

УДК 504.054

## РЕКОНСТРУКЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СТРАТИФИЦИРОВАННЫМ ПРИРОДНЫМ ОБРАЗОВАНИЯМ

Л.П. Рихванов, Ю.Л. Замятина, А.М. Межибор, Т.А. Архангельская, А.Ю. Иванов

Томский политехнический университет  
E-mail: rikhvanov@tpu.ru

*При исследовании классических стратифицированных природных объектов (годовых колец деревьев, торфа, донных отложений водных объектов) на территории Томской области получены данные о динамике накопления радионуклидов за последние 70 лет, позволяющие реконструировать радиационную обстановку на изучаемой территории.*

### **Ключевые слова:**

*Радиоактивные элементы, уран, плутоний, радиоактивный цезий, торф, годовые кольца деревьев, донные отложения, f-радиография.*

### **Key words:**

*Radioactive elements, uranium, thorium, plutonium, radioactive cesium, peat deposits, annual tree rings, lake sediments, f-radiography.*

### **Введение**

Интерес к ретроспективным исследованиям радиационной ситуации обусловлен, главным образом, необходимостью изучения уровня и последствий техногенного радиоактивного воздействия на окружающую среду, которое сформировалось в результате многолетней активной деятельности человека. В настоящее время существует ограниченное число возможностей осуществления ретроспективных исследований радиационной обстановки территории. Одно из перспективных направлений – это использование стратифицированных природных образований (годовых колец деревьев, торфяников, донных отложений водных объектов и др.), которые последовательно образуются во времени и отражают изменения геохимического состава биосферы, включая многолетнюю динамику поступления радиоактивных веществ в окружающую среду. Это позволяет использовать их в качестве индикаторов техногенного воздействия, в том числе радиационного, на окружающую среду.

Исследование элементного состава стратифицированных образований с использованием современных методов анализа позволит получить достоверную информацию о многолетнем накоплении радионуклидов в объектах окружающей человека

среды, тем самым осуществить реконструкцию динамики радиационной обстановки, что, в свою очередь, позволит прогнозировать состояние здоровья населения, проживающего в районах с различной радиационной нагрузкой.

В представленной работе проводилось изучение динамики накопления радионуклидов в классических стратифицированных природных образованиях – годовых кольцах деревьев, торфе, донных отложениях на территории Томской области с применением современных высокочувствительных аналитических методов.

Основными источниками поступления радионуклидов в окружающую среду на территории Томской области являются глобальные выпадения радионуклидов в результате прошлых испытаний ядерного оружия и деятельность предприятия ядерно-топливного цикла – Сибирского химического комбината (СХК), г. Северск [1].

### **Методика исследований**

Для проведения исследований были отобраны образцы древесины (сосны), верхового торфа, донных отложений озер на участках с разной степенью природно-техногенной трансформации, это зона влияния СХК и условно-фоновые участки (в западном, южном и юго-западном направлении

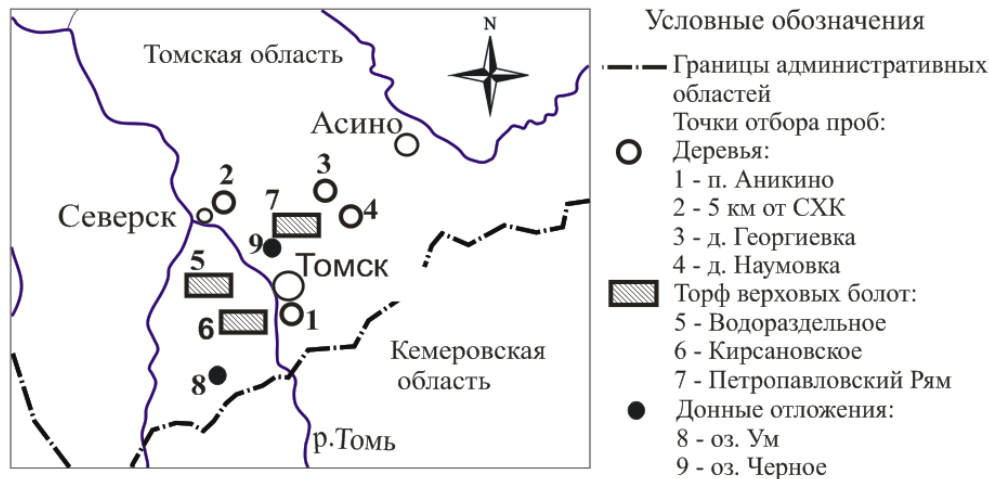


Рис 1. Схема расположения точек отбора образцов

от г. Томска). Точки отбора образцов древесины, торфа, донных отложений показаны на рис. 1.

Для изучения элементного состава стратифицированных образований использовались современные высокочувствительные инструментальные методы анализа: нейтронно-активационный,  $f$ -радиографический, гамма-спектрометрический, которые позволяют получить достаточно полную информацию как о количественном содержании радионуклидов в исследуемых объектах, так и о формах их нахождения.

$F$ -радиографический анализ применялся для определения концентрации и форм нахождения делящихся радионуклидов ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) в годичных кольцах и торфе. Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) использовался для количественного определения  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в пробах торфа и донных отложений. Сведения о физических и методических основах реализации данных анализов приведены в ранее опубликованных работах [2–4]. Анализы выполнялись в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская). Гамма-спектрометрический анализ использовался для определения  $^{137}\text{Cs}$  в пробах торфа и проводился в Лаборатории Института Поля Ширера, г. Виллеген, Швейцария (аналитик Йорк Экенберг). Предел обнаружения радиоактивного цезия – 0,01 Бк/г. Описание методики представлено в работе [5].

Для того чтобы выделить техногенную составляющую радиоактивного загрязнения окружающей среды на любой территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению, необходимо знать фоновое содержание радионуклидов в объектах окружающей среды, характерное для этой территории. В данной работе под фоновым содержанием радионуклидов в годичных кольцах, торфе и донных отложениях будет подразумеваться средний уровень их накопления в результате глобального радиоактивного загрязнения на условно фоновых

участках Томской области, которые являются свободными от влияния локальных источников техногенного радиоактивного загрязнения (или их влиянием можно пренебречь) и характеризуются как территории с благополучной радиационной обстановкой.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Фоновое содержание делящихся радионуклидов ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) в годичных кольцах определялось при изучении древесины сосны, которая была отобрана вблизи п. Аникино, рис. 2.

По результатам проведенных исследований был установлен характер распределения треклов от осколков деления делящихся радионуклидов в годичных кольцах дерева с 1954 по 2000 гг., который отражает динамику поступления делящихся радионуклидов в древесину на изучаемой территории. Общий анализ данных показывает, что динамика накопления делящихся радионуклидов в годичных кольцах равномерная в течение всего периода, каких либо аномальных превышений не выявлено. По плотности треклов от осколков деления среднее содержание изучаемых элементов по всем годичным кольцам данного образца оценивается как 50 треклов/мм<sup>2</sup>, что, в пересчете на количественное содержание, составляет 0,06 мг/кг. Полученное значение будет рассматриваться как фоновое содержание делящихся радионуклидов в древесине для юга Томской области.

Фоновое содержание радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в верховом торфе определялось при исследовании верховых торфяных болот – Кирсановское и Водораздельное. На рис. 3 показано распределение радионуклидов в вертикальном профиле верховых болот Водораздельное и Кирсановское соответственно. Средние содержания радиоактивных элементов за последние сто лет, оцененные для данных сечений торфа, составляют 0,42 и 0,22 мг/кг для урана и 0,29 и 0,38 мг/кг для тория соответственно. Данные значения не превышают, либо немного превышают средние содержания урана

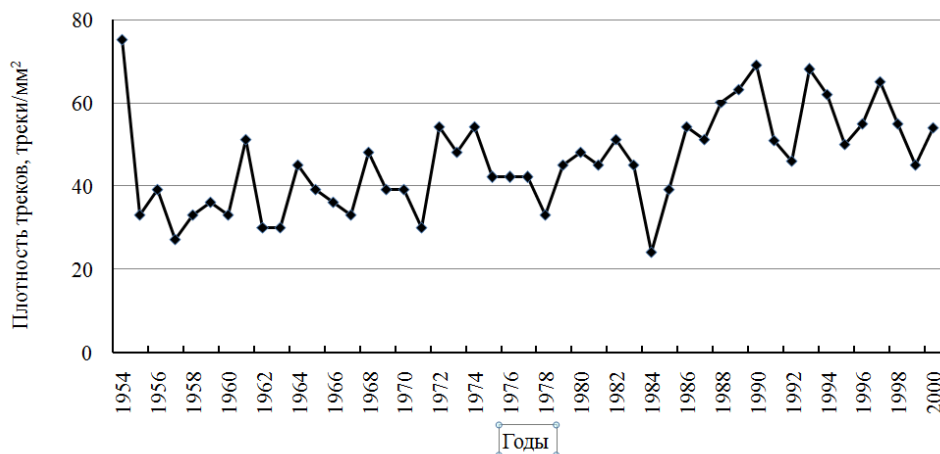


Рис. 2. Распределение делящихся радионуклидов по годичным кольцам сосны, п. Аникино, Томская область

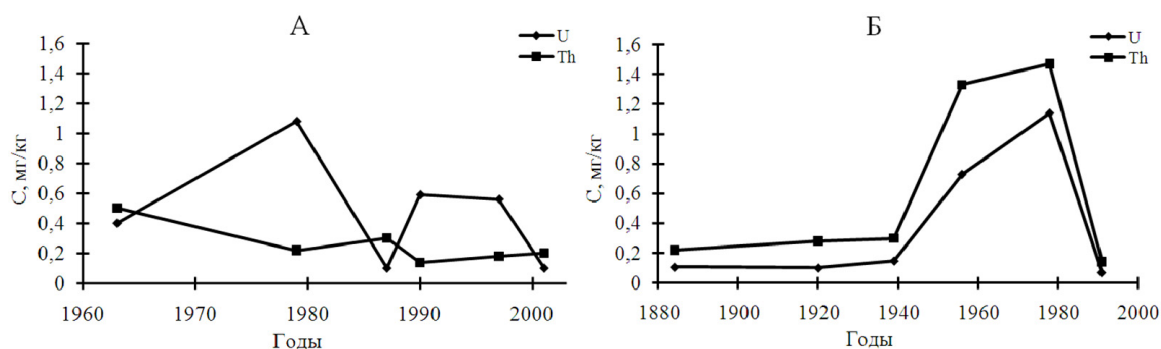


Рис. 3. Фоновые содержания урана и тория в вертикальном разрезе верхового торфа болот Водораздельное (А) и Кирсановское (Б)

и тория для верховых торфов Томской области [3]. Из графиков распределения радионуклидов в сечениях верхового торфа видно, что содержания рассматриваемых элементов увеличились с начала 60-х гг. XX столетия. По сравнению с распределением делящихся элементов в годовых кольцах деревьев фоновых участков, фоновое распределение радиоактивных элементов в верховых торфах неравномерное.

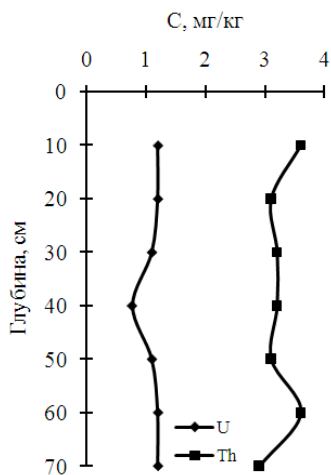


Рис. 4. Содержания урана и тория в профиле донных отложений оз. Ум

Фоновое содержание радиоактивных элементов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в донных отложениях были определены для озера Ум, расположенного к юго-западу от г. Томска, рис. 1. Согласно полученным данным, радиоактивные элементы относительно равномерно распределены вдоль профиля донных отложений, рис. 4.

Рассмотрим характер накопления радиоактивных элементов в изучаемых стратифицированных образованиях, отобранных в зоне влияния Сибирского химического комбината (СХК).

Картина накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах, полученная по результатам  $f$ -радиографического анализа древесины, показана на рис. 5.

Установленный характер накопления делящихся элементов в годовых кольцах деревьев, расположенных в разных секторах воздействия СХК (д. Наумовка, д. Георгиевка, участок в пяти километрах от СХК), крайне неоднородный. Отмечается устойчивая тенденция увеличения плотности треков в период с 1963 и до 1997 гг., что свидетельствует о постоянном поступлении делящихся радионуклидов в окружающую среду и принципиально отличает динамику их накопления по сравнению с фоновыми районами (п. Аникино). Таким образом, в секторе постоянного влияния СХК (д. Наумовка, д. Георгиевка, участок в пяти кило-

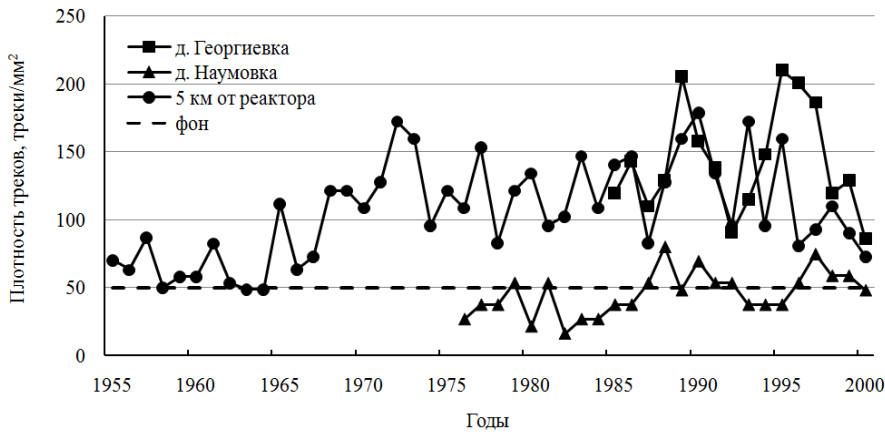


Рис. 5. Распределение делящихся радионуклидов по годичным кольцам сосен из разных секторов влияния Сибирского химического комбината (СХК), Томская область

метрах от СХК), концентрация делящихся радионуклидов, судя по плотности треков от осколков деления, увеличена относительно фонового уровня, в среднем, в 3...4 раза.

В годичных кольцах, соответствующих периоду 1975–1995 гг., характер распределения треков по площади колец крайне неравномерный, присутствуют скопления треков с высокой плотностью, что свидетельствует о поступлении в древесину повышенных концентраций делящихся радионуклидов в этот период. Данный факт, на наш взгляд, объясняется тем, что, начиная с 1961 г., на СХК начинают работать на полную мощность все пять промышленных реакторов по производству плутония, а также все другие производства ядерно-топливного цикла, что приводит к хроническому поступлению повышенных концентраций делящихся радионуклидов в природную среду.

Результаты *f*-радиографического исследования верхового торфа (болото Петропавловский Рям) показывают особенности накопления делящихся радионуклидов в торфе в разные периоды времени, табл. 1.

Таблица 1. Содержание делящихся радионуклидов в торфе верхового болота Петропавловский Рям (зона влияния СХК) по результатам *f*-радиографии

Год	Совокупность делящихся радионуклидов ( $^{235}\text{U}$ , $^{239+240}\text{Pu}$ , $^{241}\text{Am}$ ), мг/кг
1940	0,26
1963	0,91
1985	0,88
1993	0,71

Проведенное исследование является первым исследованием торфа с применением метода *f*-радиографии. Согласно полученным данным, максимум делящихся радионуклидов приходится на начало 60-х гг. XX в. Затем концентрация делящихся радионуклидов снизилась, но не достигла величины, характерной для фонового «доядерного периода» (до 1945 г.), когда в окружающей среде делящиеся радионуклиды были представлены только

$^{235}\text{U}$ , а трансурановые элементы (плутоний, америций) отсутствовали.

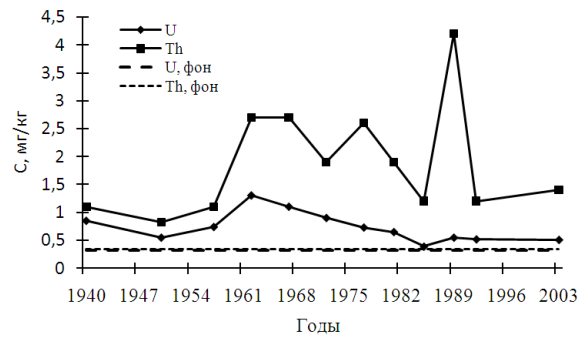


Рис. 6. Накопление урана и тория в торфе верхового болота Петропавловский Рям, зона влияния СХК

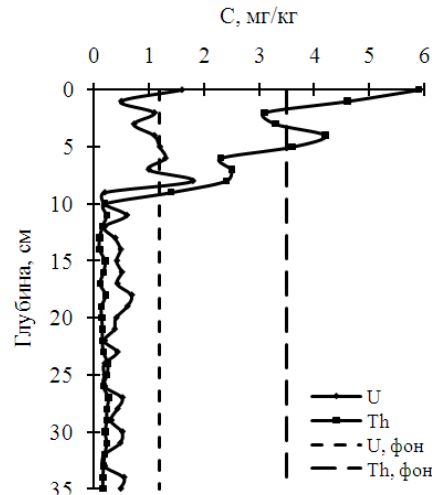


Рис. 7. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  в торфе верхового болота Петропавловский Рям, зона влияния СХК. В качестве фона использованы данные по болоту Кирсановское [6]

Содержания таких радионуклидов, как  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в торфяном профиле болота Петропавловский Рям также увеличились в окружающей среде с середины XX столетия, рис. 6, 7. Представленные рисунки хорошо отражают загрязнение окружающей среды радиоактивными элементами

со времени запуска СХК в 1954 г. Поступление тория и цезия в окружающую среду резко увеличилось с 1955 г. Для этих элементов отмечаются пики, характерные для начала-середины 60-х, 70-х и начала 90-х гг. Для урана характерно увеличение содержания в начале 60-х гг., затем его содержание снижается, и распределение относительно равномерное.

В вертикальном распределении концентраций радионуклидов в разрезе донных отложений оз. Черное отмечается резкое увеличение содержания урана и тория, начиная с глубины 7...10 см. Отчетливая смена геохимической обстановки возможно совпадает с началом промышленной перестройки г. Томска и строительства СХК в 1950–1960 гг. прошлого столетия, рис. 8.

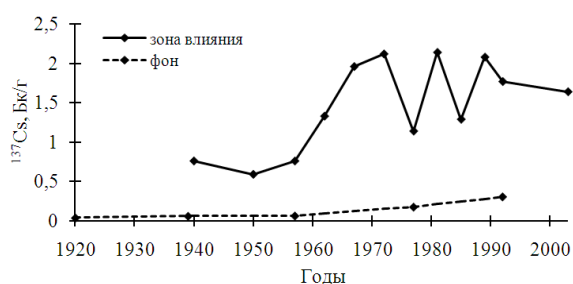


Рис. 8. Накопление радиоактивных элементов в донных отложениях оз. Черное, зона влияния СХК

Таким образом, полученные экспериментальные данные по временной динамике накопления радионуклидов в изученных образцах годовых колец деревьев, торфа, донных отложений в зоне влияния СХК свидетельствуют о повышенном поступлении радионуклидов в окружающую среду в период с середины 50-х гг. прошлого столетия и сохранении повышенных концентраций радионуклидов относительно фоновых уровней по настоящее время.

В обобщенном виде, средние содержания радионуклидов, накопленных в годовых кольцах, торфе и донных отложениях за последнее столетие, представлены в табл. 2.

Как видно из таблицы, в зоне воздействия СХК в стратифицированных образованиях наблюдается

превышение средних фоновых содержаний по всем изученным радионуклидам.

Таблица 2. Средние содержания радионуклидов в стратифицированных образованиях юга Томской области

Радионуклиды	Стратифицированные образования	Фон (юг Томской области)	Зона воздействия СХК
Совокупность делящихся радионуклидов ( <sup>235</sup> U, <sup>239+240</sup> Pu, <sup>241</sup> Am), мг/кг (f-радиография)	Годовые кольца деревьев	0,06	1,8...2,4
	Торф	–	0,67
<sup>238</sup> U, мг/кг (ИНАА)	Торф	0,42 (0,38 [6])	0,71
	Донные отложения	1,1	3,2
<sup>232</sup> Th, мг/кг (ИНАА)	Торф	0,29 (0,62 [6])	1,8
	Донные отложения	1	3,1
<sup>137</sup> Cs, Бк/кг (гамма-спектрометрия)	Торф	0,12 [6]	1,4

### Выводы

Комплексом ядерно-физических методов исследований получены данные о динамике накопления радионуклидов за последние 70 лет в стратифицированных природных объектах-индикаторах загрязнения окружающей среды (годовые кольца деревьев, торф, донные отложения водных объектов) в южных районах Томской области. Оценены средние концентрации группы радионуклидов в стратифицированных объектах на условно фоновых территориях: 0,06 мг/кг – для делящихся радионуклидов в древесине; 0,42 и 1,1 мг/кг – <sup>238</sup>U в торфе и донных отложениях; 0,29 и 1 мг/кг <sup>232</sup>Th в торфе и донных отложениях; 0,12 мг/кг – <sup>137</sup>Cs в торфе. В зоне воздействия Сибирского химического комбината определены средние содержания радионуклидов в годовых кольцах деревьев (1,8...2,4 мг/кг – делящиеся радионуклиды), торфе (0,71, 1,8, 1,4 мг/кг – <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs), донных отложениях (3,2 и 3,1 мг/кг – <sup>238</sup>U и <sup>232</sup>Th) и выделены временные периоды их максимального поступления в окружающую среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2009 году / под ред. А.М. Адама. – Томск: Изд-во «Оптимум», 2010. – 164 с.
2. Архангельская Т.А. Ретроспективная оценка радиоэкологической ситуации по результатам изучения годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2004. – 21 с.
3. Замятина Ю.Л. Изучение истории поступления радионуклидов в окружающую среду на основе F-радиографического анализа годовых колец деревьев (на примере Красноярского края и Центральной Европы): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2008. – 25 с.
4. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2009. – 22 с.
5. Gauthier-Lafaye F., Pourcelot L., Eikenberg J., Beer H., Le Roux G., Rikhvanov L.P., Stille P., Renaud Ph., Mezhibor A. Radioisotope contaminations from releases of the Tomsk–Seversk nuclear facility (Siberia, Russia) // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – № 99. – P. 680–693.
6. Гавшин В. М., Сухоруков Ф.В. и др. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Геохимия. – 2003. – № 12. – С. 1337–1344.

Поступила 10.03.2011 г.