

УДК 539.163:574.63:614.876

## ТРИТИЙ В ВОДНОЙ СИСТЕМЕ РЕКИ ТЕЧА

© 2016 г. М. Я. Чеботина\*, О. А. Николин

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

\*e-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 3.02.2015

В работе приводятся данные о содержании трития в питьевой воде населенных пунктов, расположенных в прибрежной зоне р. Теча. Показано, что сетевая вода, поступающая в колонки населенных пунктов из глубинных скважин (100–180 м), содержит больше радионуклида, чем вода личных колодцев, скважин и родников, имеющих меньшую глубину. Наблюдаемый феномен повышенного содержания трития в сетевой воде, поступающей из глубинных скважин, очевидно, объясняется тем, что русло р. Теча расположено в зоне разлома земной коры, по которому идет глубинная фильтрация загрязненной радионуклидом воды из производственных водоемов ПО “Маяк”, расположенных в верхней части зарегулированного русла реки.

**Ключевые слова:** тритий, концентрация, ПО “Маяк”, река Теча, населенные пункты, колодцы, скважины, родники, сетевая вода.

**DOI:** 10.7868/S0869803116010057

Тритий относится к числу наиболее распространенных радиоактивных загрязнителей воды как в масштабах мирового океана в целом, так и в водных экосистемах континентальных территорий. Его концентрация в природных водах на несколько порядков величин выше по сравнению с таковыми радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Поскольку основным депо нахождения трития в природе служит вода, он вместе с водными потоками и водяными парами из мест первичного загрязнения легко перемещается на большие расстояния, загрязняя питьевую воду и воздушное пространство в надфоновых концентрациях [1, 2].

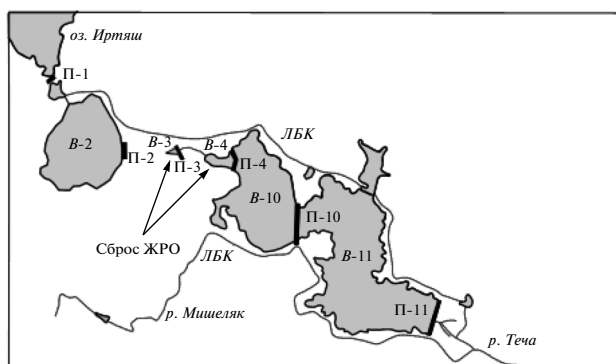
Согласно литературным данным, уровень глобального фона по тритию на планете составляет ~1 Бк/л. Современный уровень техногенного фона в поверхностных водах разных территорий нашей страны зависит от наличия или отсутствия поблизости предприятий атомной промышленности [3]. Согласно результатам наших исследований, в Уральском регионе уровень техногенного фона по тритию (г. Кытлым на севере Свердловской области) находится на уровне ~5 Бк/л [2].

Настоящая работа посвящена исследованию современных уровней концентраций трития в водной экосистеме р. Теча, расположенной на Южном Урале, в зоне воздействия Производственного объединения “Маяк” (ПО “Маяк”).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Река Теча берет свое начало в оз. Иртыш. Длина реки составляет 243 км. Основные притоки – ре-

ки Мишеляк, Зюзелга и Басказык. В период строительства и функционирования ПО “Маяк” сток в верховье р. Теча был зарегулирован системой гидротехнических сооружений, включающих каскад производственных водоемов (В-3, В-4, В-10, В-11), плотины и обводные каналы. Указанные водоемы предназначены для хранения нетехнологических слаборадиоактивных жидких отходов. По левому берегу этих водоемов проложен левобережный обводной канал (ЛБК), через который “чистая” вода из оз. Иртыш, минуя каскад водоемов, поступает в р. Теча. С правой стороны располагается правобережный обводной канал (ПБК), в который направлены воды р. Мишеляк, правого притока р. Теча (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема расположения производственных водоемов ПО “Маяк” в верховье р. Теча.

Согласно нашим данным, в период с 2007 по 2009 гг. концентрация трития в воде производственных водоемов изменялась в следующих пределах (Бк/л): В-2 — от 3200 до 10000 (среднее значение  $6730 \pm 830$ ), В-3 — от 2400 до 8100 ( $4970 \pm 1000$ ), В-4 — от 2400 до 6300 ( $4000 \pm 690$ ), В-10 — от 1900 до 3800 ( $2910 \pm 300$ ), В-11 — от 700 до 1800 ( $850 \pm 270$ ) [4]. Жидкие сбросные воды предприятия, содержащие тритий и другие радионуклиды, пройдя через серию производственных водоемов, мигрируют с водами р. Теча и далее, разбавляясь водами р. Исеть, поступают в р. Тобол.

Ниже места впадения в реку обводных каналов Теча протекает по широкой долине с множеством болот. Значительную территорию занимают Асановские болота общей протяженностью ~10 км и шириной ~2 км. Русло реки в этом районе выражено нечетко, река протекает небольшими протоками. В среднем и нижнем течении (от Муслимово и ниже) она расширяется и углубляется, приобретает четкое умеренно-извилистое русло с плесами и перекатами, отмелями и косами. Берега реки несимметричные: часто очень крутому или обрывистому берегу соответствует низкий пологий противоположный берег. Дно реки в основном песчаное и песчано-каменистое, местами скальное. В местах углубления дна при замедленном течении встречаются илистые и песчано-илистые донные отложения. Более детальное описание морфологических и гидрографических характеристик р. Течи приведено в работе [5].

Общий сток р. Теча формируется под влиянием двух основных факторов — природной и техногенной подпитки. К первой относятся паводковые, дождевые и грунтовые воды и притоки реки, ко второй — воды правобережного и левобережного обводных каналов, фильтрационные воды через тело плотины П-11 и смыв радионуклидов с водосборной площади реки.

Объектом исследования служила вода из р. Теча в среднем и нижнем ее течении, питьевые воды в населенных пунктах, расположенных в прибрежной зоне этой реки, а также в контрольном районе, находящемся в междуречье Теча—Исеть (по трансекте от п. Барабановское до п. Лобаново).

Отбор проб воды из р. Теча проводили дважды — в июле 2005 и 2010 гг. Питьевую воду из скважин, колодцев и родников в населенных пунктах, расположенных в прибрежной части реки, отбирали в июле 2010 г., а в междуречье Теча—Исеть — в июле 2011 г. Основные пункты отбора проб указаны на рис. 2.

Воду в каждой точке наблюдений отбирали в двух повторностях по 0.5 л каждая. Из реки и родников воду отбирали с поверхностного слоя воды на глубину ~0–10 см, а из личных скважин и ко-

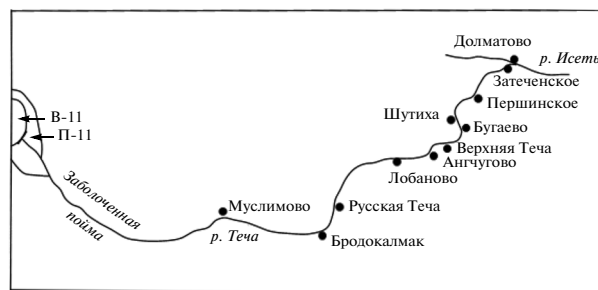


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб по течению р. Теча.

лодцев — с помощью насоса. Информацию о глубине указанных источников получали от их владельцев. Сетевую воду отбирали из водопроводных колонок, расположенных на территории населенных пунктов; информацию о глубине скважин, из которых поступает вода в колонки, получали в администрации. Воду отбирали в стеклянные бутылки, которые плотно закрывали пробками и транспортировали в Отдел континентальной радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН (г. Заречный). В процессе анализа воду фильтровали через бумажный фильтр “синяя лента”, 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. Детальная информация о ее устройстве, методике работы и расчетах концентраций трития приведена в монографии [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Вода р. Теча.* На рис. 3 представлены значения концентраций трития в воде р. Теча на разном расстоянии от плотины П-11, расположенной на выходе из водоема В-11. Видно, что содержание радионуклида в речной воде было примерно одинаково в 2005 и 2010 гг. и снижалось на исследуемом участке реки от 130 до 70 Бк/л. Наиболее высокие показатели концентраций трития наблюдались в районе п. Муслимово. Мониторинг радионуклида на этом участке реки по десяти временным точкам наблюдений показал, что в разные годы содержание трития в воде варьировало от 30 до 600 Бк/л при среднем значении 250 Бк/л. Следовательно, как показали результаты исследования, в настоящее время вода р. Теча на всем

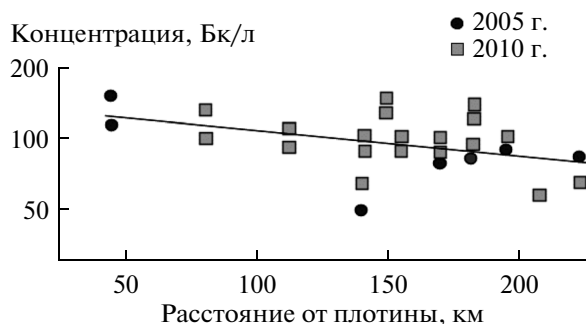


Рис. 3. Уровни концентраций трития в воде р. Теча в разные годы наблюдений, Бк/л.

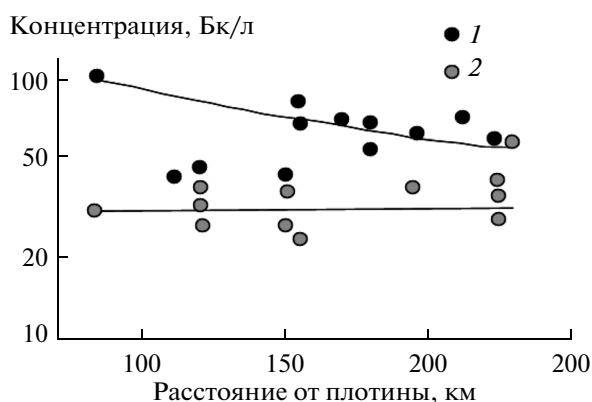


Рис. 4. Уровни концентраций трития в питьевой воде населенных пунктов, расположенных в прибрежной зоне р. Теча: 1 – сетевая вода; 2 – вода колодцев, родников, личных скважин.

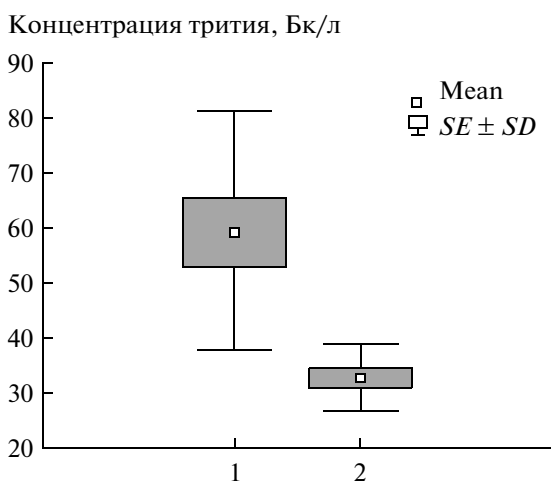


Рис. 5. Результаты статистической обработки данных концентраций трития в воде питьевых источников в населенных пунктах по р. Теча: 1 – сетевая вода; 2 – вода колодцев, родников, личных скважин.

своем протяжении несет повышенные концентрации радионуклида, превышающие уровень техногенного фона в среднем от 10 до 30 раз. Однако в отдельные годы наблюдений превышение уровня техногенного фона достигало 100 и более раз.

**Питьевая вода.** В связи с постоянным потоком повышенных концентраций трития с водами р. Теча представляло интерес определить, как влияет загрязнение реки на содержание радионуклида в питьевой воде населения, проживающего в прибрежной зоне. Известно, что в соответствии с программой реабилитации загрязненной территории для снижения поступления радионуклидов в питьевую воду населенных пунктов, расположенных вдоль загрязненной реки, были пробурены глубинные скважины (до 100–180 м), из которых вода подается в колонки, расположенные на территории населенных пунктов (сетевая вода). Вместе с тем, население употребляет воду родников, личных колодцев и скважин меньшей глубины.

На рис. 4 представлены значения концентраций трития в питьевой воде населенных пунктов в зависимости от их расстояния до плотины В-11. Анализ этих данных показал, что на всем протяжении реки сетевая вода, поступающая в колонки из глубинных скважин, содержит более высокие концентрации радионуклида, чем вода личных скважин, колодцев и родников, имеющих меньшую глубину. В среднем различие составило 2–3 раза. Значения концентраций трития в сетевой воде имеют тенденцию к снижению по мере удаления от плотины, тогда как в воде колодцев, родников и личных скважин содержание радионуклида практически одинаково на всем протяжении реки. Статистическая обработка всей совокупности данных с помощью компьютерной программы STATISTICA с использованием критерия Манна–Уитни (рис. 5) показала высоко достоверное различие между концентрациями трития в сетевой воде, поступающей из глубинных скважин, и содержанием радионуклида в воде менее глубоких питьевых источников, которыми пользуются жители населенных пунктов (уровень значимости  $p = 0.0016$ ).

Наблюдаемый феномен повышенного содержания трития в сетевой воде, поступающей из глубинных скважин, очевидно, объясняется тем, что русло р. Теча расположено в зоне разлома земной коры, по которому идет фильтрация загрязненной радионуклидом воды из производственных водоемов, расположенных в верхней части зарегулированного русла реки [6, 7]. Наличие прямой экспоненциальной зависимости между концентрацией трития в воде производственных водоемов и их расстоянием от истока р. Теча [4], а также приведенные на рис. 4 результаты исследо-

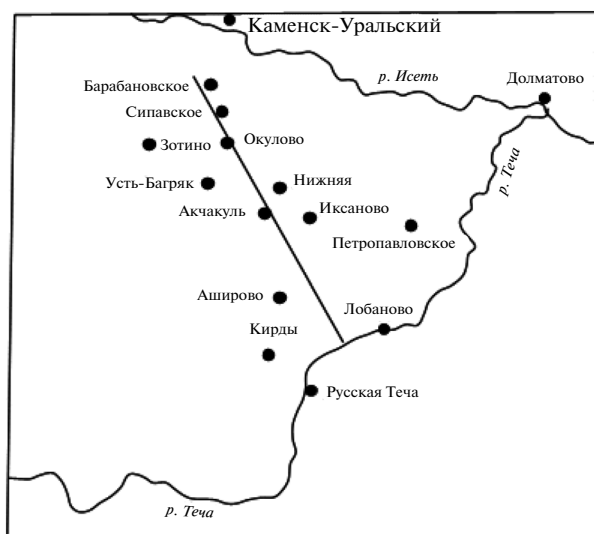


Рис. 6. Карта-схема расположения пунктов отбора проб в междуречье Теча–Исеть.

ваний подтверждают тот факт, что производственные водоемы и р. Теча объединены в единую гидрогеологическую водную сеть, по которой вниз по течению происходит постоянная подземная глубинная фильтрация загрязненных вод, сбрасываемых ПО “Маяк”. Из наиболее глубоких водоносных горизонтов этой водной сети (100 м и более) тритиевое загрязнение поступает в пробуренные глубинные скважины, при помощи которых обеспечивается водоснабжение населенных пунктов через сеть распределительных колонок.

В отличие от глубинных скважин, имеющих связь с водоносными горизонтами, в которые тритиевое загрязнение поступает из производственных водоемов ПО “Маяк”, воды личных скважин, колодцев и родников питаются преимущественно за счет паводковых, атмосферных и грунтовых вод, которые не связаны с производственными водоемами.

Представляло интерес установить, проявляется ли обнаруженное нами различие в концентрациях трития между указанными выше типами питьевой воды только в прибрежной части реки или оно сохраняется на более отдаленных от основного русла территориях. Для этой цели были обследованы различные типы водных источников на контрольной территории, расположенной на левом берегу реки между реками Исеть и Теча (по трансекте п. Барабановское – п. Кирды) (рис. 6).

На рис. 7 представлены соответствующие значения концентраций трития в различных типах водных источников указанной территории в зависимости от их расстояния до русла р. Теча. Отметим, что в районе исследования основная часть водных источников имеет сравнительно неболь-

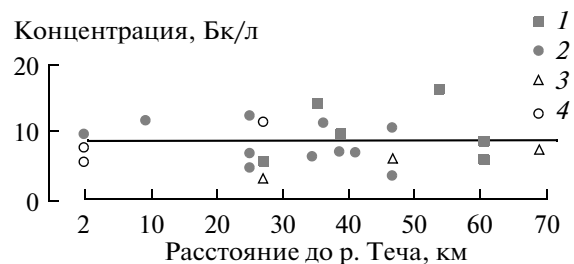


Рис. 7. Содержание трития в воде питьевых источников, расположенных по трансекте на разном расстоянии от основного русла р. Теча, Бк/л: 1 – колодцы; 2 – частные скважины глубиной <20 м; 3 – родники; 4 – сетевая вода и частные скважины глубиной >30 м.

шую глубину (<20 м). Более глубокие скважины обнаружены в н. п. Петропавловское (60–80 м), Кирды (90 м), Иксанова (68 м), Нижняя (33 м). Скважины глубиной >100 м не найдены. Как оказалось, в стороне от русла р. Теча концентрация трития во всех питьевых источниках, в том числе и в сравнительно глубоких скважинах, имеет примерно близкие значения и колеблется от 5 до 15 Бк/л. Они ниже, чем в воде р. Теча и в различных источниках питьевого водоснабжения населенных пунктов, расположенных в прибрежной части реки.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка современных уровней концентраций трития в водной системе реки Теча, включающей саму р. Теча, воды колодцев, скважин и родников, позволила заключить, что исследованные водные источники содержат повышенные концентрации радионуклида по сравнению с уровнем глобального и техногенного фона. Р. Теча на всем своем протяжении несет повышенные концентрации радионуклида, превышающие в некоторых местах (Муслюмово) уровень глобального фона до 600 раз, а техногенного фона – до 100 раз. Сетевая вода, поступающая в колонки населенных пунктов из глубинных скважин (>100 м), содержит достоверно более высокие концентрации радионуклида, чем вода личных скважин, колодцев и родников, имеющих меньшую глубину. Последнее, очевидно, объясняется тем, что р. Теча располагается в зоне разлома земной коры, по которому идет постоянная глубинная фильтрация загрязненной радионуклидом воды из производственных водоемов, расположенных в верхней части зарегулированного русла. В стороне от русла реки (по трансекте между реками Теча и Исеть) концентрация трития во всех типах вод имеет близкие значения и колеблется вокруг уровня техногенного фона. Во всех типах исследованных вод средние значения концентраций трития не превышали уровень вмешательства, установленный

для питьевой воды согласно принятым нормативам [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 16-17-00010).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сойфер В.Н., Горячев В.А., Вакуловский С.М., Катрич И.Ю.* Тритиевые исследования природных вод России. М.: ГЕОС, 2008. 285 с.
2. *Чеботина М.Я., Николин О.А.* Радиоэкологические исследования трития Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 100 с.
3. *Егоров Ю.А.* Еще раз о тритии, образующемся при работе АС, и его переносе в окружающей среде // Экология регионов атомных станций. М.: НИО ЭАС ГНИПКИИ “Атомэнергопроект”, 1996. С. 237–250.
4. *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.
5. *Мокров Ю.Г.* Реконструкция и прогноз радиоактивного загрязнения реки Теча. Ч. 2. Озёрск, 2002. С. 3–142.
6. *Уткин В.И.* Газовое дыхание земли // Соросов. образоват. журн. 1997. № 1. С. 57–64.
7. Атлас геоэкологических карт на территории зоны наблюдения ФГУП “ПО “Маяк”. Озёрск, 2007.
8. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99.* СП 2.6.1.2523-09. М.: Минздрав РФ, 2009. 70 с.

## Tritium in the Water System of the Techa River

**M. Ja. Chebotina, O. A. Nikolin**

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of Russian Academie of Sciences, Yekaterinburg, 620144 Russia;  
e-mail: Chebotina@ipae.ura.ru*

The aim of the paper is to study modern tritium levels in various sources of the drinking water supply in the settlements situated in the riverside zone of the Techa. Almost everywhere the water entering water-conduit wells from deep slits (100–180 m) contains averagely 2–3 times higher tritium concentrations than the water from less deep personal wells, slits and springs. Tritium levels in the drinking water supply decrease with the distance from the dam; while in wells, springs and personal wells they are constant all along the river. The observed phenomenon can be explained by the fact that the river bed of the Techa is situated at a break zone of the earth crust, where the contaminated deep water penetrates from the reservoirs of the “Mayak” enterprise situated in the upper part of the regulated river bed. Less deep water sources (personal wells, slits and springs) receive predominantly flood, atmospheric and subsoil waters and are not connected with the reservoirs.