

А. В. Давыдочкина, М. А. Кулькова, С. В. Лебедев

[Работа выполнена в рамках реализации ФЦП
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
на 2009–2013 годы, ГК П1156 и 14.В37.21.1897].

ТРИТИЙ В ОБЪЕКТАХ ЭКОСИСТЕМЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Тритий — радиоактивная форма водорода. Естественный путь образования трития в природе обусловлен ядерными реакциями, проходящими в верхних слоях атмосферы, искусственный тритий поступает в окружающую среду в результате работы объектов ядерного топливного цикла. Тритий наиболее опасен в форме оксида (HTO — тритиевая вода), который ведет себя в окружающей среде так же, как вода. Расширяющееся строительство объектов ядерного топливного цикла на побережье Балтийского моря создает реальную возможность поступления радионуклидов в составе радиоактивных отходов в объекты экосистемы региона (Санкт-Петербург, Ленинградская область). Концентрация трития была измерена для отдельных элементов экосистемы региона. Благодаря применению низкофоновому жидкостному сцинтилляционному счетчику «Quantulus–1220» появилась возможность устанавливать содержание радионуклида на уровнях, близких к фоновым. Полученные в ходе исследования значения содержания трития находятся в пределах регионального фона и не вызывают опасности для здоровья людей. Созданные на основе полученных данных картосхемы наглядно отображают особенности содержания исследуемого радионуклида.

Ключевые слова: радионуклиды, тритий, Санкт-Петербург, объекты экосистемы.

A. Davidochkina, M. Kulkova, S. Lebedev

Tritium in Objects of the Ecosystem of Saint Petersburg and Leningrad Region

Tritium is a radioactive form of hydrogen used in research, fusion reactors and neutron generators. Tritium is present in water (liquid and vapor) as result of natural processes in the atmosphere, as well as from fallout from past atmospheric nuclear weapons tests and operation of nuclear reactors and fuel reprocessing plants. Its most dangerous form, tritium oxide (HTO), is generally indistinguishable like water. The expanding construction of nuclear industrial plants and nuclear power station on the shore of the Baltic Sea is creating a real possibility for the introduction of radioactive wastes into the environment objects of the region (St. Petersburg, Leningrad Region). Tritium concentration was measured for the individual environment objects of the region. Through the use of low-background liquid scintillation counter «Quantulus–1220» it became possible to establish the radionuclide content at the levels close to the background. It was found that tritium content is within the regional background and does not cause danger to human health. The schematic map based on the findings clearly shows the content of the radionuclide.

Keywords: radionuclides, tritium, St. Petersburg, environment objects.

В настоящее время перед мировым сообществом стоит проблема по учету содержания радионуклидов в окружающей среде. Одним из важных радиационно-экологически значимых радионуклидов является тритий. Являясь изотопом водорода, тритий в органических соединениях химически ведет себя так же, как водород. Водород, один из главных и наиболее распространенных элементов в биосфере, входит в состав воды. В связи с этим,

понимание поведения его радиоактивного изотопа — трития — в элементах экосистем является необходимым при оценке рисков для здоровья человека и воздействия на окружающую среду [8, с. 35].

В ядре трития содержится один протон и два нейтрона. Период полураспада составляет 12,34 года. Тритий распадается на гелий-3, β -частицу и нейтрино, максимальная энергия β -излучения 18,6 кэВ [1, с. 56].

Во время своего открытия Резерфордом, в 30-х годах XX века, тритий в биосфере находился на естественном уровне и не представлял серьезной угрозы живым организмам. Положение изменилось с развитием «мирного» и «военного атома». С 1954 года (начало испытаний термоядерных бомб) в дождевой воде содержание трития увеличилось в тысячи раз. Общее количество трития, поступившее в биосферу в результате испытаний, составило сотни килограммов. После прекращения наземных испытаний уровень трития пошел на убыль. В последующие годы основным источником техногенного трития в окружающей среде стали атомные электростанции, которые ежегодно выделяют несколько десятков килограммов трития.

Ранее считалось, что характерным свойством поведения трития в экологических системах является отсутствие его накопления в отдельных элементах экосистемы [1, с. 51]. Однако недавние исследования демонстрируют значительное его накопление в богатых органикой осадках и цепях питания устьев рек [7, с. 890].

В организм человека тритий поступает через кожу и легкие как в виде тритиевой воды, так и в газообразном состоянии, а через желудок с водой — в виде тритиевой воды. Усвоение трития биологическими тканями обусловлено обменом подвижных атомов водорода на тритий.

Многие страны, имеющие выход к Балтийскому морю, имеют на побережье и развитую атомную энергетику. В связи с этим, большое внимание уделяется наблюдению и контролю за содержанием радионуклидов в объектах окружающей среды вблизи потенциально радиационноопасных объектов.

По данным исследований ХЕЛКОМ, в акватории Балтийского моря в настоящее время размещены 12 шведских, четыре финских и 19 немецких действующих энергоблоков, в Финском заливе — Ленинградская АЭС. В районах расположения АЭС действуют хранилища РАО. На побережье создаются, базируются и ремонтируются атомные подлодки и др. суда, часть которых подлежит утилизации. Другим из важнейших источников поступления искусственных радионуклидов в Балтийское море, по мнению экспертов, стали выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 года. Основные потенциально опасные источники поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду бассейна Финского залива сосредоточены в Ленинградской области. В планах развития атомной энергетики предполагается строительство замещающих мощностей АЭС (в частности, ЛАЭС-2 в Сосновом Бору) и ряда новых (Калининградская область). В районах расположения АЭС действуют хранилища РАО, в том числе региональные, например, Ленспецкомбинат «РАДОН». На территории ЛАЭС построен и начал работу ЭКОМЕТ-С — крупнейший в Европе частный завод по переплавке радиоактивных металлических отходов. В пределах рассматриваемого региона находится значительное количество радиационно опасных объектов, связанных с применением радионуклидов и источников ионизирующего излучения в ядерной энергетике, в промышленности, медицине, судостроении, в научных исследованиях и т. д. В основном они сконцентрированы в Санкт-Петербурге и вблизи него. Одним из наиболее загрязненных радионуклидами является район центральной части Финского залива, включая район расположения Ленинградской АЭС — Копорскую губу [6].

При проведении исследований по содержанию радионуклидов в осадках Балтийского моря, в основном, изучается содержание тяжелых радиоактивных изотопов (^{137}Cs , ^{40}K , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{237}Np , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am), в то же время почти полностью отсутствуют данные по распределению таких долгоживущих изотопов, как ^{14}C и ^3H , тогда как эти радионуклиды при работе атомных реакторов вносят наибольший вклад в дозу облучения.

В Санкт-Петербурге и его пригородах находится значительное количество потенциально радиационно опасных объектов, связанных с применением радионуклидов и источников ионизирующего излучения в ядерной энергетике, в промышленности, в медицине, судостроении, в научных исследованиях и т. д. Таким образом, основные потенциально опасные источники поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду бассейна Финского залива сосредоточены в Ленинградской области.

В результате исследований, с августа 2008 по август 2012 года на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области были отобраны пробы поверхностных вод и атмосферных осадков — 85 образцов.

Пробы воды и атмосферных осадков отбирались в пластиковые бутылки с плотно закручивающимися крышками (чтобы избежать испарения трития) и хранились в них до проведения анализа.

Пробы воды и атмосферных осадков отфильтровывали, дистиллировали с помощью холодильника Либиха. Образец помещался в пластиковые виалки вместе с сцинтилляционным коктейлем. Образцы биологических объектов (трава, листья, насекомые) и почвы, предварительно взвешенные, высушивались в сушильном шкафу при температуре $105\text{ }^\circ\text{C}$. После сушки пробы почвы измельчали, перемешивали, определяли насыпную массу пробы. Из проб биологических объектов с помощью ручного лабораторного пресса делали образцы в виде таблеток. Подготовленные таким образом пробы биологических объектов и почвы далее были подготовлены с помощью прибора Sample Oxidizer 307 (Система автоматической пробоподготовки образцов, содержащих С-14 и Н-3 для анализа на жидкосцинтилляционных счетчиках).

Для измерений использовался низкофоновый жидкостной сцинтилляционный счетчик Quantulus-1220. Минимально обнаруживаемая активность прибора составляет $0,1\text{ Бк/л}$. Фоновым образцом для воды и атмосферных осадков являлась вода с наименьшим содержанием трития — вода из грунтовых источников Гатчинского парка; для биологических объектов и почвы — «пустой» образец.

Тритий в поверхностных водах. Наиболее высокая концентрация трития в исследуемом регионе была обнаружена в поселке Кузьмоловский (48 TU), в районе поселка уровень составляет от 12 до 20 TU (рис. 1). Такие повышенные (по отношению к другим исследованным образцам поверхностных вод) значения трития обуславливаются расположением вблизи поселка захоронений ядерных отходов [2].

Сходные значения концентрации радионуклида ($12\text{--}20\text{ TU}$) обнаруживаются в районе городов Сосновый Бор и Гатчина (рис. 1), где располагаются потенциально радиационно-опасные объекты: Атомная электростанция (четыре энергоблока), научно-исследовательский технологический институт (два ядерных реактора) и Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова: один действующий реактор, хранилища РАО [2].

В водах на побережье Финского залива концентрация трития находится на уровне $0,35\text{--}7\text{ TU}$. Однако в районе поселка Приветинское отмечается концентрация $7\text{--}12\text{ TU}$ (рис. 1). В этом регионе, в Финском заливе, в районе поселков Приветинское и Пески, располагается законсервированная база испытаний боевых радиоактивных веществ на Форте Ино [2].

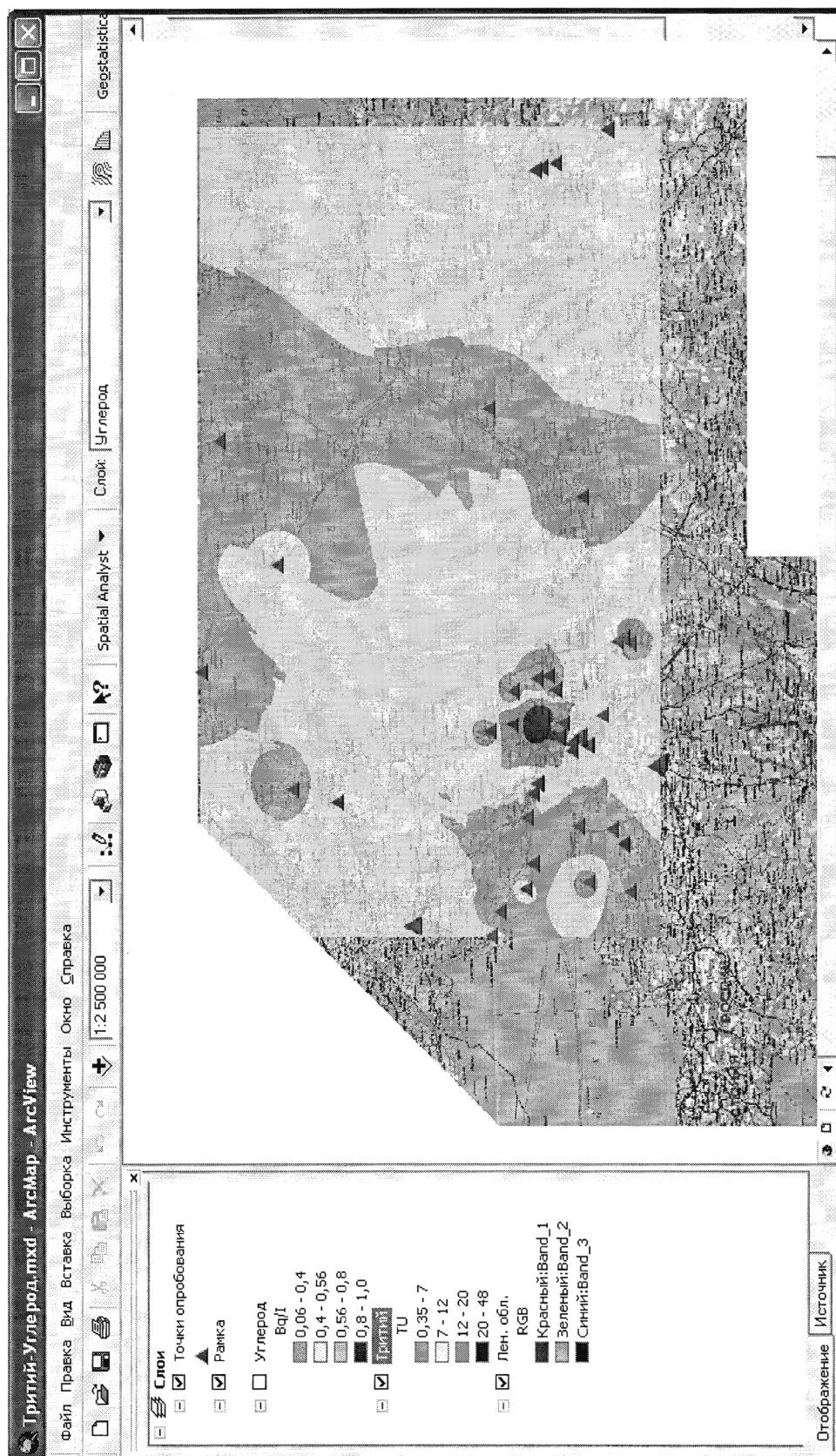


Рис. 1. Окна приложения ArcMap ArcGis с картой распределения содержания трития в поверхностных водах территории бассейна Финского залива

На северо-западе Ленинградской области концентрация трития в поверхностных водах находится на уровне естественных значений 8 — 42 TU [4, с. 94] и в среднем составляет 18 TU. Такой уровень концентрации исследуемого радионуклида не превышает значения предельно допустимой концентрации трития в воде 124 TU [1, с. 55] и не представляет угрозу для здоровья людей.

Тритий в биологических объектах

Путь поступления трития в биологические объекты зависит от формы нахождения трития. Тритиевая вода (НТО) непосредственно и легко поступает в растения как в жидкой форме, так и в виде водяного пара. Газообразный тритий (НТ) не поглощается растительностью из-за его низкой растворимости в воде; он окисляется в НТО в листьях растения или в почве. Тритиевая вода, испаряясь из почвы, может поглощаться листьями растений в виде водяного пара. Все же выделяют два пути поглощения трития растениями: поглощение листьями из атмосферы и поглощение корнями из почвы [8, с. 37].

Концентрация трития в исследованных образцах травы, отобранных в Тихвинском районе, в среднем составляет 166 TU, в образцах насекомых — 176 TU (рис. 2). Среднее содержание трития в образцах травы, отобранной в Пушкинском районе, составляет 198 TU. Различия в значениях концентраций трития в исследованных образцах травы могут быть обусловлены месторасположением точек пробоотбора по отношению к потенциально радиационно опасным объектам Ленинградской области. Тихвинский район располагается на востоке области, находится на значительном удалении от потенциально радиационно опасных объектов. Пушкинский район находится в непосредственной близости от одного из потенциально радиационно опасных объектов — Петербургского института ядерной физики им. Б. П. Константинова (один действующий реактор, хранилища РАО) [2], и путь поступления этого радионуклида в окружающую среду — не только естественный, но и техногенный.

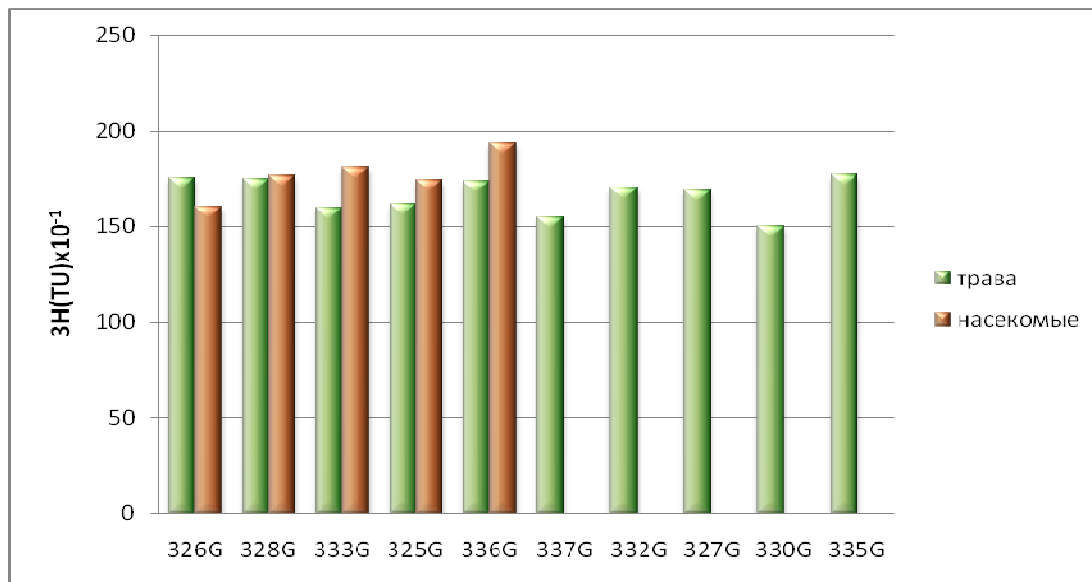


Рис. 2. Концентрация трития в образцах травы и насекомых Тихвинского района Ленинградской области

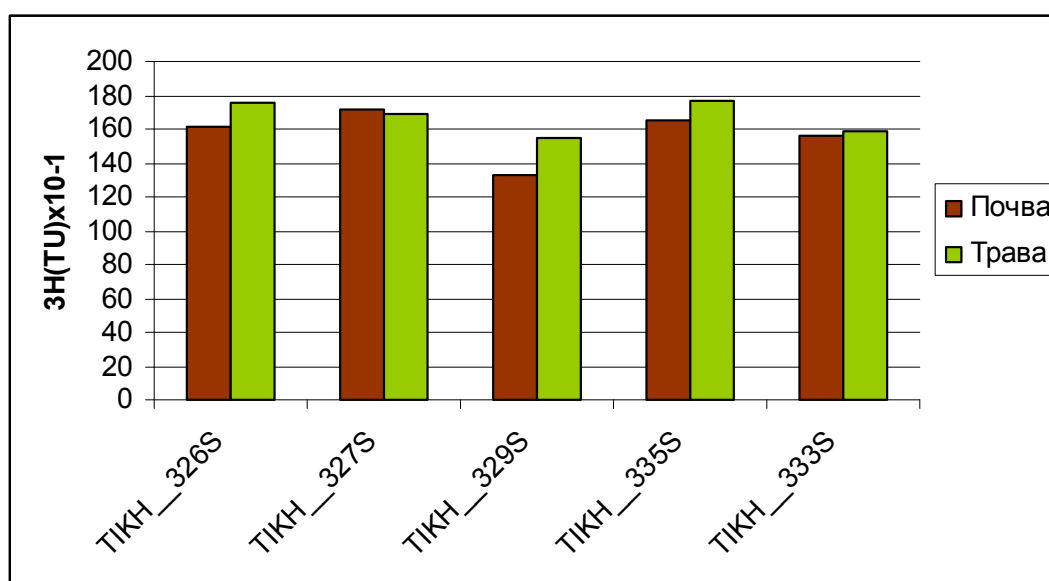


Рис. 3. Концентрация трития в образцах почвы и травы Тихвинского района Ленинградской области

Содержание трития в образцах листвы деревьев в городе Санкт-Петербурге в среднем составляет 163 TU (рис. 4, 5). В образцах, отобранных в Пушкинском районе Санкт-Петербурга, — в среднем составляет 166 TU (рис. 6, 7), отобранных в Василеостровском районе — 159 TU. Повышенное значение трития было зафиксировано в Василеостровском районе в сквере около кинотеатра «Прибой» (Средний проспект — ул. Шевченко — Шкиперский проток), около 174 TU, что превышает значения концентраций в других образцах, отобранных в этом районе (рис. 5). По опубликованным данным, в районе Шкиперского протока в советское время располагался засекреченный институт, испытывавший влияние радиации как оружия. Радиоактивные растворы сливали в спецканализацию, которая выходила в Финский залив и в ямы, которые потом заливали бетоном [3].

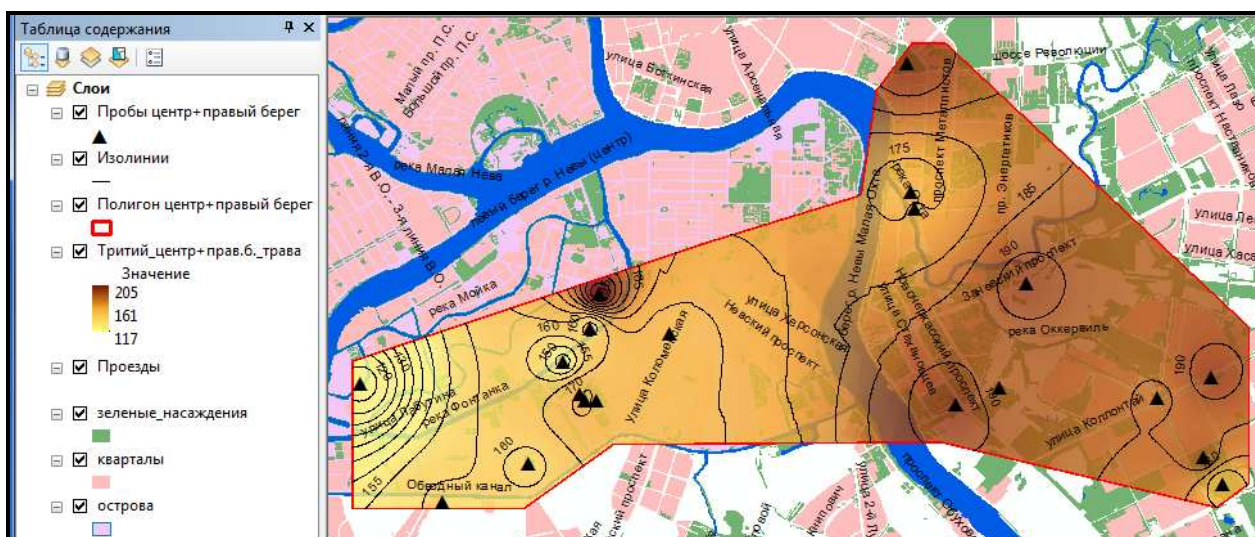


Рис. 4. Картосхема содержания трития в траве. Санкт-Петербург, районы: Центральный, Адмиралтейский, Красногвардейский, Невский

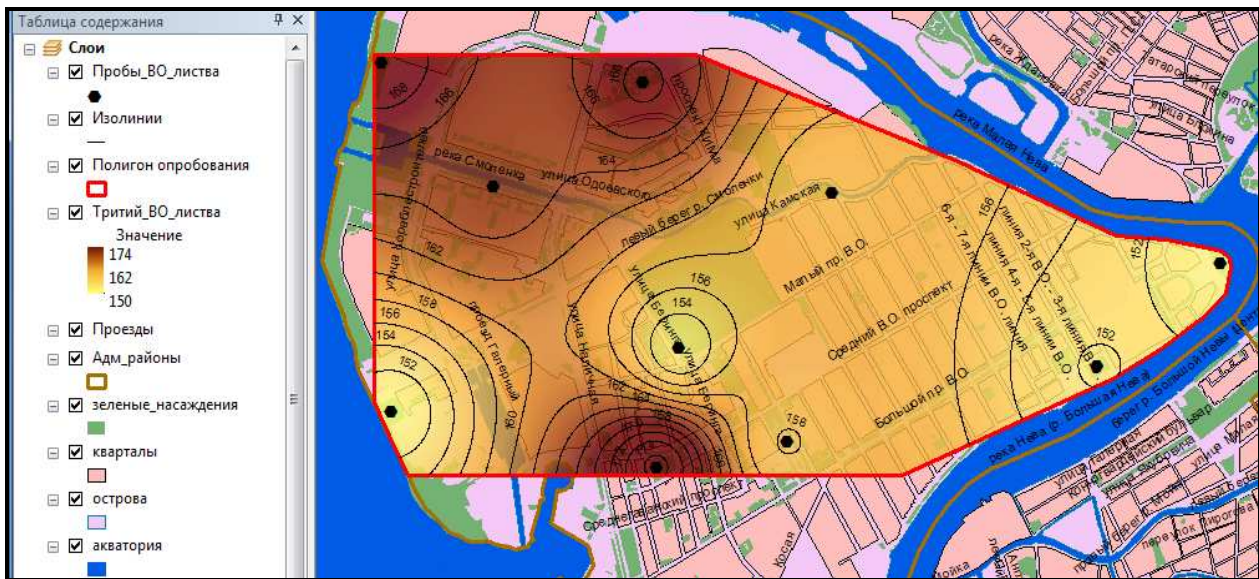


Рис. 5. Картограмма содержания трития в листе. Санкт-Петербург, Василеостровский район

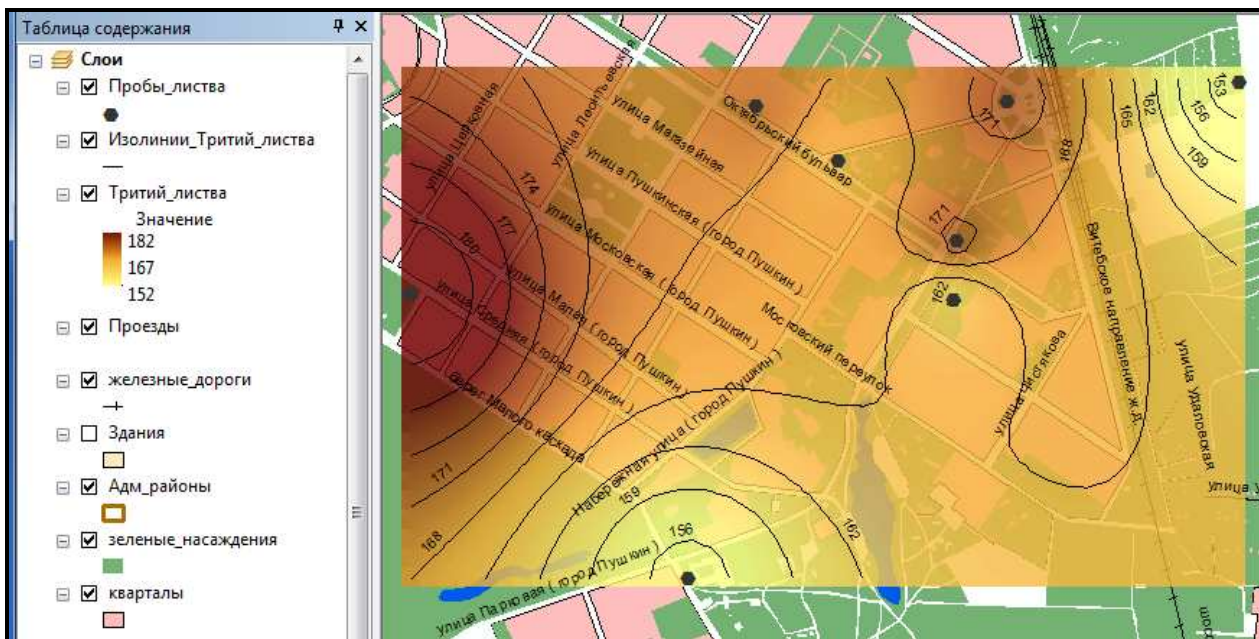


Рис. 6. Картограмма содержания трития в листе, г. Пушкин

Среднее значение концентрации трития для исследованных образцов почвы составляет 157 TU (рис 3). В исследовании французских авторов сообщается, что содержание трития в почве вблизи атомной станции Крей-Молвилль (Creys-Malville) (юго-восток Франции) находится в диапазоне 63–150 TU. Такие значения были обусловлены последствиями общего повышенного фона трития. Другая причина может заключаться в том, что концентрация трития в почвах может быть значительно повышена путем бактериального окисления газообразного трития (HT) в почве [6, с. 108].

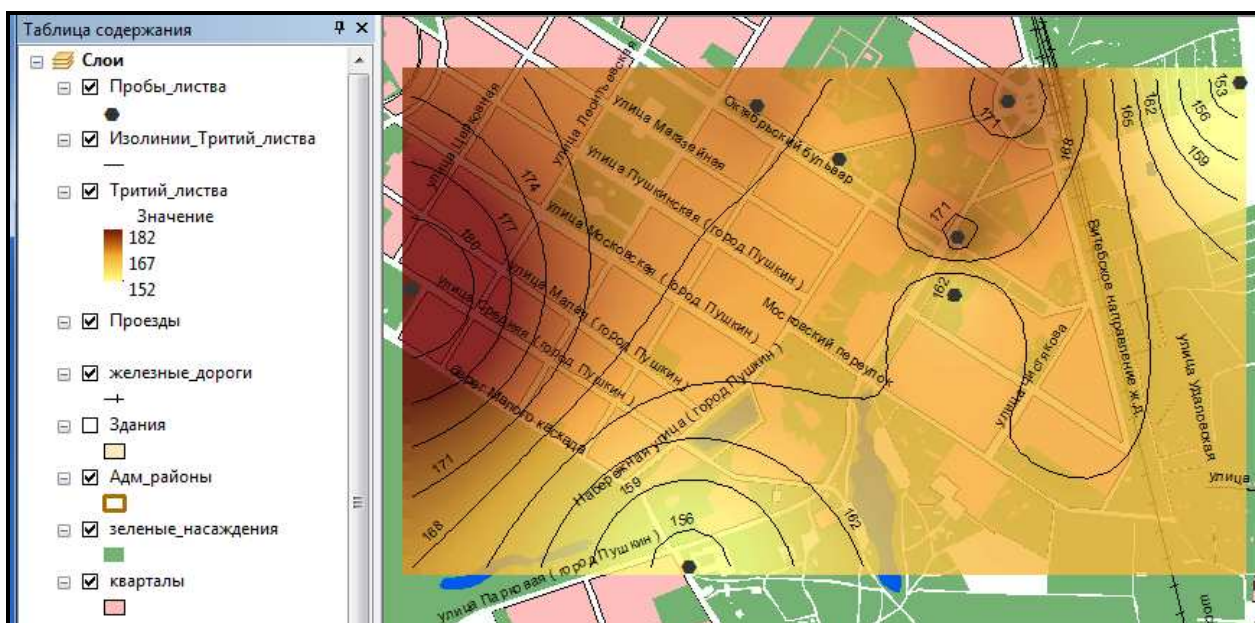


Рис. 7. Картосхема содержания трития в листве, г. Пушкин

Значения концентрации трития в образцах травы, насекомых и почвы, отобранных в одном и том же районе, сопоставимы и составляют 166, 176 и 157 TU соответственно (рис. 2, 3). Тихвинский район находится на значительном расстоянии от потенциально радиационно опасных объектов Ленинградской области и основной источник поступления трития в объекты экосистемы — атмосферные осадки. Перенос трития из почвы в растения, главным образом, связан с поглощением воды корнями растения. Тритиевая вода из почвы движется точно так же, как и обычная вода — через ксилемный сок и в соответствии с градиентом электрохимических потенциалов, который поддерживается испарением воды из листьев. Концентрация трития в растениях сильно зависит от концентрации и распределения трития (в виде НТО) в почве, от типа почвы, от развития корневой системы растения [8, с. 39]. Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о зависимости между содержанием трития в отборах почвы и травы, отобранных в одних и тех же точках. Так, в точке проботбора в районе газонапорной станции, содержание трития в почве ниже по сравнению с другими точками (132 TU). Содержание трития в траве в этой точке также ниже по отношению к другим точкам (154 TU) (рис. 3).

Полученные в ходе исследования значения содержания трития в объектах экосистемы бассейна Финского залива находятся в пределах регионального фона и не вызывают опасности для здоровья людей. Изучение закономерностей распределения содержания трития в элементах экосистемы данного региона на данном этапе исследования свидетельствует о его равномерном распределении между этими элементами, но требует дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справочник / Под ред. Л. А. Ильина, В. А. Филова. Л., 1990. С. 50–57.
2. Ленинградская область. Экологическая карта / С. Ясинский, Т. Денисова. СПб.: Дискусс Медиа, 2007–2008 гг.

3. Интернет-ресурсы www.ecodefense.ru <http://www.cottagespb.ru/ekologiya/chernobyl/>
4. Baeza A., Garcia E., Miro C. A procedure for the determination of very low activity levels of tritium in water samples. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 241. № 1. 1999. P. 93–100.
5. Radioactivity of the Baltic Sea, 1999–2006. HELCOM Thematic Assessment. Baltic Sea Environment Proc.: Publ. HELCOM. 2009. № 117.
6. The distribution of tritium in the terrestrial and aquatic environments of the Creys-Malville nuclear power plant (2002–2005) P. Jean-Baptiste, D. Baumier, E. Fourre', A. Dapoigny, B. Clavel Journal of Environmental Radioactivity 94 (2007). P. 107–118.
7. Distribution of tritium in estuarine waters: the role of organic matter A. Turner, G.E. Millward, M. Stemp. Journal of Environmental Radioactivity 100 (2009). P. 890–895.
8. Tritium in plants: A review of current knowledge / C. Boyer, L. Vichot, M. Fromm, Y. Losset, F. Tatin-Froux, P. Guйтat, P.M. Badot Environmental and Experimental Botany 67 (2009) 34–51.

REFERENCES

1. Vrednye himicheskie vewestva. Radioaktivnye vewestva: Spravochnik / Pod red. L. A. Il'ina, V. A. Filova. L., 1990. S. 50–57.
2. Leningradsckaja oblast': Ekologicheskaja karta. S. Jasinskij, T. Denisova. SPb.: Diskuss Media, 2007–2008 gg.
3. Internet-resursy www.ecodefense.ru <http://www.cottagespb.ru/ekologiya/chernobyl/>
4. Baeza A., Garcia E., Miro C. A procedure for the determination of very low activity levels of tritium in water samples // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 241. № 1. 1999. P. 93–100.
5. Radioactivity of the Baltic Sea, 1999–2006. HELCOM Thematic Assessment. Baltic Sea Environment Proc.: Publ. HELCOM. 2009. № 117.
6. The distribution of tritium in the terrestrial and aquatic environments of the Creys-Malville nuclear power plant (2002–005) P. Jean-Baptiste, D. Baumier, E. Fourre', A. Dapoigny, B. Clavel Journal of Environmental Radioactivity 94 (2007). P. 107–118.
7. Distribution of tritium in estuarine waters: the role of organic matter A. Turner, G. E. Millward, M. Stemp. Journal of Environmental Radioactivity 100 (2009). P. 890–895.
8. Tritium in plants: A review of current knowledge C. Boyer, L. Vichot, M. Fromm, Y. Losset, F. Tatin-Froux, P. Guйтat, P.M. Badot Environmental and Experimental Botany 67 (2009) 34–51.

А. В. Есенина, А. О. Бринкен

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

[Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития
РГПУ им. А. И. Герцена на 2012–2016 годы (мероприятие 2.3.1)].

*Среднетриасовые отложения всей территории Тимано-Печорской провинции содержат большое количество макроостатков растений, представленных двумя комплексами, принадлежащими к разнофациальным провинциям. На границе раннего и среднего триаса произошла коренная перестройка палеофлор. В раннем периоде и в первой половине среднего триаса на территории провинции была распространена ксерофитная флора, представляющая собой комплекс 1. К нему относятся остатки плауновых из родов *Tomiostrabus*. С середины среднего триаса начался второй этап перестройки триасовой флоры, произошли значительные изменения, связанные с увлажнением климата. Создавались благоприятные условия для миграции отдельных таксонов и целых растительных ассоциаций влаголюбивой растительности из смежных территорий. Все это привело к развитию растений цитофиллового комплекса 2, представленного семенными папоротниками, главным образом отпечатками листьев и фитолеймами родов *Scyto-**