
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*М. А. Кулькова, С. В. Лебедев,
Е. М. Нестеров, А. В. Давыдочкина*

РАДИОУГЛЕРОД И ТРИТИЙ В ВОДНОЙ СИСТЕМЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО РЕГИОНА

[Исследования проведены при поддержке государственного контракта ФСР№ 14.В 37.21.1897 «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013»].

Обсуждаются результаты пилотных мониторинговых определений содержания долгоживущих радиоизотопов трития и радиоуглерода в водных резервуарах Санкт-Петербургского региона. Исследуемая территория включает прибрежные зоны восточной части Финского залива, бассейны Невы и Ладожского озера. На основании полученных данных в среде ArcGIS были построены карты распределения радионуклидов ^3H и ^{14}C в водной среде региона. Результаты обработки данных мониторинга и построения карт позволили определить интервалы фоновых и аномальных значений трития и радиоуглерода. На основании этих данных были выявлены потенциальные техногенные радиоактивные источники загрязнения окружающей среды региона.

Ключевые слова: радиоуглерод, тритий, водные системы, Санкт-Петербург, Финский залив, Ладожское озеро, ГИС.

*M. Kulkova, S. Lebedev,
E. Nesterov, A. Davydochkina*

Radiocarbon and Tritium in Environment Water System of St. Petersburg Region

The results of pilot monitoring of long-living radioactive isotope (^{14}C , ^3H) activities in water reservoirs of St. Petersburg region are considered in this article. The territory under the study comprises the coastal zones of Eastern part of the Gulf of Finland, the basin of the Neva River and the Ladoga Lake. The maps of radionuclide distributions in water were constructed by means of ArcGIS programs on the base of the data obtained. The results of the calculations and map visualization allowed to determine the intervals of background and anomalous values for tritium and radiocarbon. The potential technogenic radioactive sources of environmental pollution could be detected on the base of these data.

Keywords: radiocarbon, tritium, environment water system, St. Petersburg, Gulf of Finland, Ladoga Lake, GIS.

Исследования поведения долгоживущих радиоизотопов радиоуглерода (^{14}C) и трития (^3H) в окружающей среде являются актуальными в связи с развитием атомной ядерной промышленности. Попадание радиоуглерода и трития в организмы человека и животных может приводить к мутагенным изменениям на генетическом уровне [2].

Проблема исследования поведения трития и радиоуглерода в природной среде в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла еще плохо изучена, хотя контроль за содержанием и миграцией этих долгоживущих радионуклидов является важной задачей для экологии, гидрохимии и безопасности жизни населения. Отсутствие широкомасштабных исследований в этом направлении связано, по-видимому, с трудоемкими методами подготовки образцов для измерений и с отсутствием дорогостоящего оборудования для высокоточного определения содержаний этих радионуклидов.

В настоящей статье обсуждаются результаты пилотных мониторинговых определений содержания трития и радиоуглерода в регионе Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Исследуемая территория включает прибрежные зоны Восточной части Финского залива, бассейны Невы и Ладожского озера.

На территории Ленинградской области, вблизи Санкт-Петербурга, располагается ряд потенциально радиационно-опасных объектов (атомная электростанция, захоронения ядерных отходов, научные лаборатории. В 1950–1960-х годах в Ладожском озере на острове Хейнясенмаа проводились эксперименты с боевыми радиоактивными веществами [3]. В связи с этим исследования по распределению долгоживущих радионуклидов (^{14}C , ^3H) в водных резервуарах этого региона являются актуальными.

Пробоотбор водных образцов осуществлялся с августа 2008 года по июль 2010 года. На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области было отобрано 56 образцов воды. В марте — июле 2010 г. была собрана еще серия образцов воды (18 проб).

Пробы воды из открытых водоемов и водотоков отбирались из поверхностного горизонта. Образцы подземных вод отбирались в местах их выхода на поверхность. Объем пробы составлял 500 мл. Для координатной привязки точек отбора использовался GPS-навигатор eTreex Venture HC.

Для определения содержания трития в воде пробоподготовка [5; 6] включала фильтрацию, дистилляцию образцов объемом 50 мл каждый. Очищенную пробу смешивали с коммерческим сцинтилляционным коктейлем OptiPhase HiSafe 3™ — в пропорции 8 мл:12 мл. Пробоподготовка образцов воды для определения содержания радиоуглерода была выполнена с использованием методики, описанной в работе [4]. Этот метод позволяет обогатить образец углеродом. Образец смешивался с коммерческим коктейлем OptiPhase HiSafe 3™ — в пропорции 4 мл: 16 мл. Смесь помещалась в стеклянные вials, не содержащие ^{40}K .

Измерения активности радиоуглерода и трития выполнялись с помощью низкофонового сцинтилляционного счетчика Quantulus 1220. Фоновый образец для определения трития был подобран, как образец воды из источника подземных вод, содержание трития в котором ниже, чем в фоновом образце «мертвой воды» из глубоководной скважины из региона Кавказа. Фоновый образец для измерения радиоуглерода был подготовлен из образца воды, не содержащего радиоуглерод.

На основании полученных данных в среде ArcGIS были построены карты распределения радионуклидов ^3H и ^{14}C в водной среде территории Санкт-Петербургского региона (рис. 1, 2). Как уже говорилось, в нашем случае в область исследований входят прибрежные зоны восточной части Финского залива, бассейны р. Невы и Ладожского озера.

Для картографирования территории выбрана проекция Гаусса-Крюгера *Pulkovo 1942 3 Degree GK M 30E*. В ГИС-проекте в качестве исходного использовано сканированное изображение туристской карты Ленинградской области масштаба 1:800 000.

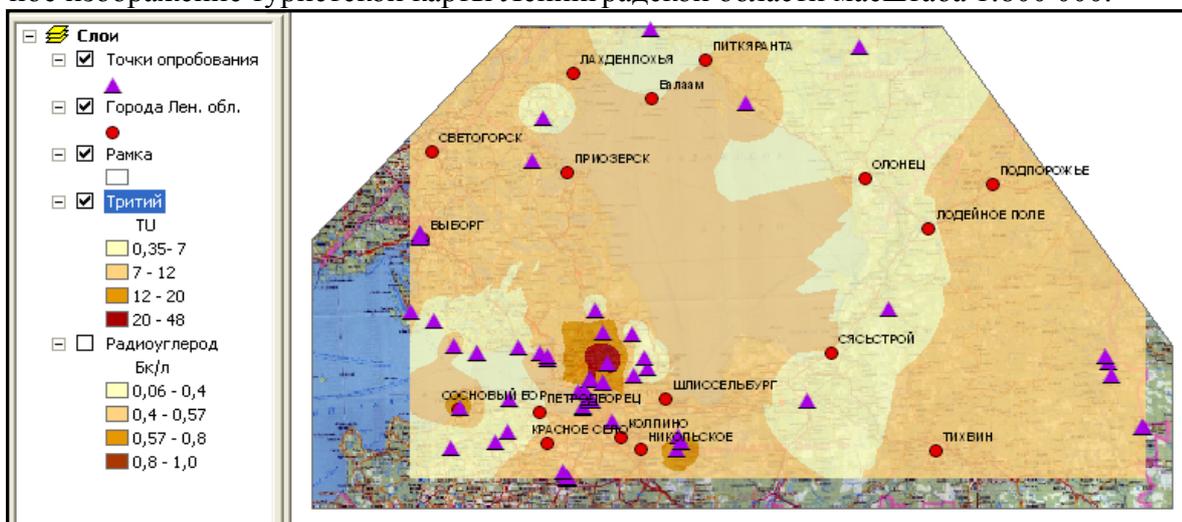


Рис. 1. Результаты интерполяции содержания в пробах воды трития.

Для построения карты распределения радиоуглерода были заданы четыре интервала

Для построения карт распределения содержания радионуклидов в пределах исследованной территории использовали модуль *Spatial Analyst*. Для построения карты распределения трития нами были заданы четыре интервала классификации с границами (ТУ): 0,35–7; 7,01–12; 12,01–20 и 20,01–48. При этом первые два интервала было принято считать фоновыми, а вторые два — соответствующими аномальным значениям трития, исходя из полученного материала в ходе описываемых пилотных исследований.

Для классификации с границами (Бк/л): 0,06–0,4; 4,001–0,57; 0,571–0,8 и 0,801–1,0. Здесь также первые два интервала было принято считать фоновыми, а вторые два — соответствующими аномальным значениям радиоуглерода (исходя из полученного массива данных рассматриваемых исследований).

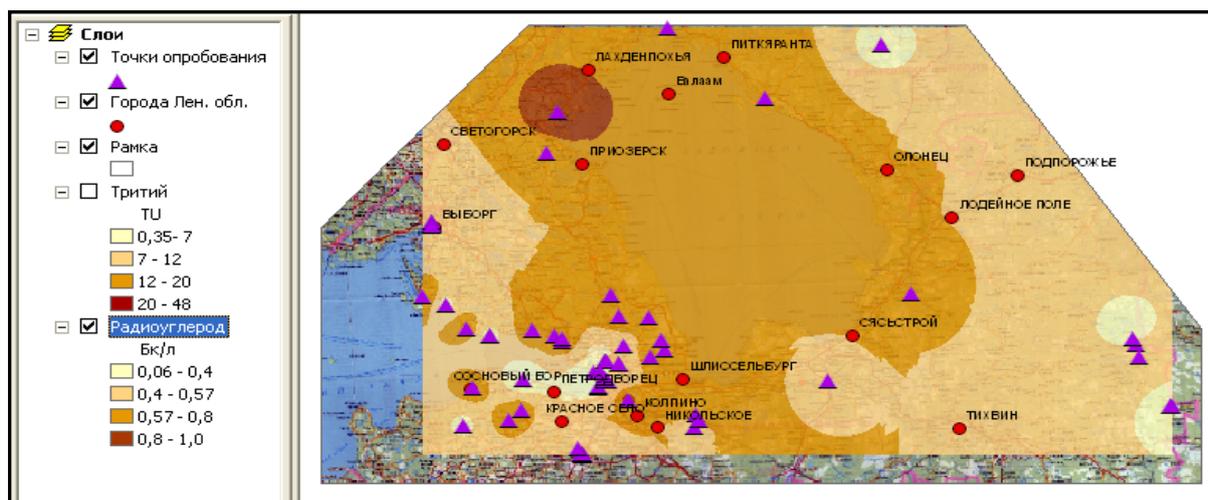


Рис. 2. Результаты интерполяции содержания в пробах воды радиоуглерода

Данные результатов анализов проб воды регионов восточной части Финского залива и Ладожского озера показывают (рис. 1, 2), что содержание радиоактивных элементов в водной среде находится на уровне естественных значений: тритий — 8,4–42TU (1–5 Бк/л), радиоуглерод — 0,06–1,0 Бк/л, что намного ниже предельно допустимой концентрации этих радионуклидов в воде: трития — 124 TU (14,8 Бк/л) и радиоуглерода — 250 Бк/кг [6].

Значения содержания трития в водных образцах из рек, озер, подземных источников Ленинградской области и водотоков Санкт-Петербурга имеют небольшие различия между собой, в среднем, находятся в диапазоне 5–14 TU (0,6–1,66 Бк/л) и редко превышают фоновые значения. Близкие средние значения концентраций наблюдаются у образцов из Финского залива и водотоков Санкт-Петербурга: 8,5 TU (1,01 Бк/л) и 9 TU (1,07 Бк/л) соответственно, эти значения намного меньше, чем в 1972 г., когда концентрация трития в Финском заливе составляла около 62 TU (7,32 Бк/л) [1]. Повышенные концентрации наблюдаются в воде из озер Санкт-Петербурга и Ленинградской области 13 TU (1,54 Бк/л) и в некоторых источниках подземных вод 13,75 TU (1,64 Бк/л). Образцы из источников подземных вод имеют разные значения: от 6,7 TU (0,80 Бк/л) — радоновые источники до 15 TU (1,77 Бк/л) — источники из парка Монрепо в г. Выборге. Относительно высокие содержания трития в источнике из г. Выборга связаны с локальной аномалией по тритию в этом районе. Наименьшая среди выделенных групп концентрация трития отмечается в реках: 6,75 TU (0,80 Бк/л).

Распределение радиоуглерода в воде отличается от распределения трития. Наиболее высокие концентрации зарегистрированы в больших водоемах — в Финском заливе (0,75 Бк/л) и в Ладожском озере (1,01 Бк/л). По-видимому, это связано с большим, чем у трития, периодом полураспада радиоуглерода и характеризует остаточный радиоактивный фон. Наименьшие значения содержания ^{14}C зарегистрированы в воде рек (до 0,06 Бк/л). Низкие значения радиоуглерода также отмечаются для вод подземных источников. Водные объекты, расположенные в пределах Санкт-Петербурга, характеризуются как фоновыми, так и аномальными значениями по радиоуглероду, попадая во второй и третий интервалы классификации. Итак, можно отметить, что объекты, удаленные от больших водоемов — Балтийского моря и Ладожского озера, характеризуются более низкими значениями активности радиоуглерода.

Корреляция содержания трития и углерода находится в обратной зависимости. Можно отметить, что внутриконтинентальные водоемы обогащены тритием в большей степени, чем воды Финского залива. В то же время можно наблюдать более высокие концентрации радиоуглерода в водах крупных, открытых водоемов, таких, как Финский залив и Ладожское озеро. В связи с этим интересным представляется рассмотреть распределение радиоуглерода и трития в воде бассейна Ладожского озера.

На карте распределения радиоуглерода (рис. 2) наблюдаются аномальные значения содержания этого радионуклида в воде Ладожского озера, что можно объяснить остаточной радиоактивностью после проведения здесь работ по испытанию оружия в 1950–1960-х годах. На карте распределения трития (рис. 1) таких повышенных значений не наблюдается, так как время полураспада трития по сравнению с радиоуглеродом намного меньше. Повышенные значения, как по тритию, так и по радиоуглероду в воде зарегистрированы в районах г. Сосновый Бор, пос. Кузьмолово, г. Гатчина (рис. 1, 2), особенно четко это видно на карте распределения трития. В этих районах располагаются промышленные предприятия топливно-ядерного цикла и повышенные, по сравнению с фоновыми, содержания трития отражают локальные места загрязнений.

Выводы

1. Данные мониторинга легких техногенных радионуклидов в водной среде Санкт-Петербургского региона (прибрежные зоны восточной части Финского залива, бассейны р. Невы и Ладожского озера) показали, что содержания радиоизотопов ^3H и ^{14}C находятся на уровне естественных значений: тритий — 8,4–42 TU (1–5 Бк/л), радиоуглерод — 0,06–1,0 Бк/л, что намного ниже предельно допустимой концентрации этих радионуклидов в воде: трития — 124 TU (14,8 Бк/л) и радиоуглерода — 250 Бк/кг.

2. Результаты обработки данных мониторинга и построения карт в среде ArGIS позволили определить интервалы фоновых и аномальных значений трития и радиоуглерода, которые могут быть использованы в качестве стандартов для дальнейшего мониторинга.

3. Значения содержания трития в водных пробах из рек, озер, подземных источников Ленинградской области и водотоков Санкт-Петербурга имеют небольшие различия между собой, находятся в диапазоне 5–14 TU (0,6–1,66 Бк/л) и редко превышают фоновые значения (12 TU). Более высокие концентрации наблюдаются в воде из озер Санкт-Петербурга и Ленинградской области — 13 TU (1,54 Бк/л) и в некоторых источниках подземных вод — 13,75 TU (1,64 Бк/л).

4. Наиболее высокие концентрации радиоуглерода зарегистрированы в больших водоемах — в Финском заливе (0,75 Бк/л) и в Ладожском озере (1,01 Бк/л). По-видимому, это связано с относительно большим периодом полураспада ^{14}C и характеризует остаточный радиоактивный фон после ядерных испытаний в атмосфере в 1950–1960-х годах. Наименьшие значения содержания ^{14}C зарегистрированы в воде рек (до 0,06 Бк/л). Фоновые значения радиоуглерода (< 0,57 Бк/л) отмечаются также для вод подземных источников.

5. Источниками поступления искусственных радионуклидов в окружающую среду Санкт-Петербургского региона в настоящее время являются локальные источники радиоактивности, главным образом, предприятия топливно-ядерного цикла и места захоронения ядерных отходов, которые располагаются или располагались ранее в этом районе. Распределение трития в водных резервуарах показывает локальный характер таких загрязнений, а распределение радиоуглерода может отражать долговременный региональный характер радиоактивных загрязнений окружающей среды. Исследование распределения этих радионуклидов в воде позволяет выявить потенциальные источники радиоактивности и проследить характер загрязнений окружающей среды во времени. Большую роль в решении таких задач играет использование ГИС-картирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуловский С. М., Катрич И. Ю. Баланс трития в Балтийском море в 1972–1982 гг. // Атомная энергия. 1984. Т. 57. Вып. 4. С. 281–282.
2. Соловьев Л. Н. Формирование радионуклидного состава в объектах радиационного контроля АЭС // Вестник МГТУ. Т. 5. № 2. 2002. С. 205–206.
3. Терешкин В. Радиоактивные тайны Ладожских островов / Индекс. 2000. № 12.
4. Gudelis A. On Determination of radiocarbon leakage from a shallow-land radioactive waste repository / A. Gudelis, R. Gvozdaite, Š. Lukoševčius // Ed. Eikenberg J., Jäggi M., Beer H., Baehrle H., Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. 2009. P. 415–420.
5. Momoshima N. Tritium concentrations of river water on northern and southern islands of Japan / N. Momoshima, I. T. Poppy, N. Inoue, Y. Tkashima // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles. 1991. V. 150. № 1. P. 163–169.
6. Future Tritium Monitoring around Nuclear Power Plant / H. Hayakawa, H. Matsura, S. Jgarashi and H. Tokuyama // Fukui Pref. Environmental Radiation Research & Monitoring Center, Hamare-cho, 39–4, Fukui 910–825, Japan, 2004.

REFERENCES

1. *Vakulovskij S. M., Katrich I. Ju.* Balans tritija v Baltijskom more v 1972–1982 gg. // *Atomnaja energija*. 1984. T. 57. Vyp. 4. S. 281–282.
2. *Solov'ev L. N.* Formirovanie radionuklidnogo sostava v objektah radiacionnogo kontrolja AES // *Vestnik MGTU*. 2002. T. 5. № 2. S. 205–206.
3. *Tereshkin V.* Radioaktivnye tajny Ladozhskih ostrovo v/ Indeks. №12. 2000.
4. *Gudelis A.* On Determination of radiocarbon leakage from a shallow-land radioactive waste repository/ A. Gudelis, R. Gvozdaite, Š. Lukoševčius // Ed. Eikenberg J., Jäggi M., Beer H., Baehrle H., *Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*. 2009. P. 415–420.
5. *Momoshima N.* Tritium concentrations of river water on northern and southern islands of Japan / N. Momoshima, I. T. Poppy, N. Inoue, Y. Tkashima // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*. 1991. V. 150/ №1. P.163–169.
6. Future Tritium Monitoring around Nuclear Power Plant / H. Hayakawa H. , Matsura, S. Jgarashi. and H. Tokuyama // *Fukui Pref. Environmental Radiation Research & Monitoring Center, Hamare-cho, 39–40. Fukui* 910–825. Japan, 2004.