

## МИГРАЦИЯ ТРИТИЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА В ИСТОЧНИКИ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА УРАЛЕ\*

© 2013 г. М.Я. Чеботина, О.А. Николин

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

**Ключевые слова:** питьевое водоснабжение, тритий, концентрация трития, Белоярская АЭС, Производственное объединение «Маяк».



М.Я. Чеботина



О.А. Николин

Приведены результаты исследования содержания трития в пробах питьевой воды (колодцы, скважины, сетевое водоснабжение) в районах расположения Белоярской АЭС и ФГУП «ПО «Маяк» (Урал). Представлены картосхемы загрязнения в указанных регионах воды колодцев и скважин радионуклидом.

Показана связь концентраций трития в питьевой воде с расстоянием от источника загрязнения и глубиной залегания воды.

### Введение

На Урале основными источниками поступления трития в окружающую среду являются Белоярская АЭС и Производственное объединение «Маяк». Как было показано в работах [1–3], исследуемый радионуклид загрязняет различные водные системы, расположенные в непосредственной близости от предприятий. Для человека, состоящего на 70 % из воды, наиболее опасно поступление трития в организм через органы дыхания и кожный покров, а также с питьевой водой и продуктами питания. При всех способах по-

\* Работа выполнена по программе Президиума РАН «Природная среда России: Адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики» (проект 12-П-4-1064).

падания в организм тритий легко проникает в плазму крови и приходит в равновесие с жидкостями тела.

Согласно научным данным, современные уровни содержания трития в поверхностных водах территорий нашей страны находятся в пределах уровня техногенного фона (5 Бк/л) или немного выше в зависимости от наличия или отсутствия предприятий атомной энергетики или производств ядерного технологического цикла (ЯТЦ). Краткую информацию по этому вопросу можно найти в [4–8]. Согласно результатам исследований, в Уральском регионе (г. Кытлым на севере Свердловской области) уровень техногенного фона по тритию в питьевой воде ~5 Бк/л [9].

Цель данной работы – на примере территорий, приближенных к Белоярской АЭС и ПО «Маяк», оценить возможность загрязнения тритием грунтовых и подземных питьевых вод в результате длительного функционирования предприятий ЯТЦ.

#### **Методика исследований**

Различные этапы исследований выполнялись в период с 1996 по 2008 гг. В обследуемых районах в качестве источников питьевого водоснабжения населения используются личные колодцы и скважины, а также вода, централизованно подающаяся из специальных глубинных скважин в колонки, установленные в населенных пунктах. Выбор личных колодцев и скважин для отбора воды осуществляли случайным образом, при этом по возможности фиксировали глубину залегания воды, которая варьировала в пределах 3–11 м для колодцев и 2–70 м для скважин.

Воду отбирали в стеклянные бутылки, плотно закрывали пробками и транспортировали в Отдел континентальной радиозкологии Института экологии растений и животных УрО РАН (г. Заречный). В процессе анализа воду фильтровали через бумажный фильтр, дистиллировали и хранили в холодильнике. Для количественного определения трития в пробах воды проводили предварительное обогащение методом одноступенчатого электролиза. 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. Обогащение производили с помощью специально сконструированной электролитической установки. Информация о ее устройстве, методике работы и расчетах концентраций трития приведена в монографии [9].

Пробы просчитывали на американской установке «Дельта-300». Концентрацию трития определяли относительным методом путем сравнения со стандартным раствором. Ошибка  $\beta$ -счета на счетной установке не превышала 5 %, чувствительность метода составляет 3 Бк/л. При обработке ре-

зультатов исследования использовали компьютерную программу Statistica (StatSoft. Inc., 1989–2001).

### Результаты исследований и их обсуждение

#### *Район Белоярской АЭС*

Белоярская АЭС (БАЭС) расположена на Среднем Урале, в 60 км от г. Екатеринбурга, запущена в эксплуатацию в 1964 г. Первый и второй энергоблоки уже выведены из эксплуатации, в настоящее время работает только третий энергоблок. В пределах 15 км зоны вокруг Белоярской АЭС в различных населенных пунктах было обследовано 26 колодцев и 30 скважин с различной глубиной залегания воды. Кроме того, исследовали воду централизованного водоснабжения в тех пунктах, где оно имеется (10 проб).

Колодцы. Согласно проведенным оценкам, содержание исследуемого радионуклида в воде колодцев варьировало в пределах 2–25 Бк/л при среднем значении 8,7 Бк/л. Как видно из рис. 1а, повышенные концентрации трития отмечены в некоторых пунктах наблюдений, расположенных в южном и юго-восточном направлениях от плотины Белоярского водохранилища (пос. Гагарка, Боярка, Белореченский). В более удаленном периферийном районе восточного направления обследованной территории (пос. Становая, Косулино, Рассоха) зарегистрировано относительно более низкое содержание радионуклида в воде по сравнению с остальной территорией.

Скважины. Концентрации трития в скважинной воде в обследуемом регионе варьируют от 1 до 22 Бк/л (рис. 1б). Как и в предыдущем случае, несколько более высокие концентрации радионуклида отмечены в пунктах наблюдений, расположенных в южном направлении от плотины Белоярского водохранилища (пос. Боярка, Гагарка, Гагарский, Озерный), а более низкие – в районе пос. Сарапулка и Становая.

Центральное водоснабжение. При наличии центрального водоснабжения вода подается в водопровод различных пунктов наблюдений из глубоких скважин. В частности, в г. Заречный она поступает из Каменской скважины, имеющей глубину около 70 м и расположенной в северо-восточном направлении от БАЭС.

На рис. 2 приведены данные мониторинга трития в сетевой воде (вода центрального водоснабжения) г. Заречный и для сравнения – в Каменской скважине на период 1996–1999 гг. Как видно из рисунка, концентрация трития в сетевой воде в этот период варьировала от уровня техногенного фона до 120 Бк/л. В 1996–1997 гг. были зарегистрированы два пика повышенных концентраций радионуклида, когда содержание трития в водопроводной воде возрастало до 88–120 Бк/л. В дальнейшем эти показатели снизились до уровня 10–30 Бк/л. Один из пиков отчетливо прослеживался и в воде

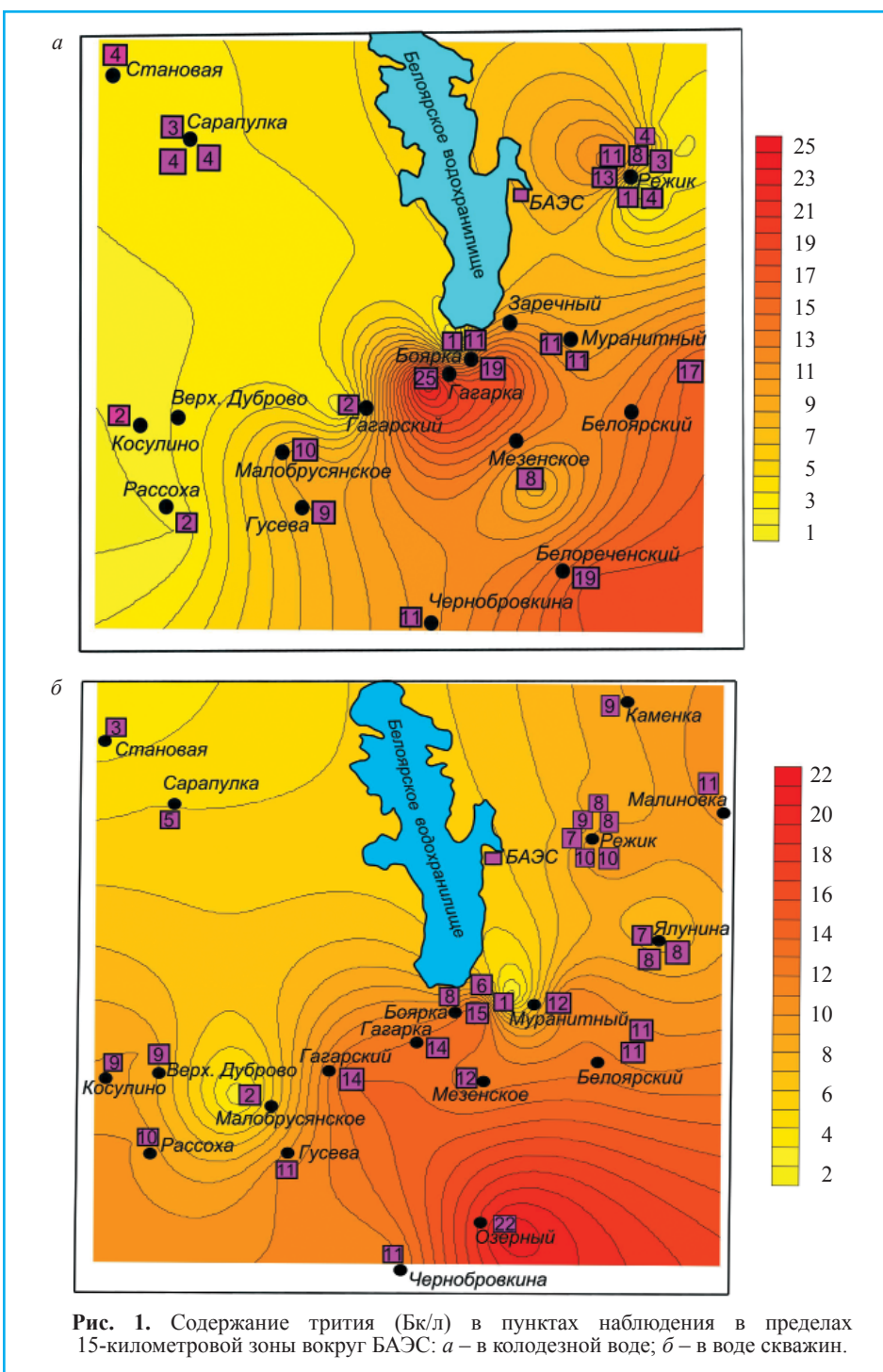


Рис. 1. Содержание трития (Бк/л) в пунктах наблюдения в пределах 15-километровой зоны вокруг БАЭС: а – в колодезной воде; б – в воде скважин.

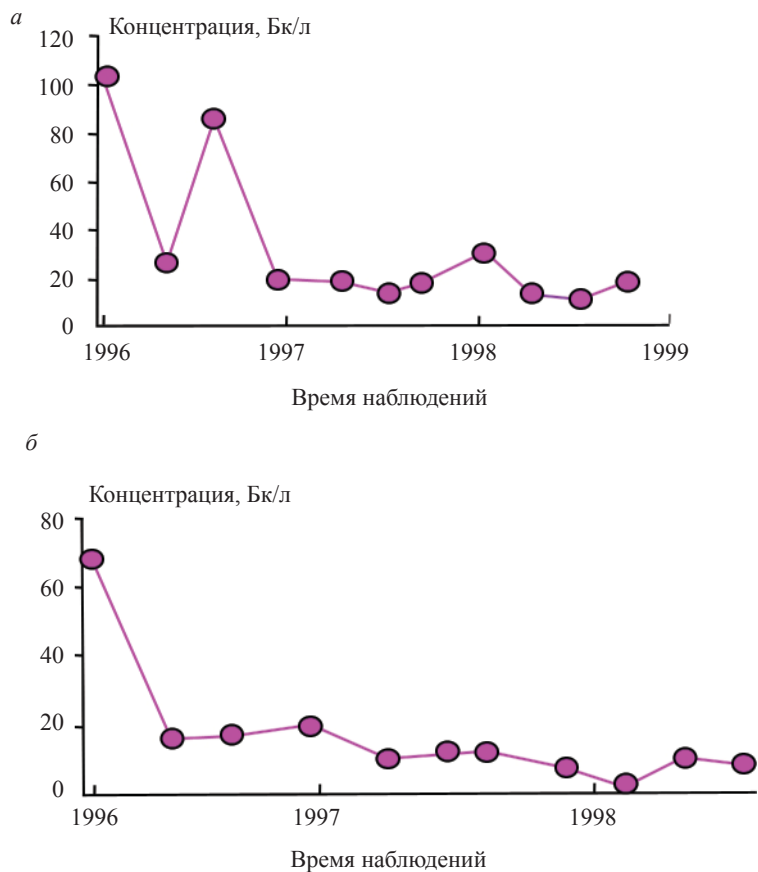


Рис. 2. Динамика концентраций трития (Бк/л) в: *а* – сетевой воде г. Заречный; *б* – воде Каменской скважины.

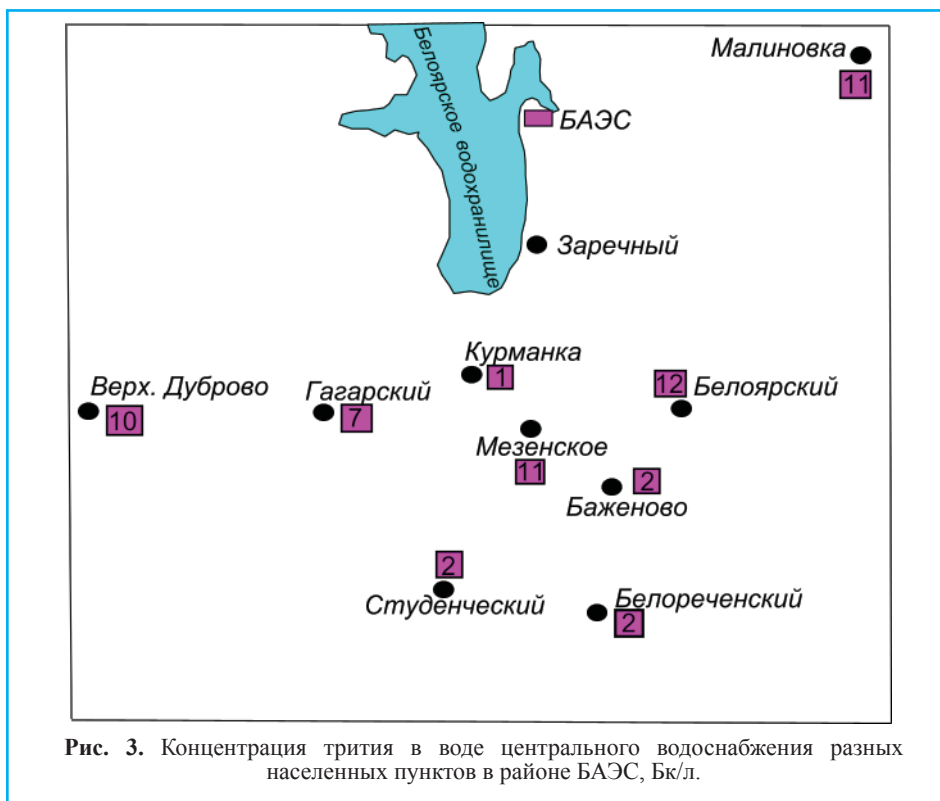
Каменской скважины 26.03.1996. В это же время повышенное содержание трития было отмечено в воде верховья Белоярского водохранилища. Ранее проведенными исследованиями было показано, что пики концентраций радионуклида в верховье водоема сопровождаются соответствующими повышениями его концентраций в воде Каменской скважины, но с некоторым запозданием [9]. Последнее свидетельствует о том, что глубинные и поверхностные воды вокруг Белоярского водохранилища взаимодействуют между собой.

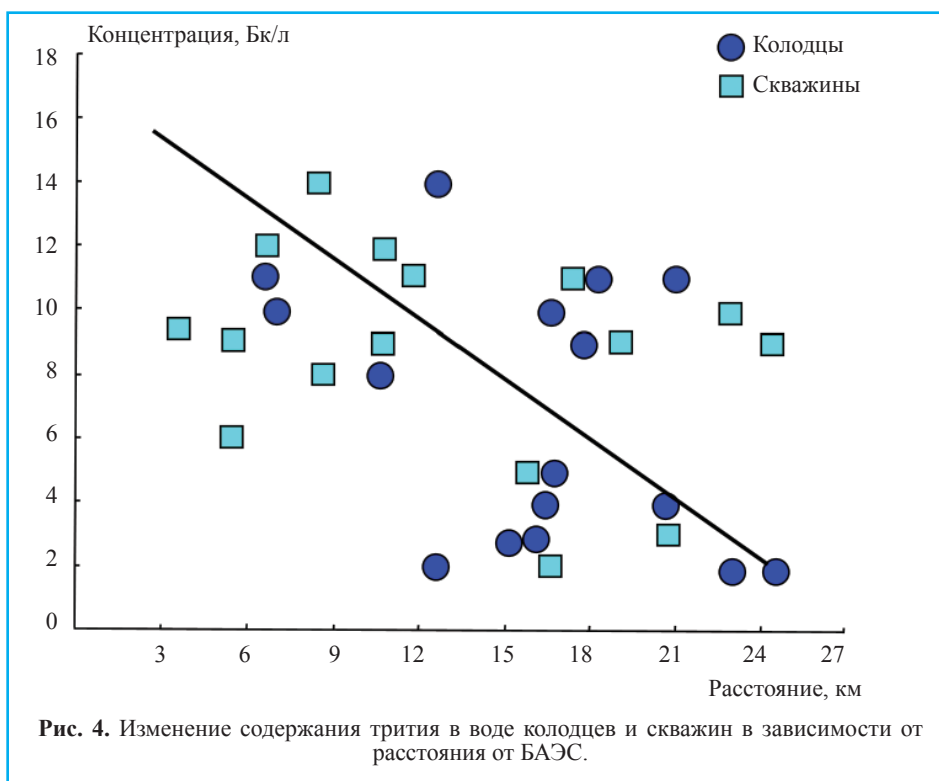
Согласно представленным данным, средняя концентрация трития в воде Каменской скважины и сетевой воде в среднем составляла соответственно  $11 \pm 2$  и  $18 \pm 2$  Бк/л (пиковые концентрации исключены из расчета). Эти значения в 2–4 раза превышают уровень техногенного фона. Таким образом, реальная питьевая вода г. Заречный содержит в среднем примерно на 60 %

больше трития, чем вода из Каменской скважины, если в обоих случаях не учитывать пиковые повышения в начальный период исследований.

В остальных пунктах наблюдений, как показали исследования, содержание трития в сетевой воде варьирует от 2 до 12 Бк/л при среднем значении 8 Бк/л. Этот показатель примерно в 2,5 раза меньше, чем в питьевой воде г. Заречный, и свидетельствует в целом о благополучной ситуации в данном регионе (рис. 3).

Зависимость концентрации трития в воде от расстояния и направления от БАЭС. В колодцы и скважины вода поступает из глубинных слоев подстилающих пород и геологических пластов коренных пород, расположенных ниже почвенного слоя. Пористая структура ряда пород и включения линз воды в них способствуют миграции загрязнений из первичных очагов их образования в другие, более удаленные регионы. В связи с этим представляло интерес оценить возможность перемещения трития в пространстве путем его миграции внутригрунтовым способом. На рис. 4 нанесены данные концентраций трития в воде колодцев и скважин на всей исследованной территории в зависимости от расстояния от Белоярской АЭС. Расстояние до пункта наблюдений измеряли при помощи компьютерной про-





граммы Google Earth (версия 5.2.1.1588). Статистическая обработка данных с использованием программы Statistica (Бутстрем-анализ с 29 репликами) показала наличие достоверной обратной корреляционной связи между концентрациями трития в питьевой воде и расстоянием от АЭС (коэффициент корреляции  $r = -0,39$ ; уровень значимости  $p = 0,037$ ). Зависимость между изученными параметрами выражается в виде формулы

$$y = 11,29 - 0,2396x.$$

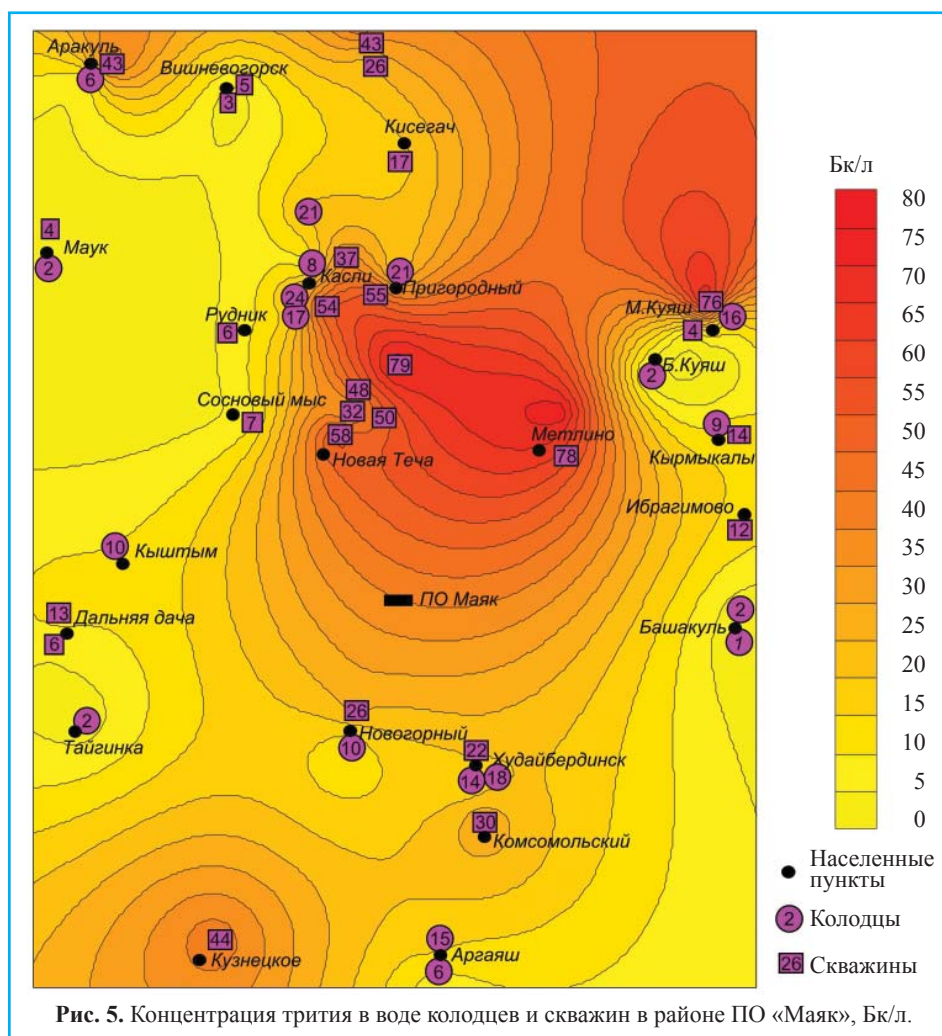
Установленная зависимость свидетельствует о том, что в результате длительного сброса в Белоярское водохранилище воды, содержащей повышенные концентрации трития, радионуклид проникает в питьевые воды через внутригрунтовый сток и загрязняет их в надфоновых концентрациях. Графическая обработка полученных данных в программе Surfer выявила наличие более высоких концентраций радионуклида в воде указанных питьевых источников в пунктах наблюдений, расположенных в южном и юго-восточном направлениях от нижней оконечности Белоярского водохранилища. Под влиянием стока именно в эту часть водоема-охладителя и далее в р. Пышму мигрируют слаборадиоактивные стоки БАЭС.



Район ПО «Маяк»

Производственное объединение «Маяк» – мощный производственный комплекс ядерной энергетики на Южном Урале – было создано в 1964 г. с целью наработки оружейного плутония. Тритий в этом регионе является одним из основных радиоактивных загрязнений водных сред. Для оценки степени загрязнения источников питьевого водоснабжения в пределах 45 км вокруг предприятия были обследованы 18 колодцев и 28 скважин на содержание в их водах трития.

Как видно из рис. 5, в пределах обследованной территории концентрация трития в воде колодцев варьировала от уровня техногенного фона до 24 Бк/л, а скважин – до 78 Бк/л. К северу от промзоны ПО «Маяк» (в послед-

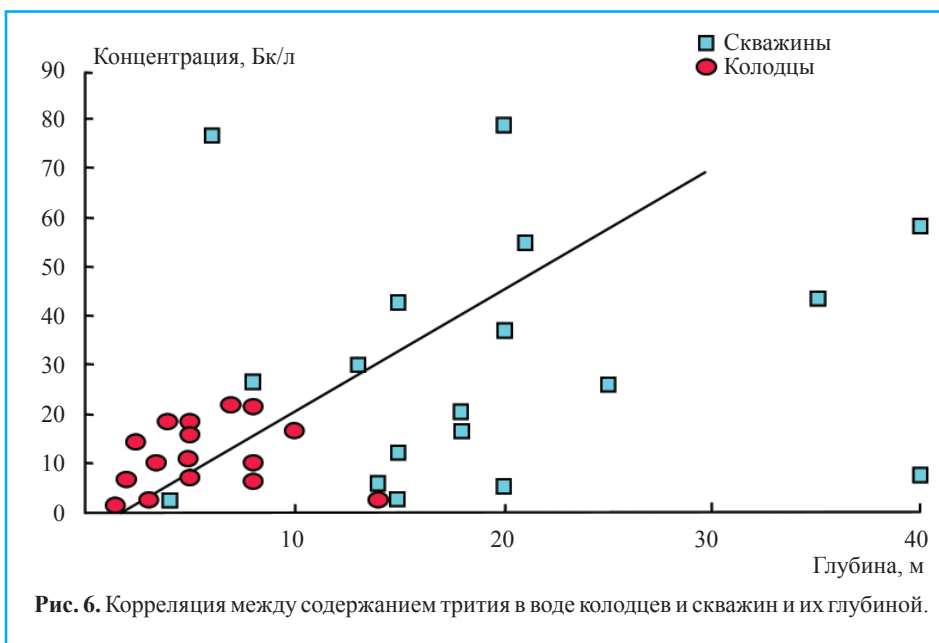




ней пробы не отбирались), между пунктами Метлино – Новая Теча – Касли – Пригородный выявлен ареал повышенных концентраций трития. Карто-схема также указывает на вероятность подобного ареала еще севернее, в направлении г. Снежинска, однако для подтверждения этого необходимы более детальные исследования.

Поскольку колодцы и скважины имеют различную глубину, представляло интерес исследовать, как связано содержание трития в указанных водных источниках с глубиной залегания воды. На рис. 6 представлены показатели концентраций трития в воде колодцев и скважин в зависимости от их глубины, которая оценивалась по информации, полученной от их владельцев, поэтому возможны неточности. Тем не менее, статистическая обработка данных по методу Спирмена позволила выявить достоверную связь между концентрацией трития в воде и глубиной водного источника (уровень значимости 0,0074).

Хотя колодцы и скважины представляют две разные выборки, они связаны между собой одним преобладающим источником, питающим их воду тритием. Так как содержание радионуклида в них с глубиной возрастает, можно предположить, что таким источником являются подземные воды. Это вполне увязывается с полученными данными, из которых следует, что концентрация трития в воде скважин (35 Бк/л) в среднем в 3,5 раза выше, чем в воде колодцев (10 Бк/л). Поскольку с северной стороны от ПО «Маяк» располагается серия водоемов-отстойников Теченского каскада, а в южном



и восточном направлениях находятся водоемы В-9 (Карачай) и В-17 (Старое Болото) с концентрацией трития в диапазоне  $10^3$ – $10^6$  Бк/л [10], очевидно, что они являются возможными источниками загрязнения воды колодцев и скважин в данном регионе.

Централизованное водоснабжение. Значительная часть населения района ПО «Маяк» потребляет воду из водопроводной сети, в которую вода подается из различных источников. В одних случаях – это специально пробуренные глубинные скважины (пос. Маук, Худайбердинск и др.), в других – открытые водоемы (оз. Аракуль, оз. Иртяш, оз. Сугамак, Зацепинский пруд). Поэтому содержание трития в сетевой воде разных населенных пунктов зависит от радиационной чистоты соответствующих водных источников. Установлено, что в более удаленных от ПО «Маяк» пунктах наблюдения (Маук – 5 Бк/л; Аргаяш – 2 Бк/л; Чебаркуль – 5 Бк/л) показатели содержания трития в сетевой воде ниже, чем в населенных пунктах, расположенных ближе к источнику трития (среднее значение 47 Бк/л).

### Заключение

Результаты исследований позволяют заключить, что при систематическом сбросе трития в континентальные водоемы радионуклид, как принято считать, распространяется в окружающей среде не только через поверхностный сток и испарения с зеркала водоема, но и путем диффузии в глубинные слои подстилающих пород с последующей пространственной миграцией на прилегающие территории, а также в источники питьевого водоснабжения. Скорость распространения фронта тритиевого загрязнения определяется целым рядом факторов, в т. ч. структурой водоносных горизонтов, водопроводностью и трещиноватостью пород, глубиной залегания водоносных горизонтов, наличием зон разломов земной коры и т. д. Это подтверждено результатами проведенных исследований в зонах Белоярской АЭС и ПО «Маяк», которые показали, что на разном расстоянии и в разных направлениях от указанных предприятий радионуклид мигрирует через внутрпочвенный сток в питьевую воду колодцев и скважин и загрязняет ее в надфоновых концентрациях. Содержание трития в воде питьевых источников в целом увеличивается с их глубиной, что свидетельствует о миграции радионуклида с глубинными водами. Установлено, что весь тритий в питьевой воде имеет антропогенное происхождение, т. к. практически во всех пробах его содержание превышает уровень глобального фона (1 Бк/л). В то же время во всех случаях концентрация трития в воде колодцев и скважин не достигает уровня вмешательства, регламентирующего содержание радионуклида в питьевой воде [11].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеботина М.Я. Тритий в воде Белоярского водохранилища в период работы трех энергоблоков АЭС // Водное хозяйство России. 2010. № 4. С. 58–73.
2. Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И., Мурашова Е.Л. Тритий в водоемах производственного и комплексного назначения в районе ПО «Маяк» на Урале // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 75–84.
3. Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И. Тритий в источниках питьевого водоснабжения жителей района ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2008. № 2. С. 82–86.
4. Болсуновский А.Я., Бондарева Л.Г. Тритий в водоемах бассейна реки Енисей в зоне влияния горно-химического комбината Минатома РФ // Экология. 2005. № 1. С. 59–64.
5. Гудков Д.И. Динамика содержания трития в пойменных водоемах р. Припять и пруде-охладителе Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39. № 6. С. 605–608.
6. Дельвин Н.Н., Иванов А.Б., Крылов В.А., Носов А.В. Изучение содержания трития в водных объектах и приземной атмосфере в районе Калининской АЭС // Экология регионов атомных станций. М. 1996. С. 264–274.
7. Егоров Ю.А. Еще раз о тритии, образующемся при работе АС, и его перенос в окружающей АЭС среде // Экология регионов атомных станций. М. 1996. С. 237–251.
8. Носов А.В., Мартынова А.М., Шабанов В.Ф. и др. Исследование выноса трития водотоками с территории Красноярского ГХК // Атомная энергия. 2001. Т. 90. Вып. 1. С. 80.
9. Чеботина М.Я., Николин О.А. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург. 2005. 90 с.
10. Тритий – это опасно. Челябинск. 2001. 57 с.
11. СП 2.6.1.758–99. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. М.: Минздрав РФ, 1999. С. 79.

**Сведения об авторах:**

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

Николин Олег Анатольевич, к. б. н., научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 624250, г. Заречный, Свердловская обл., а/я 18; e-mail: BFS\_zag@mail.ru