

## 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  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . 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 км<sup>2</sup> [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

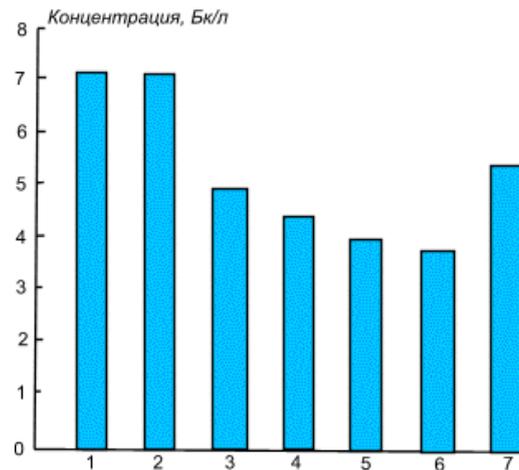
отсутствуют предприятия ядерно-топливного цикла, кроме того, он достаточно удален от крупных промышленных объектов.

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.

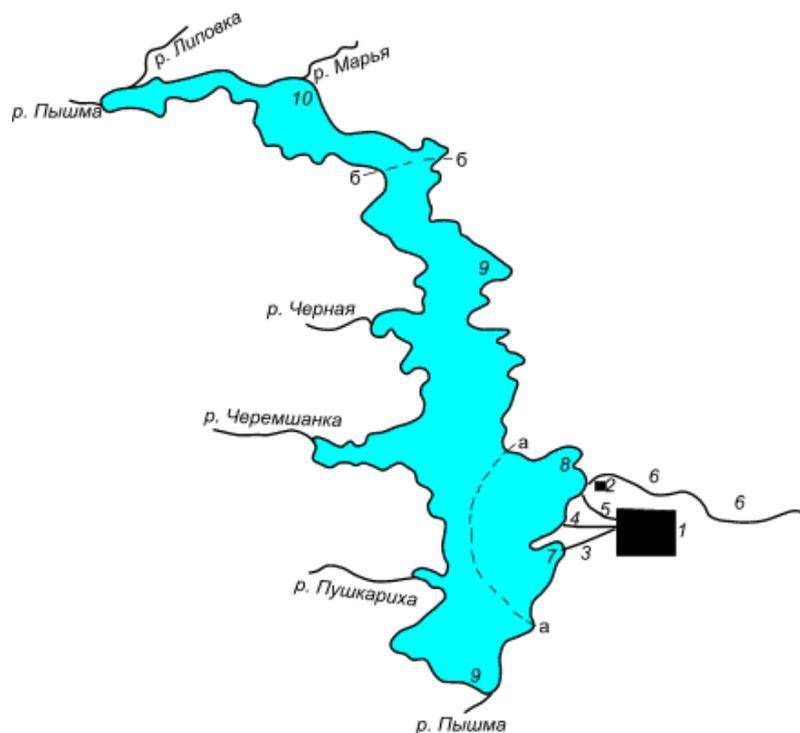
### *Водоем-охладитель*

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.

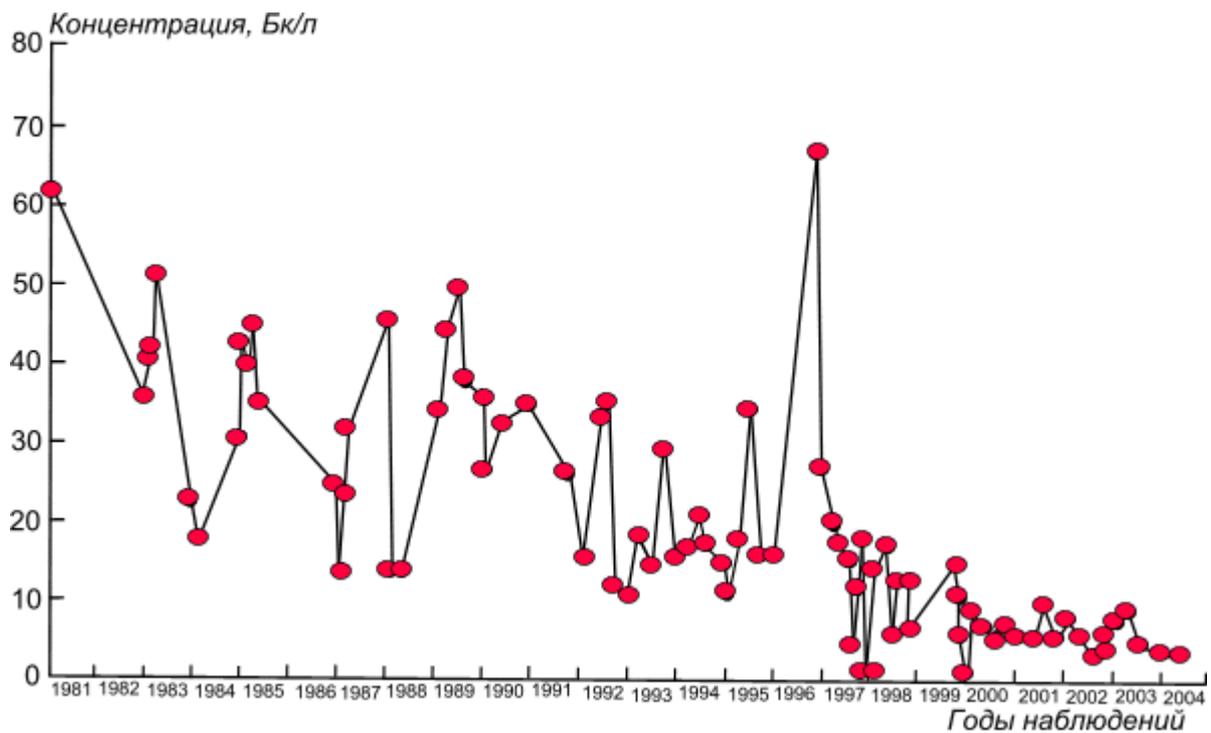


Рис. 3. Динамика концентраций трития в верховье водоема.

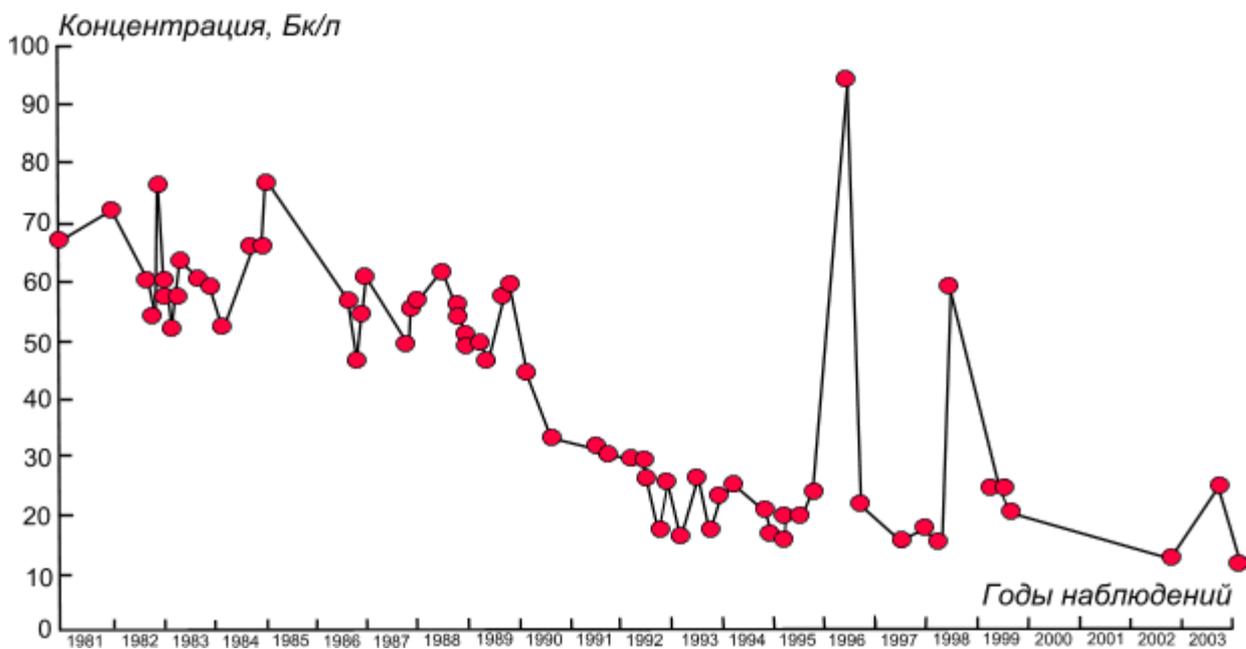
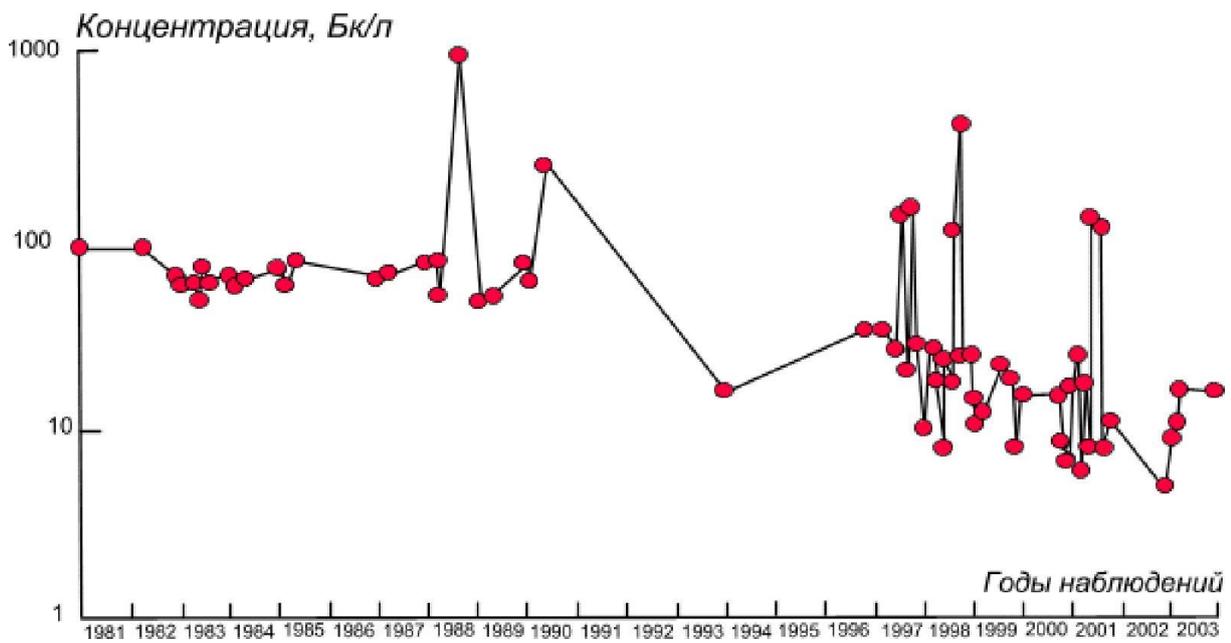


Рис. 4. Динамика концентраций трития в воде в районе плотины.

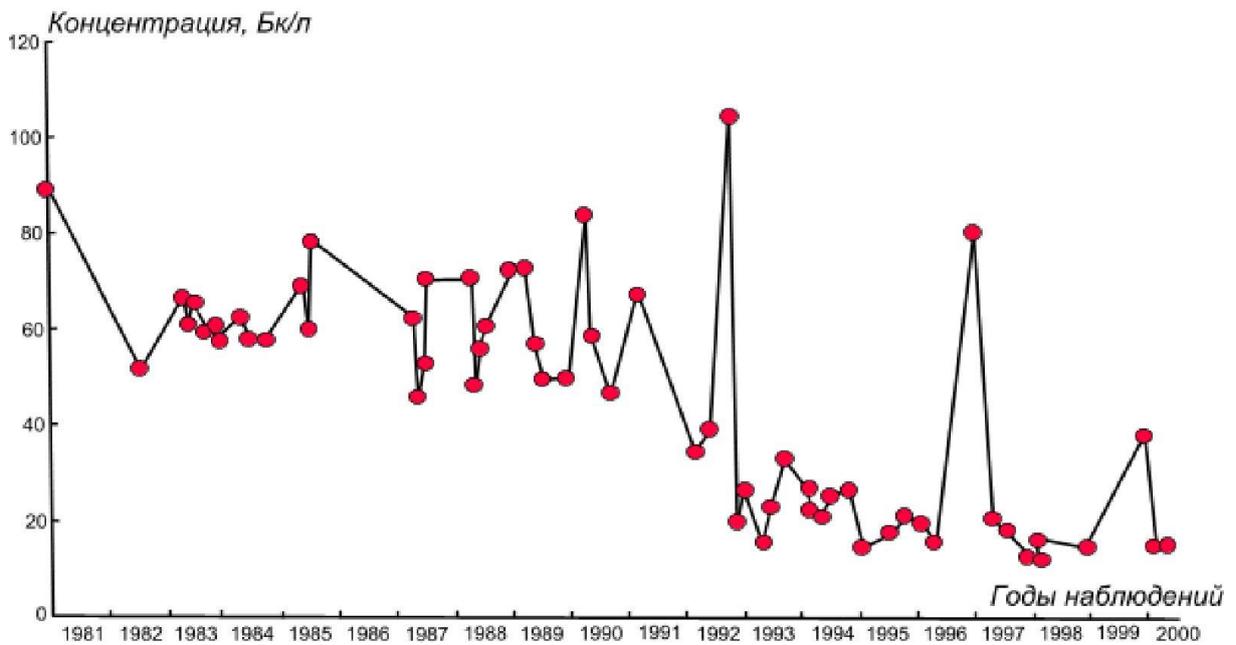
*Район Биофизической станции.* Интересны данные, характеризующие динамику содержания трития в районе Голубого залива. В этом месте в водоем поступают воды из обводного канала, дренирующего территорию вокруг АЭС. Хотя сам канал маловоден, он несет повышенные количества трития. Обращают на себя внимание 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 трития в воде Голубого залива.



**Рис. 6.** Динамика концентраций трития в воде Теплого залива.

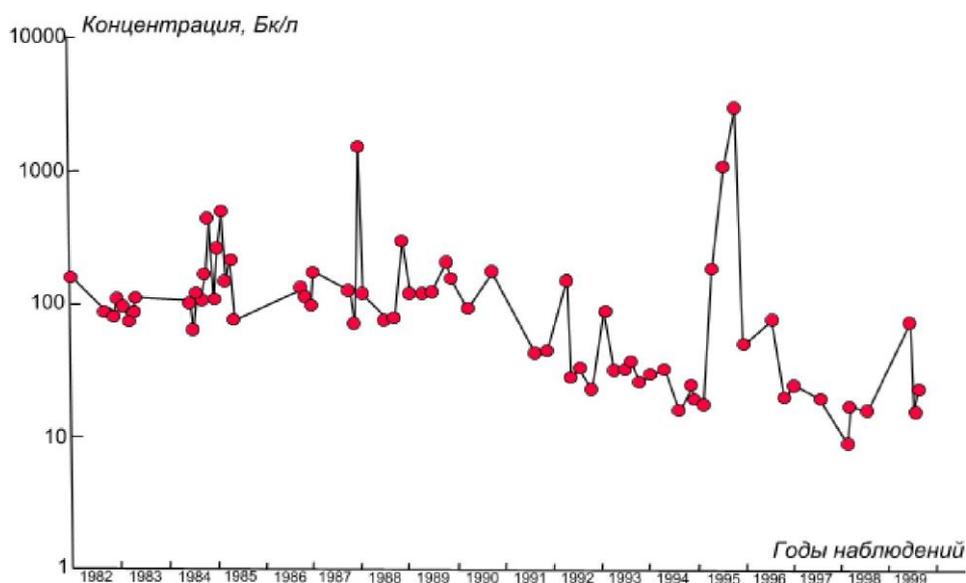
**Таблица.** Концентрации трития в различных точках наблюдений по центру водоема

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

#### *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.

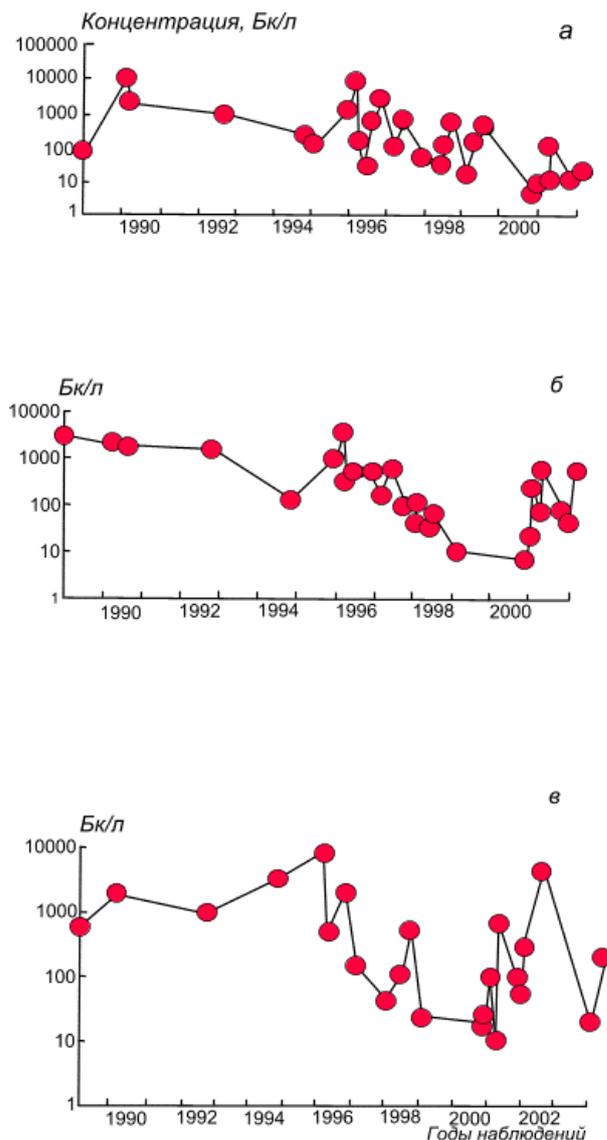
*Промливневый канал.* На рис. 7 представлена динамика изменения концентраций трития в воде промливневого канала, куда поступают стоки воды с территории атомной станции и соседнего Института реакторных материалов (ИРМ). В процессе проведения работы пробы воды отбирали из общего канала, соединяющего стоки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



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

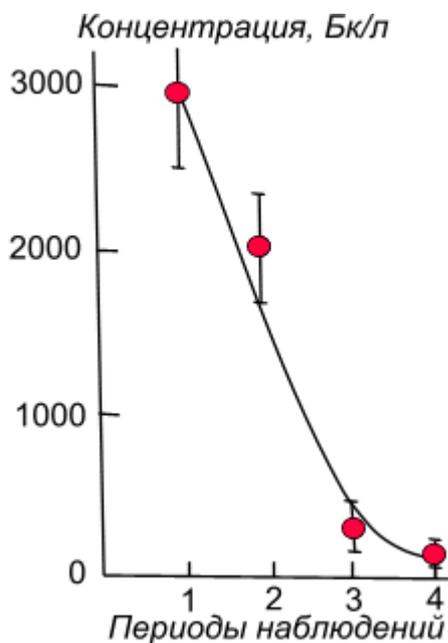
Полученные данные свидетельствуют о резких колебаниях концентрации радионуклида в воде промливневого канала. В частности, высокий показатель (1516 Бк/л) зарегистрирован в общем канале в июле 1987 г. В мае 1995 г. в канале ИРМ концентрация трития составила 3020 Бк/л. После остановки второго энергоблока 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.