

УДК 502.7

Комплексный подход к анализу состояния окружающей среды

Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко*

*Институт химии нефти СО РАН
634021, г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 13.01.2014 г.

Предложен комплексный подход к получению ретроспективной информации о радиоактивном загрязнении территорий для организации радиоэкологического мониторинга окружающей среды. Разработанный подход применен для анализа воздействия крупного предприятия ядерного цикла на состояние окружающей среды с использованием данных дендрохроноиндикации и статистического метода главных компонент (МГК). Метод дендрохроноиндикации позволяет получать ретроспективную информацию о поступлении и аккумуляции радиоактивных и других веществ в годичные кольца деревьев. Статистическая обработка полученных массивов многомерных ретроспективных данных проведена с использованием МГК. Показано, что предложенный подход позволяет выявлять случившиеся в прошлом аварийные выбросы на предприятиях ядерного цикла и обоснованно выбирать пункты контроля для организации радиоэкологического мониторинга в зонах воздействия предприятий атомной промышленности.

Ключевые слова: комплексный подход, радиоактивное загрязнение, радиоэкологический мониторинг, дендрохроноиндикация, метод главных компонент, геоинформационные системы; complex approach, radioactive pollution, radioecological monitoring, dendrochronoincication, principal component method, geoinformation systems.

Мониторинговые исследования природной среды становятся в последние десятилетия важным средством по оценке ее изменения [1–3]. При этом большое значение приобретают не только определение уровня накопления химических элементов в различных природных объектах и выяснение характера их распространения по площади, но и динамика накопления этих элементов в течение определенного периода. В настоящее время источниками непосредственного радиационного загрязнения регионов являются предприятия ядерного цикла, от деятельности которых страдают не только близлежащие территории, но и территории удаленных регионов из-за трансграничного переноса.

Объектом анализа мы выбрали вещество годичных колец деревьев, произрастающих в зонах воздействия Сибирского химического комбината (СХК) Томской области и Чернобыльской атомной электростанции в Украине (ЧАЭС).

Известно [4], что в апреле 1993 г. в результате аварии на СХК образовалась зона радиоактивного загрязнения местности, протянувшаяся в северо-восточном направлении до нескольких десятков километров. В таблице приведено описание объектов исследования.

На рис. 1 показаны два направления отбора объектов. Направление А соответствует направлению радиоактивного выброса во время аварии на СХК

Объекты исследования

Радио- угле- род	Номер места отбора проб	Место отбора
	2	29-й км дороги Томск–Самусь
3	8-й км Шегарского тракта	
7 (фон)	Вершининское лесничество	
Три- тий	1	20-й км дороги Томск–Самусь
	4	4-й км северо-восточнее д. Георгиевка
	5	д. Наумовка
6 (фон)	пос. Аникино	

в апреле 1993 г. Направление Б – направлению на фоновые территории, на которых, согласно [4], не отмечено существенное воздействие СХК как в аварийных ситуациях, так и в условиях безаварийной работы.

Другой исследуемой нами территорией послужила зона влияния аварии на ЧАЭС. Известно [1], что 26 апреля 1986 г. на 4-м энергоблоке ЧАЭС произошла крупнейшая авария с выбросом в окружающую среду огромного количества радионуклидов.

В качестве индикатора загрязнения окружающей среды, в том числе специфического – радиоактивного, выбраны годичные кольца деревьев [5]. Изучение уровня накопления радионуклидов в срезах деревьев позволяет судить о радиоэкологической оценке территории и о характере воздействия глобальных и локальных выпадений радионуклидов на территорию конкретного региона за определенный промежуток времени. Это особенно важно для выявления источника поступления радионуклидов в окружающую

* Татьяна Олеговна Перемитина (peremitinat@mail.ru, pto@ipc.tsc.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

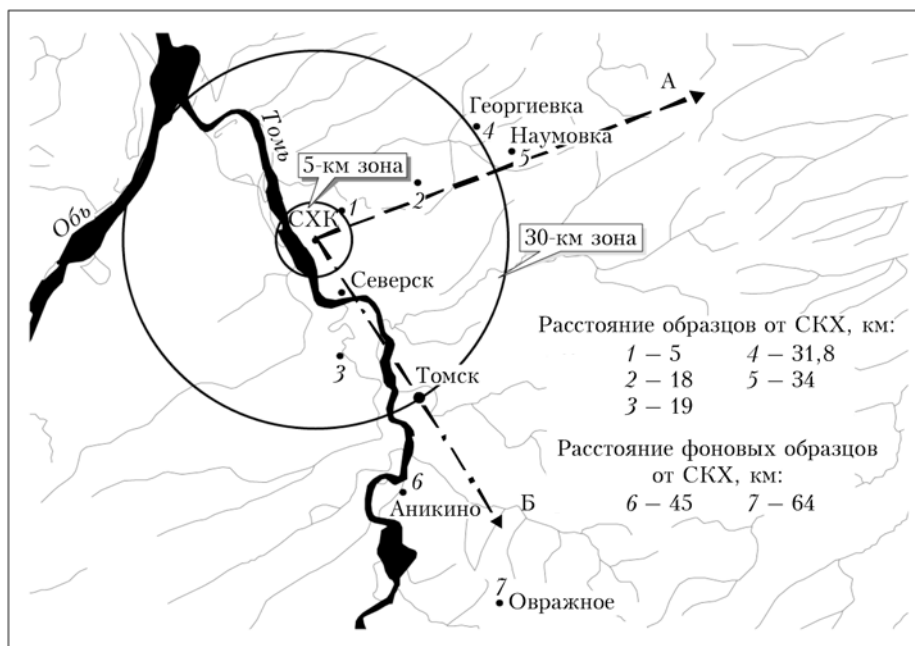


Рис. 1. Места отбора образцов исследования

среду. Метод дендрохроноиндикации позволяет устанавливать зависимость характеристик годичных колец деревьев от факторов внешней среды и получать на этой основе ретроспективную информацию о процессах и явлениях [5].

Применение данной методики дендрохроноиндикации позволило получить:

1) ретроспективные данные за 30-летний период (с 1966 по 1996 г.) о содержании радионуклидов и различных химических элементов в годичных кольцах сосны из зоны влияния ЧАЭС. Определялось содержание следующих химических элементов: К, Са, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, Sm, W, Hg, Pb, Bi, Th, U. В результате был получен многомерный массив данных, содержащий 30 строк (годичные кольца) и 31 столбец (химические элементы);

2) ретроспективные данные за 40-летний период об удельной активности радиоуглерода и трития в годичных кольцах четырех деревьев, произрастающих в зоне воздействия СХК. Полученные массивы данных содержат 40 строк (годичные кольца) и 8 столбцов об удельной активности радиоуглерода и трития для четырех деревьев.

Данные дендрохроноиндикации представлены в виде многомерных массивов, в связи с чем возникает потребность в сжатии информации. Одним из перспективных можно считать подход к редукции, основанный на методе главных компонент (МГК), который позволяет существенно сокращать размерность массива данных и описывать объекты меньшим числом обобщенных показателей, называемых главными компонентами [6]. В данной работе результаты МГК-анализа отображаются с применением процедуры, основанной на представлении среднего значения и до-

верительной области для каждой группы объектов в пространстве двух главных компонент.

Анализ МГК данных дендрохроноиндикации о концентрации трития в годичных кольцах сосен в зоне СХК выявил, что первая главная компонента $F1$ описывает 99,98% общей дисперсии. На рис. 2, а приведены средние значения и доверительные области для $F1$ и $F2$, определенные для четырех деревьев (в 5 км от СХК, пос. Аникино, д. Георгиевка, д. Наумовка), обозначения образцов даны на рис. 1. Результаты анализа демонстрируют, что максимальная активность трития за весь 40-летний период оказалась у сосны, находящейся на расстоянии 5 км от реакторов СХК. Меньшее количество трития накопили деревья в районах деревень Георгиевка и Наумовка, а дерево на окраине пос. Аникино (фоновый участок за пределами 30-км зоны) показывает значительно меньшую активность трития, чем в предыдущих случаях. Анализ данных дендрохроноиндикации о концентрации радиоуглерода в годичных кольцах деревьев из 30-км зоны СХК выявил, что наибольшее значение $F1$ по концентрации радиоуглерода в годичных кольцах имеет дерево, произрастающее на загрязненной в результате аварии 1993 г. территории.

Рассмотрим результаты анализа данных дендрохроноиндикации о содержании различных радионуклидов и химических элементов в годичных кольцах сосны из зоны влияния Чернобыльской АЭС с применением МГК. Результаты анализа в пространстве двух первых главных компонент (рис. 2, б) показали значительное отличие данных, относящихся к 1986 и 1987 гг., по величине первой главной компоненты $F1$, описывающей 82% от общей дисперсии. В проведенных исследованиях полученные модели МГК предназначены не для прогнозирования или классификации, поэтому важен суммарный вклад

$F1$ и $F2$ в суммарную дисперсию и модель не нуждается в валидации [6].

Для валидации полученных результатов проведен анализ изменений во времени значений первой главной компоненты для деревьев из зоны влияния СХК.

На рис. 3 приведены графики временной зависимости $F1$, рассчитанной по данным дендрохроноиндикации о содержании трития в четырех деревьях, находящихся на разном удалении от СХК. Как видно из рис. 3, *а*, *в* и *г*, значение $F1$, относящееся к аварийному 1993 г., четко выделяется. На рис. 3, *б* (фоновое дерево из пос. Аникино) значение $F1$ для

1993 г. практически не выделяется, что может служить подтверждением правильности выбора фоновой территории в районе пос. Аникино.

Действительно, авария на СХК в апреле 1993 г. была официально зарегистрирована [1, 4]. Информация о предшествующих авариях на СХК, насколько нам известно, не была доступна общественности. Как видно из рис. 3, *а*, в период между 1980 и 1990 гг. можно предполагать, по крайней мере, не менее двух заметных аварийных ситуаций, что подтверждает и рис. 3, *в*. Таким образом, полученные результаты совпадают с выводами ряда исследований в данной проблемной области [7, 8]. Следовательно, совместное

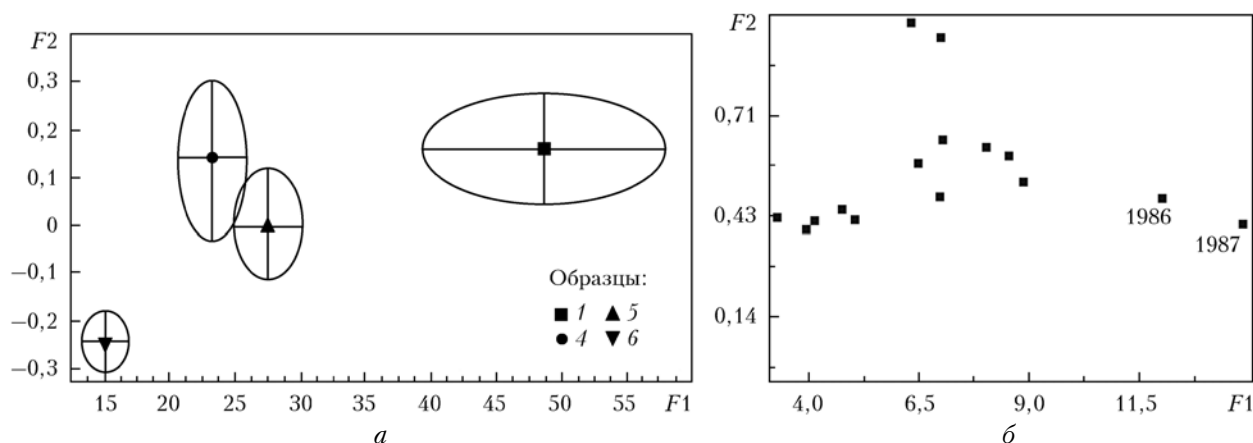


Рис. 2. Результаты МГК-анализа данных дендрохроноиндикации: *а* – содержание трития для сосен из зон воздействия СХК; *б* – содержание радионуклидов и химических элементов для сосны из зоны воздействия ЧАЭС

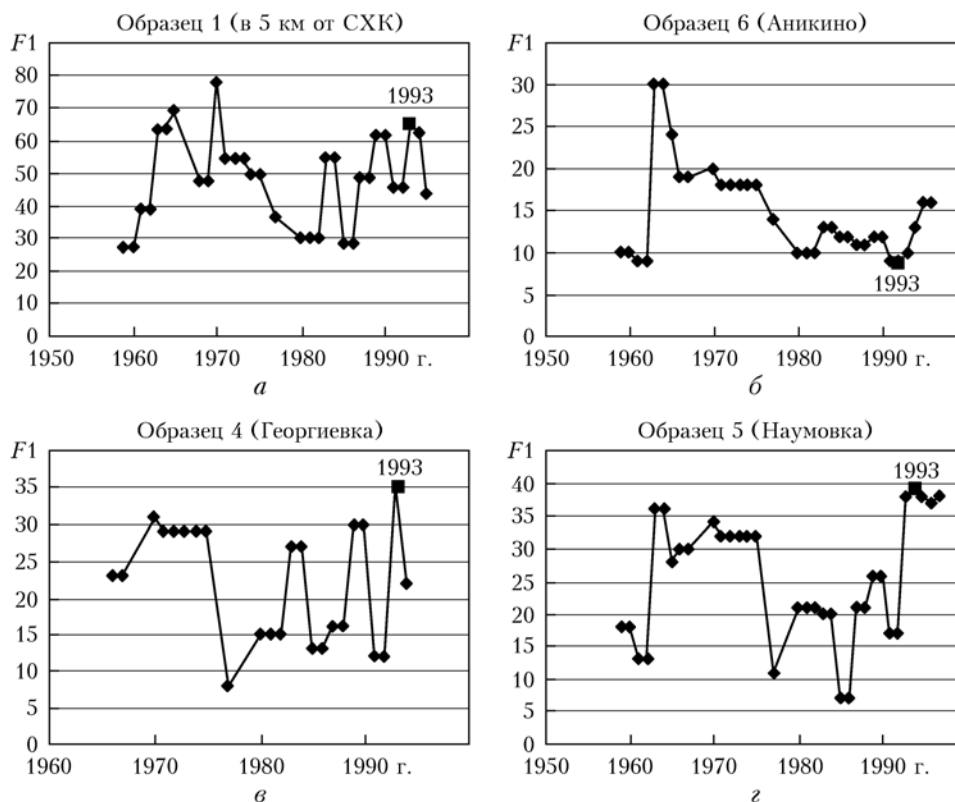


Рис. 3. Временная зависимость первой главной компоненты для деревьев из зоны влияния СХК

применение методики дендрохроноиндикации и МГК-анализа является эффективным подходом к обнаружению аварийных радиационных выбросов, который может быть использован для определения аварийных ситуаций на ядерных объектах.

Полученные результаты анализа показывают, что предложенный подход к получению ретроспективных данных для организации радиационного мониторинга с применением метода дендрохроноиндикации и метода главных компонент позволяет выявлять произошедшие в прошлом аварийные выбросы на предприятиях ядерного цикла, проследить временной ход поступления радионуклидов и химических веществ в древесину годичных колец деревьев и в окружающую среду в целом. Разработанный подход можно использовать для организации экологического мониторинга радиационного загрязнения территорий, а также в задачах управления радиоэкологическим состоянием территорий.

1. Булатов В.И. Россия радиоактивная. Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. 269 с.
2. Зуев В.В., Бондаренко С.Л., Зуева Н.Е., Силкин П.П., Шапкин А.В., Золотарев К.В., Шапоренко А.В. Ком-

плексные исследования значимых откликов в годичных кольцах хвойных деревьев на воздействие солнечной УФ-В-радиации // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 438–442.

3. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Особенности создания генерализированных хронологий общего содержания озона на основе их реконструкции из дендрохронологических данных // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 4. С. 340–344.
4. Состояние окружающей среды и здоровье населения в зоне влияния Сибирского химического комбината: Аналитический обзор. Томск: Госкомитет экологии и природных ресурсов Томской области, 1997. 123 с.
5. Несветайло В.Д. Дендрохронология: достижения и перспективы // Мат-лы Всерос. совещ. Красноярск, 2003. С. 7–8.
6. Дубров А.М. Обработка статистических данных методом главных компонент. М.: Статистика, 1978. 135 с.
7. Вакуловский С.М., Шершаков В.М., Бородин Р.В. Анализ и прогноз радиационной обстановки в районе аварии на Сибирском химическом комбинате. Радиация и риск. Вып. 3. Обнинск, 1993. 89 с.
8. Несветайло В.Д., Ковалюх Н.Н., Бузынный М.Г., Паздур М.Ф. Дендрохроноиндикация выбросов радиоуглерода СХК г. Северска // Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды: Тез. докл. Междунар. конф. Томск, 1995. Т. 2. С. 88.

T.O. Peremitina, I.G. Yashchenko. The complex approach to environmental state analysis.

An approach to the acquisition of retrospective information on the radioactive pollution of the territories in order to organize the radioecological monitoring of environment has been proposed. The approach is based on the application of the method of dendrochronoindication, allowing one to obtain the retrospective information on the delivery and accumulation of radioactive and other materials in the wood rings of the trees. Statistical processing of the massives of the multidimensional retrospective data was carried out using the geoinformation approach based on the combination of the principal components method and spatial analysis using the means of geoinformation systems. It has been shown that the approach proposed allows one to reveal the emergency emissions that took place in the past at the enterprises of nuclear industry and make a well-grounded selection of the sites for the radioecological monitoring in zones of nuclear industry impact.