естественных и техногенных источников на поверхности Земли [7].

Чтобы установить уровень техногенного фона по тритию в Уральском регионе, в 2002 г. были обследованы различные водные источники, расположенные на севере Свердловской области в районе городов Кытлым и Краснотурьинск. В этом районе

отсутствуют предприятия ядерно-топливного цикла, кроме того, он достаточно удален от крупных промышленных объектов.

Данные, представленные на рис. 1, показывают, что концентрация трития в воде водных объектов на северной территории области колеблется вокруг средней величины 5 Бк/л. Этот показатель соответствует уровню техногенного фона в поверхностных водах других регионов страны и может служить в качестве реперной величины при оценке воздействия Белоярской АЭС на водную среду водохранилища.

Водоем-охладитель

Исследование динамики концентраций трития в воде Белоярского водохранилища начали проводить в 1980 г. Постоянные точки наблюдений располагались в верховье водоема, в районах плотины (на выходе из Белоярского водохранилища в р. Пышма), Биофизической станции (Голубой залив) и Теплого залива, а также в каналах, по которым стоки от БАЭС поступают в водоем (промливневый, обводной и теплый). Схема расположения этих точек на акватории водоема-охладителя приведена на рис. 2.

Верховье водоема. Расположено на значительном расстоянии от атомной станции. Поскольку слаборадиоактивные стоки, поступающие в водохранилище от АЭС, перемещаются преимущественно вниз по течению в сторону плотины, мы полагали, что они не могут непосредственно попадать в верхнюю часть водоема, поэтому первоначально приняли ее в качестве контрольной. Однако, как видно из приведенных на рис. 3 данных, с 1980 г. концентрация трития в воде указанной зоны варьировала в пределах от нескольких единиц до 60–70 Бк/л. Видно, что содержание трития в большей части проб воды из верховий Белоярского водохранилища значительно превышает показатель техногенного фона (5 Бк/л). На фоне общей нестабильности концентраций трития во времени в отдельные периоды фиксировалось заметное повышение содержания радионуклида в воде по сравнению со средними показателями. В частности, наиболее заметное превышение было в феврале 1996 г. (около 70 Бк/л).

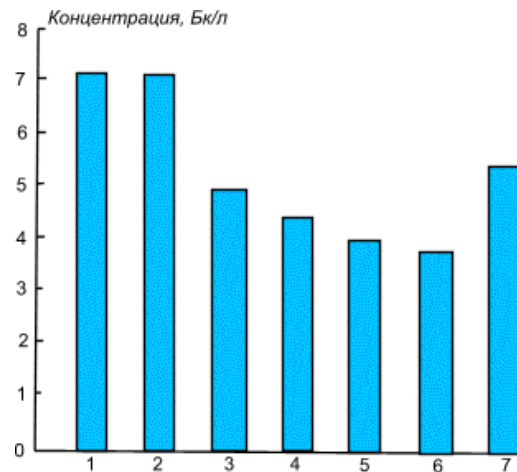


Рис. 1. Уровни концентраций нитрата в водных системах северного района Свердловской области (1 – р. Лобва; 2 – р. Йов; 3 – р. Серебрянка; 4 – водоем, г. Краснотурьинск; 5 – дождевая вода, г. Кытлым; 6 – снеговая вода, Косьвинское плечо; 7 – колодезная вода, г. Кытлым).

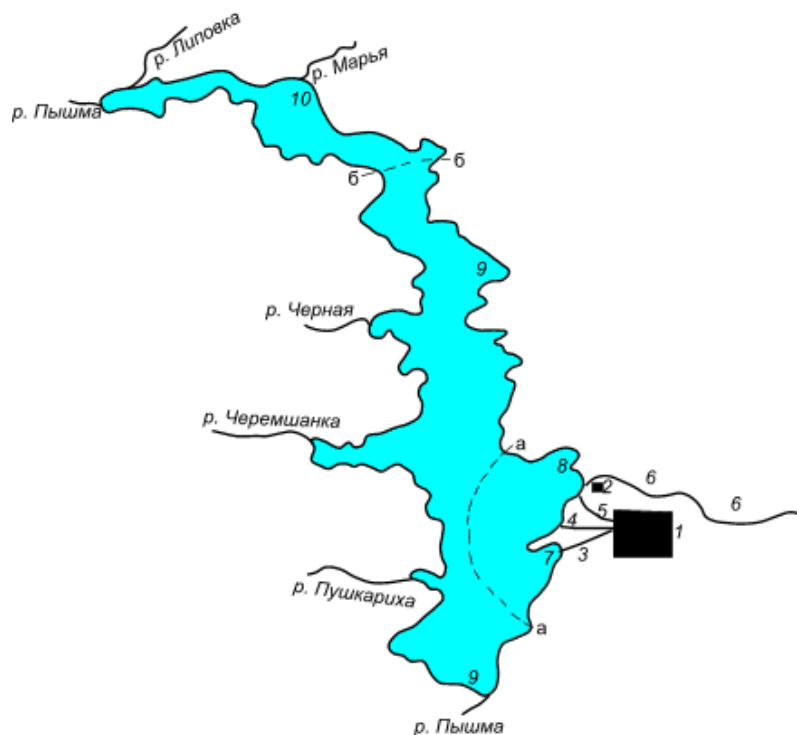


Рис. 2. Схема Белоярского водохранилища (1 – Белоярская АЭС; 2 – Биофизическая станция. Каналы: 3 – водосбросной, 4 – водозаборный, 5 – промливневый, 6 – обводной. Заливы: 7 – Теплый, 8 – Голубой, 9 – район плотины; 10 – верховье водохранилища. Границы зон: а – санитарно-защитной, 3 км, б – наблюдаемой, 10 км).

Анализ результатов всех наблюдений с 1980 по 2003 гг. позволил выявить общую тенденцию к снижению содержания трития в воде исследуемой зоны от 40–60 Бк/л в 1980–1982 гг. до 6–7 Бк/л в 1999–2003 гг. В период до 1989 г. средняя концентрация изотопа оказалась примерно в два раза выше, чем в последующий период (соответственно, 34 и 16 Бк/л). Эти различия статистически достоверны при высоком уровне значимости ($p < 0,01$). Разница в уровнях концентраций трития обусловлена тем, что в более ранний период (1980–1981 гг.) работали первый и второй энергоблоки, а в последующий период (до 1989 г.) – второй и третий. В конце 1989 г. второй энергоблок был снят с эксплуатации, следствием чего явилось заметное снижение концентрации трития в воде исследуемого региона. В 2003 г. концентрация трития в верховье водохранилища практически приблизилась к уровню техногенного фона.

Район плотины. На рис. 4 показана динамика концентраций трития в районе плотины. В целом, если исключить пиковые сбросы радионуклида в 1996 и 1998 гг., можно проследить тенденцию снижения концентраций радионуклида во времени. Повышенная концентрация трития в воде отмечалась в период совместной работы первого и второго энергоблоков АЭС (60–75 Бк/л) и в последующие годы после снятия с эксплуатации первого энергоблока.

После остановки второго энергоблока снижение содержания трития стало более заметным, однако на этом фоне регистрировались пиковые сбросы (февраль 1996 г. – 93 Бк/л, февраль 1998 г. – 60 Бк/л), связанные, возможно, с технологическими особенностями работы станции. Средний показатель, характеризующий содержание трития в воде исследуемого района в период с 1980 по 1989 гг. при совместной работе блоков (58 Бк/л), был достоверно выше, чем в последующее время, когда работал только третий энергоблок (22 Бк/л).

Сравнение данных, характеризующих концентрации трития в верховье и районе плотины, позволяет выявить вклад атомной станции в загрязнение водоема. В период с 1980 по 1989 гг. средняя концентрация трития в воде в районе плотины была достоверно выше (при уровне значимости $< 0,01$), чем в верховье (соответственно, 58 и 34 Бк/л). После вывода из эксплуатации второго энергоблока на фоне общего снижения содержания изотопа в воде обоих обследованных зон достоверные различия между ними сохранились.

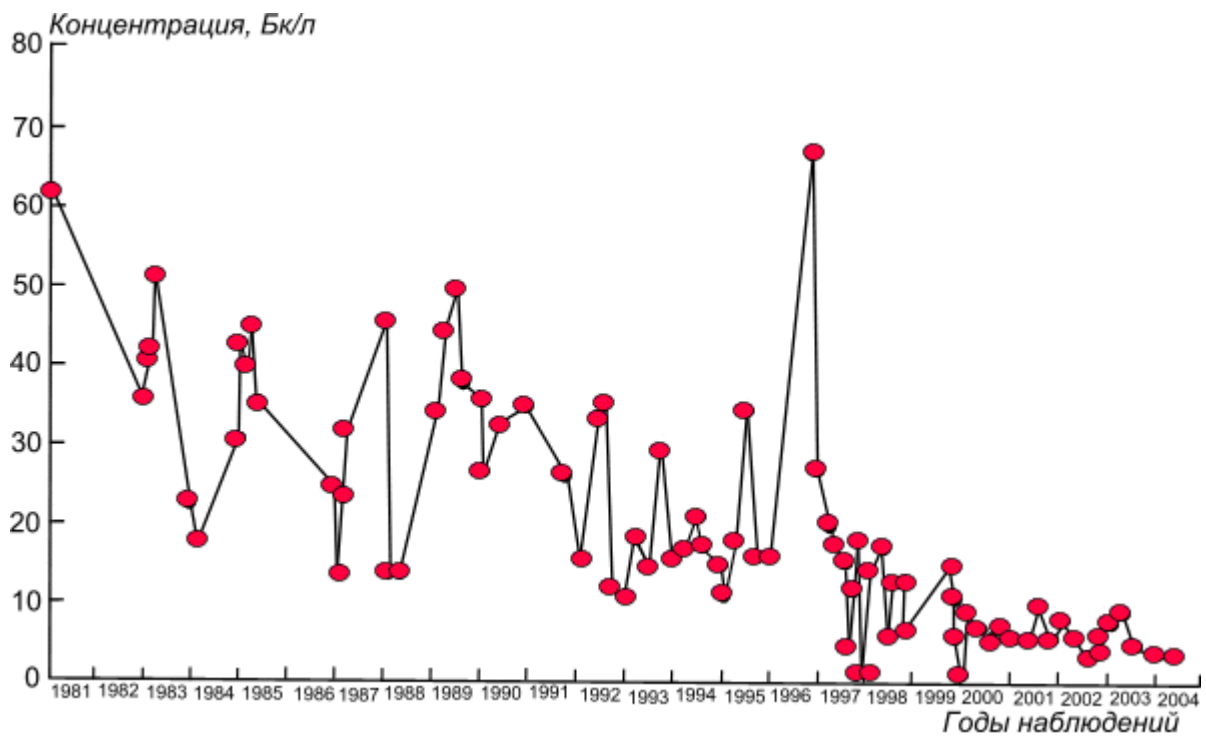


Рис. 3. Динамика концентраций трития в верховье водоема.

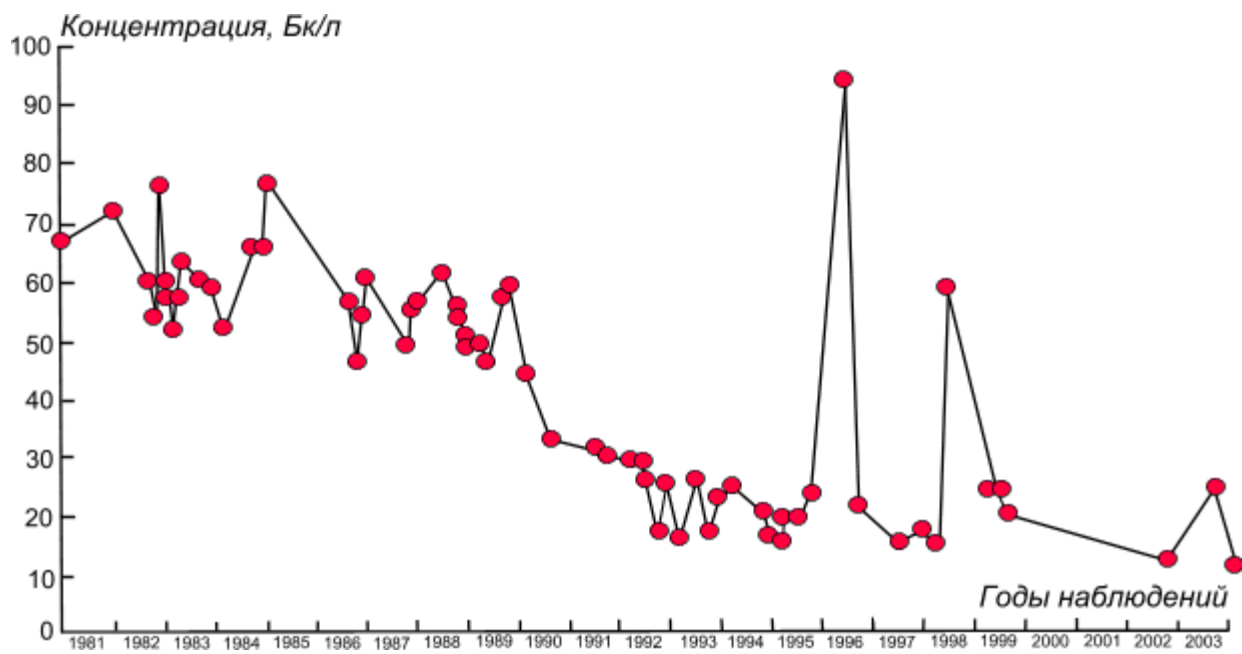


Рис. 4. Динамика концентраций трития в воде в районе плотины.

Район Биофизической станции. Интересны данные, характеризующие динамику содержания трития в районе Голубого залива. В этом месте в водоем поступают воды из обводного канала, дренирующего территорию вокруг АЭС. Хотя сам канал маловоден, он несет повышенные количества трития. Обращают на себя внимание резкие перепады концентраций радионуклида в воде исследуемого залива (рис. 5). Так в январе 1988 г., октябре 1989 г., декабре и феврале 1998 г., 1999 г. зарегистрированы пиковые сбросы, приведшие к повышению концентраций радионуклида в воде залива до 140–1000 Бк/л. Если не принимать во внимание эти повышенные сбросы, которые можно рассматривать как следствие протечек труб и другого оборудования, то, в целом, можно отметить более высокие концентрации радионуклида в воде в период работы первого и второго энергоблоков АЭС в 1980–1981 гг., по сравнению с последующим периодом. В 1981–1982 гг. она составляла в среднем 90–95 Бк/л, а в последующий период (1983–1989 гг.) – 66 Бк/л. После вывода из эксплуатации второго энергоблока содержание трития в воде достоверно снизилось и составило примерно 17 Бк/л.

Теплый залив. Концентрации трития в воде Теплого залива в разное время исследований варьировали от 13 до 105 Бк/л (рис. 6). Во время совместной работы энергоблоков (1980–1989 гг.) содержание радионуклида в воде (в среднем 65 Бк/л) было повышенным по сравнению с последующим периодом, когда работал только третий энергоблок. Если не принимать в расчет пиковые сбросы в ноябре 1991 г. и феврале 1996 г., то следует отметить, что после вывода из эксплуатации второго энергоблока концентрация трития в зоне подогрева снизилась примерно в 3 раза (в среднем 22 Бк/л).

Распределение трития по акватории Белоярского водохранилища. Одновременный отбор проб по центральной оси водоема в пределах 10-километровой наблюдаемой зоны в период совместной работы второго и третьего энергоблоков показал, что, несмотря на неравномерное поступление трития от АЭС в прилегающие к атомной станции заливы, в самом водохранилище радионуклид достаточно быстро перемешивается с основной массой воды, поэтому в конечном счете в наблюдаемой зоне АЭС он распределяется более или менее равномерно, о чем говорят данные приведенной ниже таблицы. Примерно двукратное снижение концентрации радионуклида в воде верховий водоема связано с затруднением водообмена между удаленной частью водоема и остальной его акваторией.

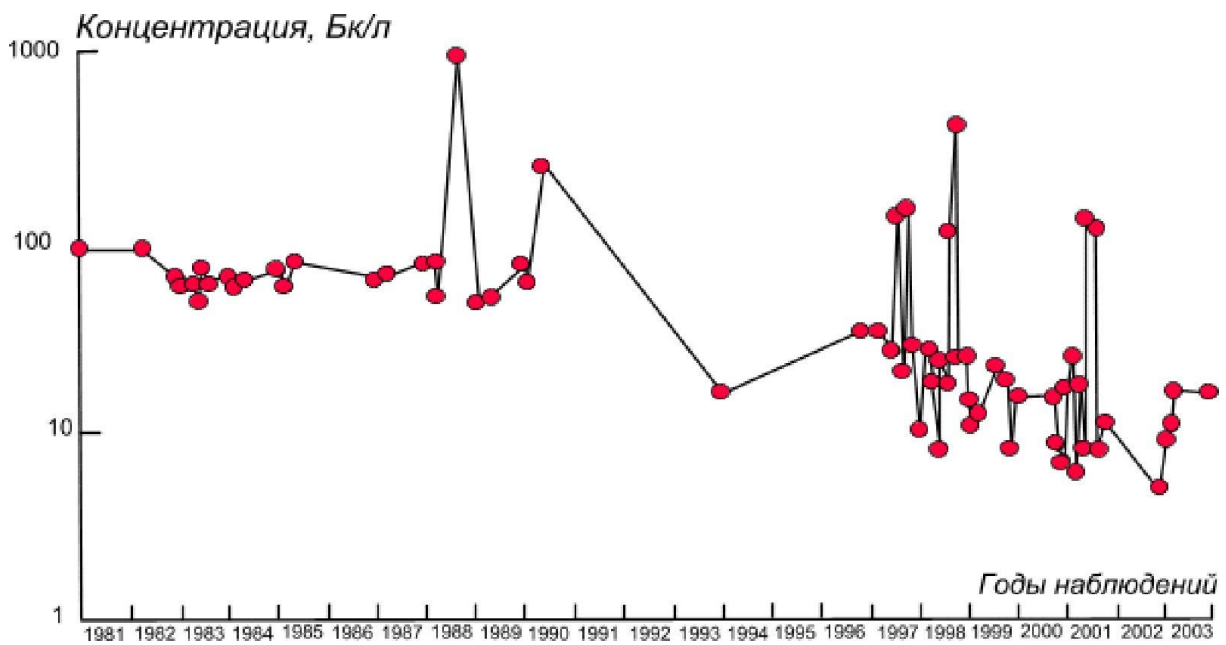


Рис. 5. Динамика концентраций триэтилтретилтретил в воде Голубого залива.

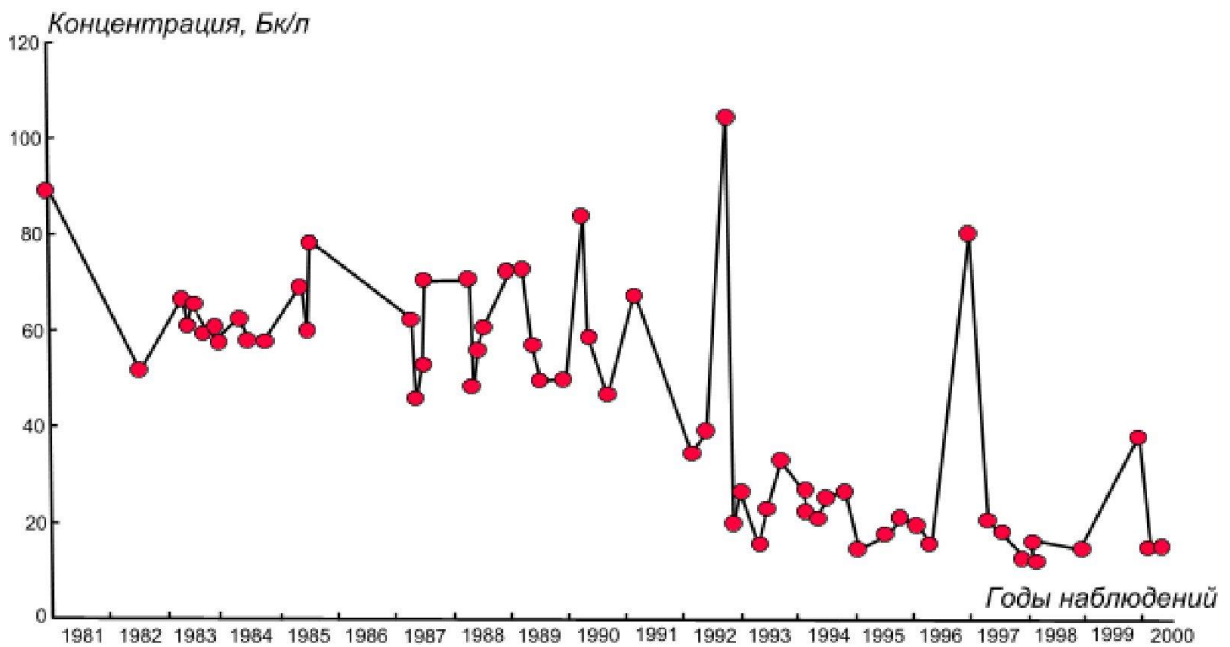


Рис. 6. Динамика концентраций триэтилтретилтретил в воде Теплого залива.

Таблица. Концентрации трития в различных точках наблюдений по центру водоема

<i>Район наблюдений</i>	<i>Концентрация, Бк/л</i>
Голубой залив	60 ± 2
Река Черная	64 ± 5
Плотина	60 ± 2
Граница 10-км наблюдаемой зоны	60 ± 2
Верховье	33 ± 3

Пути водной миграции трития от АЭС в водоем

Для того чтобы установить пути, по которым техногенный тритий поступает в водоем-охладитель, были детально обследованы каналы, соединяющие АЭС с водохранилищем.

Промливневый канал. На рис. 7 представлена динамика изменения концентраций трития в воде промливневого канала, куда поступают стоки воды с территории атомной станции и соседнего Института реакторных материалов (ИРМ). В процессе проведения работы пробы воды отбирали из общего канала, соединяющего стоки воды обоих предприятий, однако в отдельных случаях их анализировали отдельно.

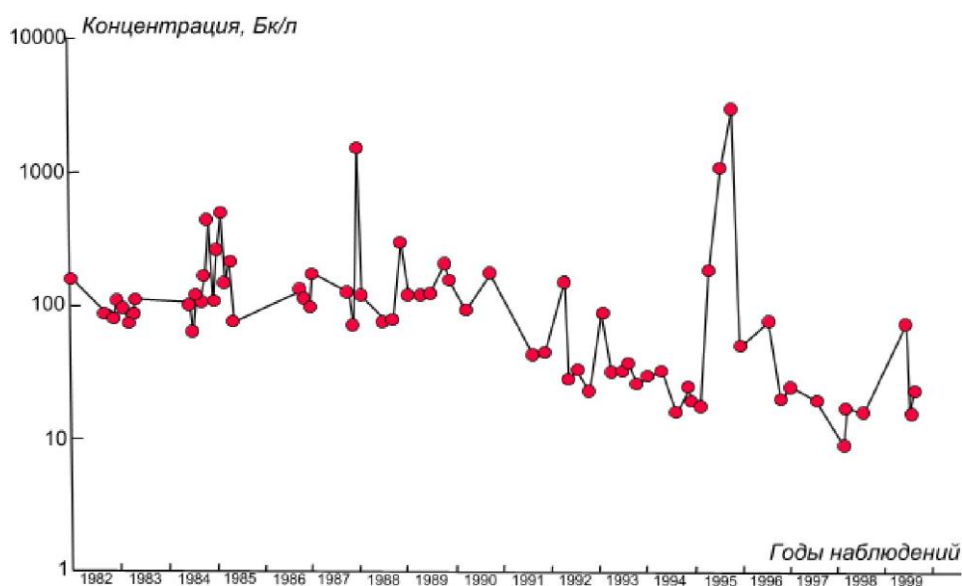


Рис. 7. Динамика концентраций трития в воде промливневого канала.

Полученные данные свидетельствуют о резких колебаниях концентрации радионуклида в воде промливневого канала. В частности, высокий показатель (1516 Бк/л) зарегистрирован в общем канале в июле 1987 г. В мае 1995 г. в канале ИРМ концентрация трития составила 3020 Бк/л. После остановки второго энергоблока среднее содержание трития в воде промливневого канала заметно снизилось, однако диапазон колебаний предельных значений при этом даже увеличился.

Обводной канал. Обводной канал дренирует территорию вокруг АЭС. Его ответвление проходит вдоль водоочистных сооружений мимо котельной, затем впадает в водоем в районе Биофизической станции.

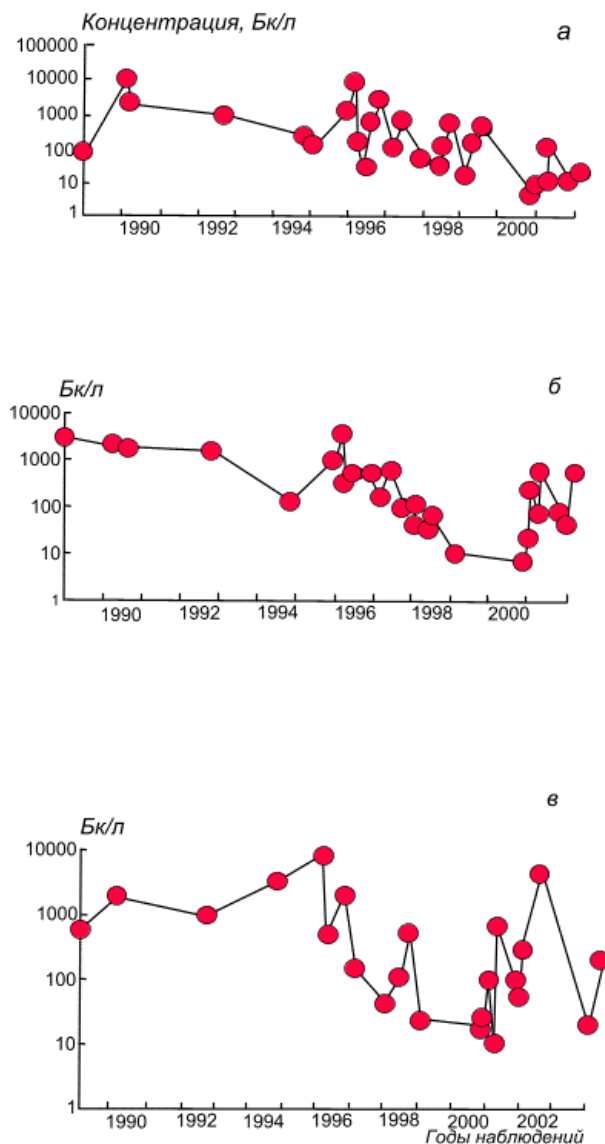


Рис. 8. Динамика концентраций трития в воде обводного канала (*а* – район водоочистных сооружений; *б* – район котельной; *в* – устье канала).

Исследование содержания трития в обводном канале проводились с 1989 по 2001 гг., пробы воды отбирались случайным образом. На рис. 8 представлена динамика концентраций радионуклида в трех точках (район очистных сооружений, котельная и устье канала). Видно, что в воде канала за период наблюдений концентрация трития варьировала в широких пределах – от уровня техногенного фона до десятка тысяч Бк/л.

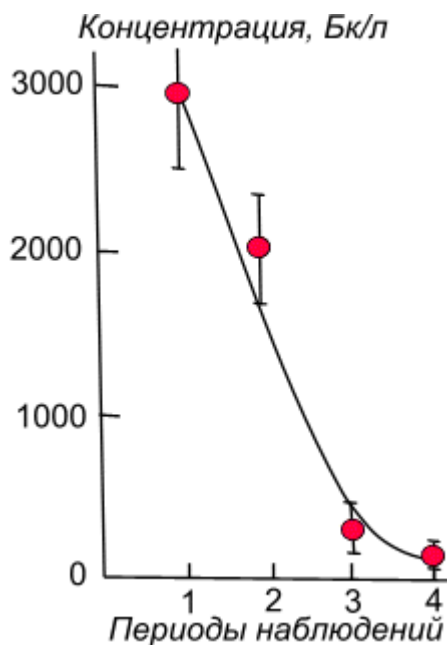


Рис. 9. Средние концентрации трития в воде обводного канала в различные периоды наблюдений (1 – 1988–1989, 2 – 1989–1995, 3 – 1996–1998, 4 – 2000–2001 гг.).

При обработке экспериментальных данных за весь период исследований были выделены четыре этапа. Первый период – с 1988 г. по сентябрь 1989 г., когда работали второй и третий энергоблоки. В сентябре 1989 г. второй энергоблок был выведен из эксплуатации, и в последующие годы работал только третий энергоблок. Второй этап – с сентября 1989 г. по 1995 г., третий – 1996–1998 гг., четвертый – 2000–2001 гг. Данные, представленные на рис. 9, показывают, что средние концентрации радионуклида в воде исследуемого канала снижаются во времени. Наиболее высокие показатели отмечены для периода совместной работы второго и третьего энергоблоков. В 1996–1998 и 2000–2001 гг. содержание трития в воде обводного канала снизилось примерно в 10 раз, что связано, с одной стороны, с остановкой второго энергоблока, а с

другой – с технологическими мероприятиями, проводимыми АЭС в целях снижения поступления трития в водные экосистемы.

Несмотря на эти мероприятия, в настоящее время не исключены случаи повышенного поступления радионуклида в водоем через обводной канал. Об этом свидетельствуют результаты измерений в его водах концентраций трития в 2002 г.: 26.06.2002 – 20 Бк/л; 1.10.2002 – 4540 Бк/л. Очевидно, проводимые АЭС мероприятия недостаточны для предотвращения поступления радионуклида в водоем-охладитель. Таким образом, исследования показали, что промливневый и обводной каналы являются поставщиками техногенного трития от АЭС в Белоярское водохранилище.

Заключение

Исследование динамики концентраций трития в водоеме-охладителе АЭС позволило выявить уровни загрязнения радионуклидом воды, превышающие уровень техногенного фона во всех точках наблюдений, включая верховье водоема. При этом, концентрация радионуклида варьировала в районе верховья от уровня техногенного фона до 60–70 Бк/л, районе плотины – до 93 Бк/л, зоне подогрева – до 105 Бк/л, районе Биофизической станции – до 1000 Бк/л. В течение периода наблюдений с 1980 по 2003 гг. отмечена тенденция к снижению концентрации трития в воде. Особенно четко она проявилась после вывода из эксплуатации второго энергоблока (1998 г.), когда содержание радионуклида в воде водоема снизилось примерно в 2 раза. Основными водными путями поступления трития в Белоярское водохранилище являются промливневый и обводной каналы. Первый из них принимает стоки с территории АЭС и от соседнего предприятия ИРМ, второй – дренирует территорию, прилегающую к АЭС, котельной, водоочистным сооружениям. Концентрация трития в воде указанных водотоков варьировала от уровня техногенного фона до нескольких тысяч Бк/л. После вывода из эксплуатации второго энергоблока содержание радионуклида в воде каналов заметно снизилось. В период работы третьего энергоблока, несмотря на проводимые на АЭС мероприятия по снижению поступления трития в водоем, не исключаются отдельные случаи залповых поступлений радионуклида. Так как Белоярское водохранилище являемся водоемом комплексного использования (для рекреации, рыбозаведения и т. д.), необходим тщательный контроль за сбросами трития в водоем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров Ю.А. Оценка радиационной опасности трития, нарабатываемого на АЭС // Экология и промышленность России. 2003. С. 27–30.
2. Егоров Ю.А. Тритий в природно-техногенной системе АЭС – водоем-охладитель // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 5. С. 616–620.
3. Тритий – это опасно. Челябинск, 2001. 57 с.
3. Чеботина М.Я., Николин О.А. Поступление трития в окружающую природную среду воздушным путем // Вопросы радиационной безопасности. 2003. № 4. С. 72–78.
4. Бескрестнов Н.В., Фатькин А.Г., Колтик И.И. Опыт организации дозиметрического контроля за водоемом-охладителем АЭС // Проблемы радиоэкологии водоемоохладителей атомных электростанций. Свердловск. 1978. С. 61.
5. Чиркова В.Г. О методах концентрирования при измерении трития в природных водах // Труды Института экспериментальной метеорологии. 1947. Вып. 2(42). С. 105.
6. Иваницкая М.В., Малофеева А.И. Источники поступления трития в окружающую среду // Тритий – это опасно. Челябинск. 2001. С. 22–29.

Сведения об авторе:

Чеботина Маргарита Яковлевна, д. т. н., ведущий научный сотрудник Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202; e-mail: Chebotina@ipae.uran.ru.