

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

## EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Научная статья

УДК 550.47

DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-8-20

Эколого-геохимические исследования территории расположения города Далат Социалистической Республики Вьетнам с использованием метода дендрохимии

Наталья Владимировна Барановская<sup>1</sup>, Ле Тхи Хонг Шанг<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>1</sup>nata@tpu.ru, <sup>2</sup>thihongshang1@tpu.ru

**А**нализ химического элементного состава годовых колец деревьев позволяет проводить эффективный мониторинг состояния окружающей среды. Дендрохимия является одним из методов, активно используемых учёными для оценки долговременных изменений, происходящих в биосфере, посредством анализа накопления микроэлементов, в том числе малоизученных редких, редкоземельных и радиоактивных, являющихся индикаторами. Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения и понимания приведённых процессов для целей мониторинга. Для территории Республики Вьетнам исследования являются пионерными. Статья посвящена изучению особенностей формирования элементного состава коры и древесины сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré, 1960) как индикатора разных эколого-геохимических обстановок, сформировавшихся вокруг г. Далат, обусловленных локальными природными и техногенными условиями. Определена специфика накопления отдельных химических элементов в ретроспективе и распределения альфа-излучающих частиц в кольцах деревьев. Полученные данные позволили сделать вывод о влиянии локальных и глобальных процессов на специфику формирования дендрохимических показателей на территории Республики Вьетнам. Объект исследования – эколого-геохимическая обстановка территории расположения г. Далат Республики Вьетнам. Цель исследования – выявление особенностей динамики изменения дендрохимических показателей сосны далатенской в зависимости от эколого-геохимической обстановки территории расположения г. Далат Республики Вьетнам. С использованием геохимических подходов определена специфика формирования элементного состава сосны далатенской в зависимости от геоэкологической ситуации региона, наличия природных геохимических аномалий. Установлено, что максимальное концентрирование химических элементов, в том числе делящихся радионуклидов, зафиксировано в 40–60-х гг. XX в. Показано, что элементный состав коры и древесины имеет отличие в концентрировании некоторых химических элементов. Максимальные содержания связаны с наличием природных и техногенных источников их поступления, в том числе соответствуют периодам военных конфликтов. Факт присутствия горячих частиц в кольцах деревьев свидетельствует о влиянии фактора глобального ядерного техногенеза на формирование эколого-геохимической обстановки изученной территории. Резюмируется, что кольца деревьев могут использоваться в качестве индикаторов долговременных изменений биосферы.

**Ключевые слова:** годовые кольца деревьев, сосна далатенская, дендрохимия, инструментальный нейтронно-активационный анализ, Социалистическая Республика Вьетнам, индикаторы природно-техногенной обстановки, химические элементы, горячие частицы, f-радиография, геоэкологический мониторинг

**Финансирование.** Статья подготовлена на основе материалов, полученных в ходе реализации межрегионального гранта Российского научного фонда (№ 20-64-47021; 20-67-47005).

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность аналитикам А. Ф. Судыко и Л. В. Богутской, а также кандидату геолого-минералогических наук, сотруднику Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук Е. Е. Ляпиной.

### Для цитирования

Барановская Н. В., Ле Тхи Хонг Шанг. Эколого-геохимические исследования территории расположения города Далат Социалистической Республики Вьетнам с использованием метода дендрохимии // Вестник Забайкальского государственного университета. 2025. Т. 31, № 1. С. 8–20. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-8-20

© Барановская Н. В., Ле Тхи Хонг Шанг, 2025

**Original article****Ecological and Geochemical Studies in Dalat City, Vietnam,  
Using the Method of Dendrogeochemistry****Natalia V. Baranovskaya<sup>1</sup>, Le Thi Hong Sang<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia<sup>1</sup>nata@tpu.ru, <sup>2</sup>thihongshang1@tpu.ru

**S**tudying the chemical composition of annual tree rings facilitates effective environmental monitoring. Dendrogeochemistry represents a range of new approaches that have been developed for purpose of evaluating the trace elements' accumulation, including rare earth and radioactive elements, which indicate long-term changes in the biosphere. It is important to investigate and comprehend natural and technical processes to evaluate their negative effects on the natural environment. The data obtained allowed us to assess the influence of local and global processes affecting the specific formation of dendrogeochemical indicators in the territory of the Republic of Vietnam. This research is relevant and pioneering in Vietnam. The object of the research is ecological and geochemical situation of the location of the city of Dalat, Republic of Vietnam. The purpose is identification of the dynamics of changes in the dendrogeochemical parameters of the Dalat pine (*Pinus dalatensis Ferré*), depending on the ecological and geochemical situation of the territory of the city of Dalat, Republic of Vietnam. Dendrogeochemical methods have identified indicators for the ratios of rare earth and radioactive elements in the natural anomalies found in Dalat city. It has been established that the maximum concentration of chemical elements, including fissile radionuclides, has been recorded in the period from the 40s to the 60s. In general, it has been shown that the elemental composition of bark and wood varied in concentrations of certain chemical elements. The maximum content is related to the presence of natural and technogenic sources, including those corresponding to the period of military conflict. The presence of hot particles in the tree rings indicates the influence of global nuclear engineering factors on the formation of the ecological and geochemical situation of the studied area and tree rings can be used as an indicator of the long-term state in the biosphere.

**Keywords:** tree rings, *Pinus Dalatensis Ferré*, dendrochemistry, instrumental neutron activation analysis, Socialist Republic of Vietnam, indicators of natural and technogenic situation, chemical elements, hot particles, f-radiography, geoecology monitoring

**Funding.** The article was prepared on the basis of materials received with the support of the interregional grant of the Russian Science Foundation (No. 20-64-47021; 20-67-47005).

**Acknowledgments.** The authors are grateful to the analysts A. F. Sudyko, L. V. Bogutskaya and E. E. Lyapina, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, employee of the Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

**For citation**

Baranovskaya N. V., Le Thi Hong Sang. Ecological and Geochemical Studies in Dalat City, Vietnam, Using the Method of Dendrogeochemistry // Transbaikal State University Journal. 2025. Vol. 31, no. 1. P. 8–20. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-8-20

**Введение.** Мониторинг с применением стратифицированных природных образований, таких как ледяные керны, торф, донные отложения, кольца деревьев, в последние десятилетия привлекает интерес учёных-экологов и служит важным инструментом для оценки изменений, происходящих в экосистемах. Характеристика данных природных образований определяется последовательной записью информации об изменении окружающей среды во времени. Каждый из этих индикаторов предоставляет уникальную информацию о состоянии экосистем и позволяет воспроизвести динамику загрязнения за длительный промежуток времени. Древесные растения служат чувствительными природными архивами, которые выступают в качестве индикатора изменения локального и глобального экологического состояния различных компонентов окружающей среды, включая гидросферу,

атмосферу и почву, поглощая загрязняющие вещества и накапливая их в древесине [16; 18; 25]. Кроме того, растения отражают физиологическую адаптацию к изменениям окружающей среды и закрепляют поллютанты в определённых годовых кольцах, что позволяет использовать их в качестве архивов и восстанавливать обстановки их формирования [2; 5; 17; 28; 32–35]. Дендрохимические данные позволяют восстановить для достаточно длительных отрезков времени локальные, региональные и глобальные экологические тенденции. Всё приведённое даёт основания предполагать, что дендрохимический анализ может служить надёжным методом изучения динамики биосферных изменений.

В настоящее время в ряде исследований на территории разных стран проведена оценка элементного состава колец деревьев, однако информация о валовом содержании

некоторых из них в годовых кольцах сосны является недостаточной, особенно в развивающихся странах, таких как Вьетнам, для территории которого она имеет большое научное значение и требует дальнейшего изучения. Использование метода осколочной радиографии позволяет дополнить картину изменения эколого-геохимической ситуации на территории и прояснить вопрос влияния глобального ядерного техногенеза на её формирование.

**Актуальность.** Масштабы изменения геохимического состава биосфера колоссальны и обусловлены множеством факторов, в том числе нарастающей интенсивностью извлечения полезных ископаемых, стремительным развитием технического прогресса. Исследования влияния естественных и антропогенных процессов на глобальные изменения природной среды характерны практически для всех развитых стран. Стала очевидной необходимость изучения и понимания этих процессов для целей прогнозирования и минимизации их негативных влияний для человечества в целом. Именно эти цели определяют актуальность проведения дендрохимических исследований на территории Республики Вьетнам, для которой они являются пионерными.

**Объект** – эколого-геохимическая обстановка территории расположения г. Далат Республики Вьетнам.

**Предмет** – динамика изменения данной обстановки, индикатором которой выступает сосна далатенская, произрастающая на территории расположения г. Далат Республики Вьетнам.

**Цель** – выявить особенности динамики изменения дендрохимических показателей сосны далатенской в зависимости от эколого-геохимической обстановки территории расположения г. Далат Республики Вьетнам.

### Задачи

1. Определить среднее валовое содержание 28 химических элементов в коре и древесине сосны на территории Республики Вьетнам (г. Далат), выявить его изменение для локальных территорий с различной эколого-геохимической обстановкой.

2. Установить динамику накопления элементов в кольцах сосны, обусловленную региональными и глобальными факторами.

3. Выявить присутствие горячих частиц в кольцах сосны и установить временные интервалы их поступления для территории Вьетнама.

**Методология и методы.** Сосновые леса занимают большую часть лесной площади центрального плато в Южной части

Вьетнама. Данный вид является эндемичным для ландшафта г. Далат и его окрестностей.

Отбор проб проводился в феврале 2024 г. до начала вегетационного периода в 6 точках на территории Вьетнама (рис. 1).

Точки отбора проб представлены на рис. 1. Каждая из шести точек отбора проб характеризуется наличием определённых эколого-геохимических условий. Точка «Далат-1», располагающаяся в южной части изученной территории, характеризуется наличием радиоактивных аномалий, обусловленных щелочными вулканическими породами с высокой радиоактивностью [15; 23; 24]. Точка «Далат-2» расположена на северной границе г. Далат и отмечается высокой плотностью населения. Точки «Далат-3» и «Далат-4» располагаются в юго-восточной части и расположены вдоль железнодорожного маршрута Тапчам-Далат (работающего в военный период Вьетнамской войны (1932–1972 гг.)). Здесь находятся каолиновые рудники месторождения Чаймат, залегающие на миоценовом биотитовом граните [10; 30]. Точка «Далат-5» расположена в центре, в ближайшем окружении от главного городского водохранилища, примерно в 2 км к югу от Института ядерных исследований. Пункт «Далат-6» расположен на юго-западе г. Далат, в 15 км от центра города, для которого характерна местная сельскохозяйственная деятельность.

Отбор проб проведён согласно методическим указаниям по отбору и подготовке образцов древесины в соответствии с требованиями в дендрохронологических и дендроклиматических исследованиях [14]. Керны деревьев отбирали с помощью приростного бурава длиной 300 мм на высоте 1,3 м. Отобранные пробы помещены в бумажные тубусы для предотвращения повреждений, с указанием даты отобранных образцов и краткого описания местопроизрастания. Процесс пробоподготовки в лаборатории состоял из высушивания при комнатной температуре, помещения в древесные пеналы, разделения на временные интервалы по периодам: до 1945 г., 1946–1962, 1963–1979, 1980–2024 гг. Датировка и измерение древесных колец производились с помощью обратного отсчёта с календарного года отбора образца при использовании полуавтоматической установки LINTAB с программным обеспечением TSAP-Win и Lignovision в лаборатории динамики и устойчивости экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

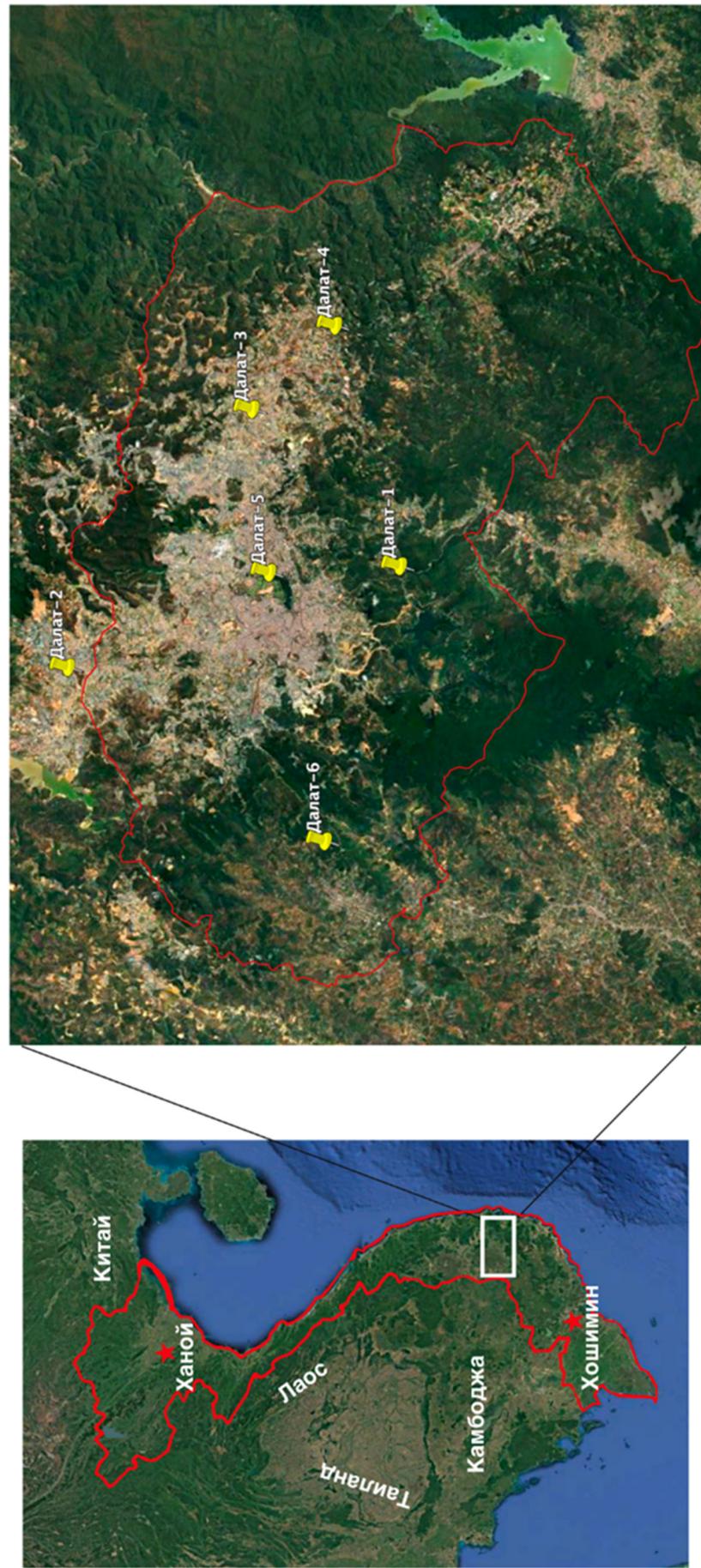


Рис. 1. Схема размещения точек отбора проб сосновы далатенской (*Pinus dalatensis* Ferre) г. Далат, Вьетнам /  
Fig. 1. Layout of sampling points for Dalat pine (*Pinus dalatensis* Ferre) Dalat, Vietnam /

Элементный состав годовых колец деревьев измерен методом инструментально-нейтронно-активационного анализа (далее – ИНАА) на исследовательском реакторе ИРТ-Т в ядерно-геохимической лаборатории отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета (далее – НИ ТПУ). Методом ИНАА определено содержание 28 химических элементов, включая Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U. Обработка результатов проводилась при помощи пакета программ Microsoft Office Excel и Statistica 6.3.

Для определения геохимической специализации коры и древесины деревьев территории Вьетнама рассчитаны коэффициенты концентрации ( $K_c$ ), представляющие собой отношение среднего содержания элемента к его среднему содержанию в выборке (количество проб – 31).

Для определения присутствия горячих частиц в кольцах деревьев использовался метод f-радиографии. Термин «горячая частица» взят по Л. М. Рихванову [11] и обозначает наличие образования любого радионуклидного и химического состава размером до 50 мкм и удельной активностью более 4 Бк. Метод f-радиографии позволяет с высокой чувствительностью выявлять пространственное распределение делящихся радионуклидов, их локальные и общие концентрации в исследуемом объекте [Там же]. Детектором в нашем исследовании являлась слюда (флагопит), которая плотно прилегала к керну дерева, а упакованный в фольгу образец отправлялся на исследовательский ядерный реактор НИ ТПУ. На реакторе образец облучался, далее под действием тепловых нейтронов происходило деление ядер атомов тяжёлых элементов (урана, трансурановых элементов). Осколки деления оставляли характерные следы на детекторе. Слюда отделялась от образца и проправливалась в течение 20 мин в концентрированной кислоте (HF). После травления образец просматривался на микроскопе с фиксированием наличия треков.

**Разработанность темы.** Информацию, которую получают при изучении годовых колец деревьев, активно используют для реконструкции палеоклиматических событий [3; 14; 34; 35], временной оценки произошедших катастроф, например падения метеоритов [31], землетрясений, селей, вулканической деятельности [29], а также для реконструкций

изменения геохимического фона среды обитания человека [11]. В настоящее время имеется множество публикаций, посвящённых изучению накопления химических элементов и изотопов в кольцах деревьев [9; 11; 17; 21; 26; 28]. Наиболее подходящими для этих исследований являются хвойные породы с широким ареалом географии распространения, чувствительные к изменениям окружающей среды [5; 11]. Элементный состав коры, древесины и листьев деревьев используется в биогеохимических исследованиях территорий с природными и техногенными аномалиями [12; 33]. Для территории исследования характерно присутствие природных и техногенных факторов формирования элементного состава деревьев. Так, г. Далат расположен на базальтовом плато Южной Республики Вьетнам, территория которого характеризуется наличием оловянных руд и коренного золота [4; 24; 27]. На юго-востоке города расположено пять крупных предприятий, таких как АО «Ламдонг Фуд», ООО «Далат Файбер», ООО «Фушенг», ООО «Бонир Фарм» и ООО «Лонгдинг чай», занимающихся переработкой сельскохозяйственной продукции и производством продуктов питания.

Одним из факторов, формирующих глобальный геохимический фон, является ядерный техногенез [11], которому уделяется особое внимание учёными, работающими в области дендрохимии [1; 6–8; 11; 13; 20]. Так, с помощью метода осколочной радиографии, являющегося уникальным методом анализа делящихся радионуклидов ( $U-235$ ,  $Pu-239$ ,  $Am-241$  и других), успешно восстанавливается картина биосферных изменений, происходящих под влиянием испытания ядерного оружия, процессов добычи и переработки урановых руд, обогащения урана и получения плутония, а также работы атомных станций [11].

Для территории Вьетнама данные исследования являются пионерными. На территории Республики не проводились ядерные испытания, но в г. Далат находится Институт ядерных исследований г. Далат в составе Вьетнамского института атомной энергии. По данным сайта этой организации, основными направлениями деятельности института являются производство обогащённого урана и его обогащение для нужд атомной энергетики. Институт по обогащению урана выпустил первую продукцию в мае 1963 г., в 1968–1975 гг. реактор был временно закрыт, а затем, в 1979 г., при поддержке Советского Союза реактор восстановлен, который к 1984 г. увеличил проектную мощность в 2 раза [22].

На формирование поступления токсичных и радиоактивных элементов в состав колец деревьев могли оказывать влияние не только региональные источники, но и глобальные выпадения, связанные с испытанием ядерного оружия на бывшем Семипалатинском полигоне в Казахстане (1948 г.), на Новой Земле (1954 г.) и полигоне Лобнор в Китае (1964 г.), в аварии на Чернобыльской станции (1986 г.), Фукусиме-1 (2011 г.) и др.

Следовательно, на территории расположения г. Далат Республики Вьетнам сложилась уникальная геоэкологическая ситуация, характеризующаяся специфичными природно-техногенными условиями. Изменение геохимического фона этой территории отражается в элементном составе колец деревьев, которые, по данным многих авторов, являются хорошими индикаторами состояния среды.

**Результаты.** Накопление химических элементов в составе древесины и коры зависит от литолого-геохимических особенностей территории произрастания. Так, нами установлены особенности концентрирования химических элементов на территории расположения уникальной геологической структуры, представляющей собой грязезализированный базальт [15]. Точка отбора проб («Далат-1») располагалась в районе распространения полевошпатовой породы формации Дыонзыонг, жила в которой имеет микроскладчатую структуру шириной 1–2 м, прорезает экструзивные туфовые породы и характеризуется высокой радиоактивностью. Породы вокруг фельзит-порфировой жилы отличаются высоким содержанием урана, церия и лантана [23; 24]. Анализ содержания химических элементов в коре сосны, произрастающей на данной территории, показывает существенное отличие в концентрировании элементов

по сравнению с другими деревьями. Специфика концентрирования химических элементов в коре хорошо демонстрирует геохимические ряды, построенные по коэффициентам, рассчитанным относительно среднего для всей выборки (табл. 1).

Как видно из табл. 1, точка «Далат-1» характеризуется значимым концентрированием в коре дерева радиоактивных элементов (тория и урана), редкоземельных – иттербия и лютеция, а также гафния, скандия и некоторых других, при этом суммарный показатель накопления элементов не является самым высоким среди изученных локальных территорий. Максимальным коэффициентом характеризуется точка «Далат-4», находящаяся в зоне влияния промышленных объектов. Процесс техногенеза оказывает влияние на концентрирование максимального количества химических элементов в коре деревьев. Так, в непосредственной близости от точки «Далат-4» расположен промышленный узел Фатчи. Его влияние фиксируется более высокими концентрациями тяжёлых металлов и в целом значимым накоплением большого спектра элементов с максимальным показателем загрязнения – 75,4. На третьем месте находится точка «Далат-6», находящаяся на территории развития сельскохозяйственной деятельности. Максимально накапливающимися в коре деревьев элементами этой территории являются щелочные и щелочноземельные, а также сурьма. Минимальным значением суммарного показателя характеризуется территория рядом с водохранилищем, которую, по всей видимости, можно отнести к условно-фоновой. К сожалению, образцы коры не отобраны во всех шести точках, поэтому охарактеризовать территорию расположения пунктов «Далат-2» и «Далат-3» затруднительно.

Таблица 1 / Table 1

**Геохимические ряды концентрирования элементов в коре деревьев территории Республики Вьетнам /  
Geochemical series of element concentration in the bark of trees in the territory of the Republic of Vietnam**

Точка отбора проб (n – количество проб) / Sampling point (n is the number of samples)	Геохимический ряд (коэффициенты рассчитаны относительно среднего по выборке, n=31) / Geochemical series (coefficients calculated relative to the sample average, n=31)	$Z_{\text{спн}} / Z_{(\text{total accumulation rate})}$
Далат-1 / Dalat-1	Hf <sub>12</sub> Th <sub>6,7</sub> U <sub>4,3</sub> Yb <sub>3,7</sub> Ca <sub>3,3</sub> Sc <sub>2,8</sub> Lu <sub>2,5</sub> Cs <sub>2,4</sub> Fe <sub>1,9</sub> Rb <sub>1,8</sub> Co <sub>1,5</sub> Ce <sub>1,5</sub> Sm <sub>1,5</sub> Cr <sub>1,4</sub> Br <sub>1,4</sub> Eu <sub>1,3</sub> As <sub>1,1</sub> La <sub>1,1</sub> Zn <sub>1,0</sub> Ta <sub>0,9</sub> Sr <sub>0,8</sub> Nd <sub>0,8</sub> Tb <sub>0,7</sub> Ag <sub>0,6</sub> Sb <sub>0,5</sub> Au <sub>0,5</sub> Ba <sub>0,3</sub> Na <sub>0,1</sub>	34,2
Далат-4 / Dalat-4	Sc <sub>10,9</sub> Ca <sub>9,1</sub> Fe <sub>7,0</sub> Sr <sub>6,7</sub> Yb <sub>6,3</sub> Nd <sub>5,3</sub> Ba <sub>5,2</sub> Sm <sub>4,1</sub> Th <sub>4,1</sub> Lu <sub>3,9</sub> Zn <sub>3,8</sub> Hf <sub>3,7</sub> As <sub>3,8</sub> Cr <sub>3,3</sub> La <sub>2,9</sub> Eu <sub>2,8</sub> Ta <sub>2,7</sub> Co <sub>2,6</sub> Br <sub>2,2</sub> Sb <sub>2,1</sub> U <sub>2,0</sub> Ce <sub>1,9</sub> Rb <sub>1,7</sub> Cs <sub>1,3</sub> Na <sub>0,8</sub> Tb <sub>0,7</sub> Ag <sub>0,6</sub> Au <sub>0,6</sub>	75,4
Далат-5 / Dalat-5	Ca <sub>5,3</sub> Cr <sub>3,1</sub> Sr <sub>3,1</sub> Fe <sub>2,1</sub> Rb <sub>2,1</sub> Zn <sub>1,9</sub> Br <sub>1,7</sub> Ba <sub>1,7</sub> Yb <sub>1,6</sub> Co <sub>1,5</sub> As <sub>1,5</sub> Sb <sub>1,5</sub> Sc <sub>1,4</sub> Au <sub>1,2</sub> Ag <sub>1,1</sub> Th <sub>1,1</sub> Sm <sub>1,0</sub> Na <sub>0,9</sub> La <sub>0,9</sub> Ta <sub>0,9</sub> Nd <sub>0,8</sub> Tb <sub>0,7</sub> U <sub>0,7</sub> Ce <sub>0,6</sub> Lu <sub>0,6</sub> Eu <sub>0,5</sub> Cs <sub>0,4</sub> Hf <sub>0,4</sub>	15,9
Далат-6 / Dalat-6	Cs <sub>9,3</sub> Th <sub>5,4</sub> Rb <sub>3,8</sub> Sr <sub>3,7</sub> Ba <sub>3,2</sub> Sb <sub>2,8</sub> Sc <sub>1,9</sub> Br <sub>1,9</sub> Ce <sub>1,5</sub> Hf <sub>1,5</sub> Zn <sub>1,4</sub> Fe <sub>1,3</sub> Co <sub>1,2</sub> Lu <sub>1,2</sub> Sm <sub>1,1</sub> La <sub>1,0</sub> Au <sub>1,0</sub> Ta <sub>0,9</sub> Ca <sub>0,8</sub> Cr <sub>0,7</sub> As <sub>0,7</sub> Tb <sub>0,7</sub> U <sub>0,7</sub> Ag <sub>0,6</sub> Eu <sub>0,6</sub> Yb <sub>0,3</sub> Na <sub>0,1</sub> Nd <sub>0,1</sub>	26,2

Несколько иная картина наблюдается при анализе древесины. Как видно из табл. 2, суммарный показатель накопления элементов в составе древесины на порядок ниже по сравнению с корой. Несколько изменился и спектр накапливаемых в каждой из изученных точек элементов. Максимальными значениями и широким спектром концентрирующихся элементов характеризуется древесина сосны с территории сельскохозяйственной деятельности («Далат-6»). Идентичным с корой является накопление сурьмы, источником которой, по-видимому, является применение пестицидов и удобрений.

Наличие значимых концентраций для Сг, Na, Eu в точках «Далат-3» и «Далат-4» свидетельствует о воздействии основных городских предприятий и автотранспорта. Однако если по содержанию химических элементов в коре деревьев точка «Далат-4» характеризовалась как одна из самых напряжённых, то для древесины это не является характерным. Напротив, по суммарному показателю эти точки являются одними из самых незагрязнённых.

Для точки «Далат-5» характерным является незначительное накопление в древесине деревьев мышьяка, серебра, цинка и брома, которые отражают региональную геохимическую специализацию территории г. Далат. Для точки «Далат-1» отмечается значимое концентрирование натрия, тантала, что характеризует контактную зону щелочного интрузивного массива с вмещающими

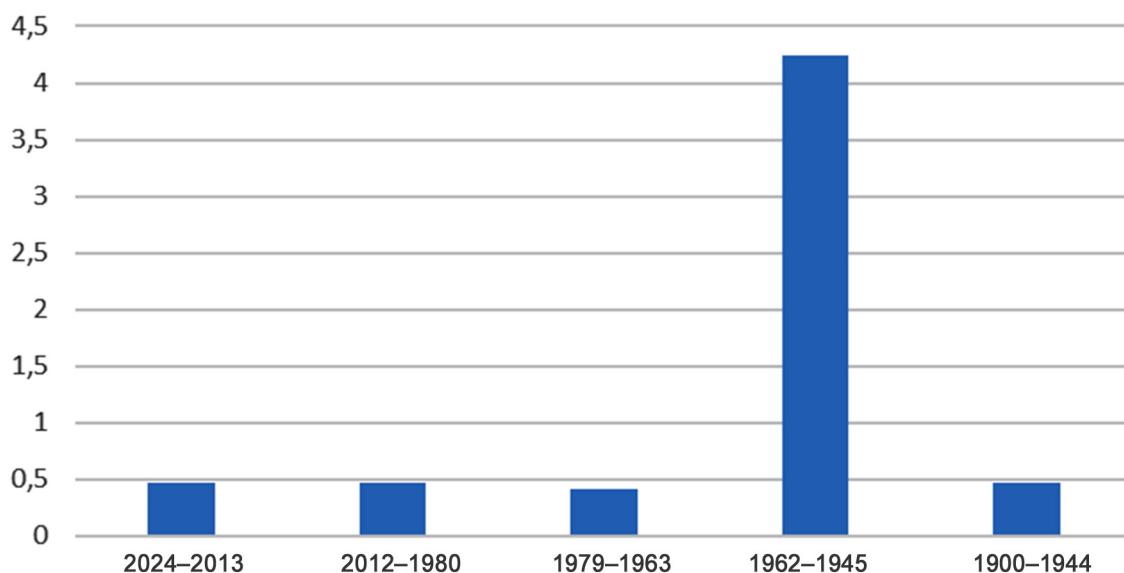
породами. Примечательно, что для древесины ведущими элементами на данной территории являются натрий, тербий и тантал, а для коры – гафний, торий и уран.

Картина перераспределения элементов между корой и древесиной свидетельствует о значимой роли фактора водной миграции элементов, являющегося ведущим для формирования элементного состава древесины и фактора золового привноса, более существенного для коры. Именно это позволяет применять состав коры в качестве преимущественного индикатора техногенеза. В то же время распределение элементов по кольцам свидетельствует о значительной чувствительности древесины к техногенному воздействию. Так, применение дефолиантов во время военных действий во Вьетнаме привело к резкому увеличению его содержания в период, включающий начало войны (с 1955 г.) (рис. 2). Один из первых гербицидов, использовавшихся во время войны во Вьетнаме, представлял собой смесь какодиловой кислоты и её натриевой соли и использовался для уничтожения посевов риса. Какодиловая кислота и её соли использовались для создания гербицидов множеством производителей и продавались под многочисленными брендами. Разновидность, использовавшаяся во Вьетнаме (Агент Блю), называлась Phytar 560G [18; 19]. В целом, именно этот период характеризуется максимальным накоплением химических элементов (табл. 3).

Таблица 2 / Table 2

**Геохимические ряды концентрирования элементов в древесине деревьев территории Республики Вьетнам /  
Geochemical series of element concentration in wood of trees on the territory of the Republic of Vietnam**

Точка отбора проб (n – количество проб) / Sampling point (n is the number of samples)	Геохимический ряд (коэффициенты рассчитаны относительно среднего по выборке, n=31) / Geochemical series (coefficients calculated relative to the sample average, n=31)	$Z_{\text{спн}} / Z_{(\text{total accumulation rate})}$
Далат-1 / Dalat-1	Na=Tb <sub>2</sub> Ta <sub>1,3</sub> Br=Nd <sub>1,2</sub> Co=Sb <sub>1,0</sub> Fe=Au <sub>0,9</sub> Cr=Ag=Eu <sub>0,8</sub> Zn=As=Rb=La=U <sub>0,7</sub> Ca=Ba=Lu <sub>0,6</sub> Yb=Th <sub>0,5</sub> Sc=Ce=Sm=Hf <sub>0,4</sub> Cs <sub>0,3</sub> Sr <sub>0,2</sub>	2,7
Далат-2 / Dalat-2	Au <sub>1,8</sub> Lu <sub>1,6</sub> Na=Cr=Ag=Ta <sub>0,9</sub> Fe=Nd <sub>0,8</sub> Co=Br=Eu=Tb=U <sub>0,7</sub> Sc=Zn=As=Sb=Hf=Th <sub>0,6</sub> Ca=Rb <sub>0,5</sub> Ba=La=Sm=Yb <sub>0,4</sub> Sr <sub>0,3</sub> Ce <sub>0,2</sub> Cs <sub>0,1</sub>	1,4
Далат-3 / Dalat-3	Cr=Eu <sub>1,1</sub> Na=Ag=Hf <sub>1,0</sub> Fe=Sb=Ta=Au <sub>0,9</sub> As=Ce=U <sub>0,8</sub> La=Nd <sub>0,7</sub> Co=Ba=Tb=Lu <sub>0,6</sub> Ca=Sc=Zn=Rb=Sr=Sm=Yb <sub>0,5</sub> Th <sub>0,4</sub> Cs <sub>0,2</sub>	0,2
Далат-4 / Dalat-4	Cr <sub>1,5</sub> Na <sub>1,2</sub> Ba=Eu <sub>1,1</sub> Co=Zn <sub>1,0</sub> Fe=Sr=Sb=La=Ta <sub>0,9</sub> Br=Nd=Sm <sub>0,8</sub> As=Rb=Tb=Au <sub>0,7</sub> Ag=Ce <sub>0,6</sub> Yb=Lu <sub>0,5</sub> Ca=U <sub>0,4</sub> Sc=Hf <sub>0,3</sub> Th <sub>0,2</sub> Cs <sub>0,1</sub>	0,9
Далат-5 Dalat-5	As <sub>1,8</sub> Ag <sub>1,6</sub> Zn=Br <sub>1,2</sub> Tb=Au <sub>1,1</sub> Na=Rb=Nd <sub>1,0</sub> Co=Ba=Eu=Ta <sub>0,9</sub> Sb=U <sub>0,7</sub> Lu <sub>0,6</sub> Ca=Sc=Sr <sub>0,5</sub> Cr=Hf <sub>0,4</sub> Cs=La=Sm=Yb=Th <sub>0,3</sub> Fe <sub>0,2</sub> Ce <sub>0,1</sub>	2,4
Далат-6 / Dalat-6	Ce <sub>3,4</sub> Sm <sub>2,7</sub> La <sub>2,6</sub> Cs <sub>2,6</sub> Yb <sub>1,9</sub> U <sub>1,6</sub> Sr <sub>1,4</sub> Rb=Sb <sub>1,3</sub> Co=Ag=Eu <sub>1,2</sub> Zn=Ba <sub>1,0</sub> Lu=Th <sub>0,9</sub> Ta <sub>0,8</sub> Sc=As=Nd=Tb=Au <sub>0,7</sub> Cr=Br <sub>0,6</sub> Na <sub>0,5</sub> Fe <sub>0,4</sub> Ca=Hf <sub>0,3</sub>	10,4



**Рис. 2.** Диаграмма изменения содержания (мг/кг св) мышьяка в кольцах сосны далатенской (*Pinus dalatensis Ferré*) на территории г. Далат Республики Вьетнам /

**Fig. 2.** Diagram of changes in the content (mg/kg dry) of arsenic in the rings of Dalat Pine (*Pinus dalatensis Ferré*) in Dalat city, Republic of Vietnam

Таблица 3 / Table 3

Геохимические ряды концентрирования элементов в кольцах деревьев на территории Республики Вьетнам (указаны химические элементы с коэффициентом от единицы и выше) / Geochemical series of elements concentration in tree rings on the territory of the Republic of Vietnam (chemical elements with a coefficient of one and more are indicated)

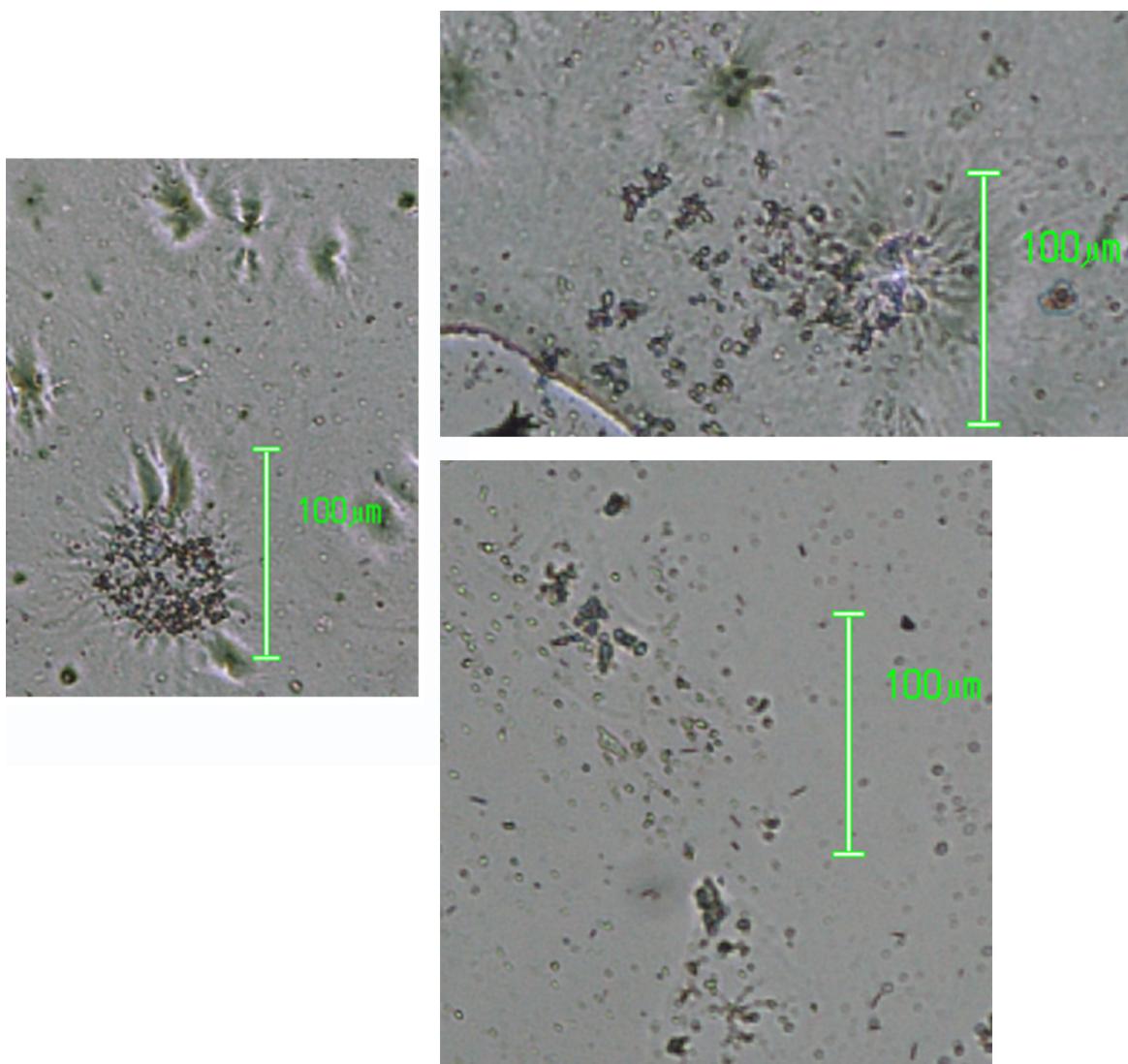
Временной период, годы / Time period, years	Геохимический ряд (коэффициенты рассчитаны относительно среднего по выборке, n=31) / Geochemical series (coefficients calculated relative to the sample average, n=31)	$Z_{\text{сн}} / Z_{\text{(total accumulation rate)}}$
2024–2013	Rb <sub>1,4</sub> Br <sub>1,3</sub> Eu <sub>1,1</sub> Ba <sub>1</sub>	0,8
2012–1980	Nd <sub>1,7</sub> Rb <sub>1,4</sub> Br <sub>1,3</sub> Na <sub>1,2</sub> Zn <sub>1,1</sub> Au <sub>1</sub>	1,7
1979–1963	Zn <sub>1,4</sub> Ba = Co <sub>1,2</sub> Rb = Na <sub>1</sub>	0,8
1962–1945	Ag <sub>5</sub> As <sub>4,2</sub> Tb <sub>2,8</sub> Zn <sub>1,8</sub> Br <sub>1,6</sub> Na <sub>1,1</sub> Rb <sub>1</sub>	10,5
1900–1944	Eu <sub>2</sub> Lu <sub>1,1</sub> Zn = Cr <sub>1</sub>	1,1

В целом, максимальное влияние на накопление химических элементов в кольцах деревьев оказали именно военные действия, в частности война против японского империализма 1940–1945 гг., война против французского колониализма 1946–1954 гг., война против американского империализма 1955–1975 гг.

Более объективные результаты о влиянии техногенеза, в том числе глобальных процессов, связанных с ядерным техногенезом, получены при изучении конкретных временных

колец. Так, изучение распределения делящихся радиоактивных элементов показало, что максимальное их количество встречается в период с начала испытания ядерного оружия. Горячие частицы зафиксированы нами в виде массовых скоплений треков от осколков деления и «звезд» в 1945–1949 гг. (рис. 3).

Достаточно часто такие скопления встречались до начала 70-х гг. XX в., а далее они становятся редким явлением. Треки характеризуются равномерным распределением либо отсутствуют.



**Рис. 3.** Скопление треков от осколков деления («звезды» и скопления) на слюде, находившейся в контакте с образцом древесины. Датирование колец дерева: слева – 1946 г., справа вверху – 1947 г., справа внизу – 1949 г. / **Fig. 3.** Cluster of tracks from fission fragments ("stars" and clusters) on mica that was in contact with a wood sample. Dating of the tree rings: left – 1946, top right – 1947, bottom right – 1949.

**Выводы.** В ходе исследования определено содержание 28 химических элементов в сосне далатенской, произрастающей на территории вокруг г. Далат Республики Вьетнам. Изменение геохимических показателей соответствует специфике геоэкологической ситуации в Республике Вьетнам, обусловленной как локальным техногенезом, так и глобальными процессами, а также спецификой природных аномалий. Максимальная концентрация химических элементов, включая делящиеся радионуклиды, зафиксирована в годовых кольцах, соответствующих 40–50-м гг.

XX в. Элементный состав коры и древесины различается по концентрации некоторых химических элементов. Максимальные концентрации объясняются природными и антропогенными источниками, в том числе военными конфликтами. Наличие горячих частиц в кольцах деревьев свидетельствует о влиянии ядерного техногенеза на эколого-геохимическую обстановку изучаемой территории. Полученные данные подтверждают возможность использования годовых колец сосны далатенской для индикации долговременных изменений биосферы.

**Список литературы**

1. Архангельская Т. А. Ретроспективная оценка радиоэкологической ситуации по результатам изучения годовых колец срезов деревьев: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36. Томск, 2004. 22 с.
2. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
3. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука, 1996. 246 с.
4. Владимиров А. Г., Фан Л. А., Травин А. В., Михеев Е. И., Мурзинцев Н. Г., Анникова И. Ю. Геология и термохронология мелового магматизма юго-восточного вьетнама // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 4. С. 16–37.
5. Гавриков В. Л., Фертиков А. И., Шарафутдинов Р. А., Ваганов Е. А. Изменчивость элементного состава годичных колец хвойных пород // Известия вузов. Лесной журнал. 2021. № 6. С. 24–37. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-24-37
6. Замятина Ю. Л. Изучение истории поступления радионуклидов в окружающую среду на основе f-радиографического анализа годичных колец деревьев: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36. Томск, 2008. 26 с.
7. Ковалюк Н. Н., Несветайло В. Д., Бузынныи М. Г. Дендрохроноиндикация выбросов радиоуглерода Сибирским химическим комбинатом города Северска // После холодной войны: разоружение, конверсия и безопасность: материалы II Междунар. конф. Красноярск, 1995. С. 156–162.
8. Козубов Г. М., Таскаев А. И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы (1986–2001 гг.). М.: Дизайн. Информация. Картография, 2002. 272 с.
9. Ляпина Е. Е., Ле Тхи Хонг Шанг, Крачакова М. Г., Бараповская Н. В., Маркелова А. Н., Золопотов С. Ю. Дендрогеохимия Hg по данным изучения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на территории Томского района // Известия Томского политехнического университета. Инжениринг георесурсов. 2024. Т. 335, № 8. С. 125–136.
10. Новиков В. М., Боева Н. М., Бортников Н. С. Каолин-бокситовое месторождение Чаймат (Южный Вьетнам): типоморфные признаки каолинита и механизм формирования зонального профиля бокситосной коры выветривания гранитов // Геология рудных месторождений. 2018. Т. 60, № 6. С. 575–589. DOI: 10.1134/S0016777018060047. EDN: YNSOVV
11. Рихванов Л. П., Архангельская Т. А., Замятина Ю. Л. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации: монография. Томск: Дельтаплан, 2015. 48 с.
12. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.
13. Часников И. Я. Эхо ядерных взрывов: монография. 2-е изд., доп. Алматы: Принт, 1998. 174 с.
14. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
15. Anh H.T. N., Choi S. H., Yu Y., Hieu P. T. Geochemical constraints on the evolution of the lithospheric mantle beneath central and southern Vietnam // Geosciences Journal. 2021. Vol. 25. P. 433–451. DOI: 10.1007/s12303-020-0045-4
16. Balraju W., Upadhyay K. K., Tripathi S. K. Assessing Toxic Element Accumulation Trend in *Magnolia champaca* Tree Rings at Turial Dumping Site in Mizoram, Northeast India Using Dendrochemical Analysis // Water Air Soil Pollut. 2023. No. 234(12). DOI: 10.1007/s11270-023-06648-3
17. Churakova (Sidorova) O. V., Porter T. J., Zharkov M. S., Fonti M. V., Barinov V. V., Taynik A. V., Kirdyanov A. V., Knorre A. A., Wegmann M., Trushkina T. V., Koshurnikova N. N., Vaganov E. A., Myglan V. S., Siegwolf R.T. W., Saurer M. Climate impacts on tree-ring stable isotopes across the Northern Hemispheric boreal zone // Science of the Total Environment. 2023. Vol. 870. P. 161644.
18. Cocozza C., Alterio E., Bachmann O., Guillong M., Sitzia T., Cherubini P. Monitoring air pollution close to a cement plant and in a multi-source industrial area through tree-ring analysis // Environmental Science and Pollution Research. 2021. Vol. 28. P. 54030–54040.
19. Committee to Review the Health Effects in Vietnam Veterans of Exposure to Herbicides. Institute of Medicine. Veterans and Agent Orange: Health Effects of Herbicides Used in Vietnam. Washington: National Academies Press, 1994. P. 89–90.
20. Garrec J. P., Suzuki T., Mahara Y., Santry D. C., Miyahara S., Sugahara M. Plutonium in Tree Rings from France and Japan // Appl Radiat Isot. 1995. Vol. 46, no. 11. P. 1271–1278.
21. Hagemeyer J. Trace metals in tree rings: what do they tell us? // Trace elements – their distribution and effects in the environment. Elsevier Science. 2000. P. 375–385.
22. Nguyen H., Calkins L. M., Kearfott K. J. The history of Da Lat Nuclear Research Reactor in University of Michigan // Ann Arbor. Michigan; U. S., 2015.
23. Hieu P. T., Minh P., Lei W. X., Nong A.T. Q., Kawaguchi K., Cuong T. C. Zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf isotopic compositions of the felsic dykes from the Dalat zone, southern Vietnam:

- petrogenesis and geological significance // International Geology Review. 2022. Vol. 64. P. 2822–2836. DOI: 10.1080/00206814.2021.2015632
24. Lam Dong Portal. Natural. URL: <https://lamdong.gov.vn/sites/en/dalatcity/SitePages/nature.aspx> (дата обращения: 12.01.2025). Текст: электронный.
  25. Lepp N. W. The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns // Environmental Pollution. 1975. Vol. 9. P. 49–61. DOI: 10.1016/0013-9327(75)90055-5
  26. Mifsud D. V., Stüeken E. E., Wilson R.J. S. A preliminary study into the use of tree-ring and foliar geochemistry as bio-indicators for vehicular NO<sub>x</sub> pollution in Malta // Isotopes in Environmental and Health Studies. 2021. Vol. 57, no. 3. P. 301–315.
  27. Nguyễn Kim Hoàng, Phân vùng sinh khoáng và triển vọng, Tạp chí phát triển KH&CN, tập 16, số M2 – 2013, tr 85–96.
  28. Rikhvanov L. P., Lyapina E. E., Yusupov D. V., Tursunalieva E. M., Pavlova A. A. Mercury emanations from the Baikal rift: evidence from the study of annual tree rings (an example of the Tunka depression) // Doklady Earth Sciences. 2021. Vol. 496, no. 1. P. 32–36.
  29. Stoffel M., Böllschweiler M., Butler D. R., Luckman B. H. Tree rings and natural hazards. Advances in global change research. Springer Nature (Netherlands). 2010. 505 p.
  30. Vinh B., Duy T. P. Mineral characteristics and associated mineralization of weathering crust from ankroet complex (K2ak) at Mat camp // Da Lat. Sci. Tech. Dev. J. Nat. Sci. 2020. Vol. 4. P. 376–386.
  31. Vaganov E. A., Hughes M. K., Silkin P. P., Nesvetailo V. D. The Tunguska event in 1908: evidence from tree-ring anatomy // Astrobiology. 2004. Vol. 4. P. 391–399.
  32. Watmough SA. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis // Environ Pollut. 1999. Vol. 106. P. 391–403. DOI: 10.1016/s0269-7491(99)00102-5. PMID: 15093035
  33. Yusupov D. V., Lyapina E. E., Tursunalieva E. M., Osipova N. A., Baranovskaya N. V. Poplar tree (*Populus Balsamifera* L.) as indicator of mercury emission from a point source // Chemosphere. 2022. Vol. 287. P. 132157. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132157
  34. Zelenov G. K., Belokopytova L. V., Babushkina E. A., Zhirnova D. F., Yang B., Peng X., Liu J., Sitnikov G. A., Vaganov E. A. Reconstruction of Seasonal Kinetics in Conifer Radial Growth from Daily Meteorological Conditions, Tree-Ring Width, and Radial Size of Tracheids // Forests. 2024. Vol. 15, no. 2. P. 249.
  35. Zhirnova D. F., Belokopytova L. V., Upadhyay K. K., Koshurnikova N. N., Mapitov N. B., Kholdaenko Yu. A., Vaganov E. A., Babushkina E. A. Climatic reactions in the radial growth of *Pinus sibirica* Du Tour from the lower to the upper limit along the Western Sayan Mountains // Siberia. Forest Ecology and Management. 2024. Vol. 563. P. 121995.

## References

1. Arkhangelskaya TA. Retrospective assessment of the radio-ecological situation based on the results of the study of annual rings of tree slices. Cand. dis. abstr. Tomsk, 2004. 22 p. (In Russian).
2. Vaganov EA, Shashkin AV. Growth and structure of conifers' annual rings. Novosibirsk: Nauka; 2000. 232 p. (In Russian).
3. Vaganov EA, Shiyatov SG, Mazepa VS. Dendroclimatic study in Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk: Nauka; 1996. 246 p. (In Russian).
4. Vladimirov AG, Phan LA, Travin AV, Mikheev EI, Murzintsev NG, Annikova IYu. Geology and thermo-chronology of cretaceous magmatism of southeast Vietnam. *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2020;39(4):16–37. (In Russian).
5. Gavrikov VL, Fertikov AI, Vaganov EA. Variability in Elemental Composition of Conifer Tree Rings. *Russian Forestry Journal*. 2021;(6):24–37. (In Russian). DOI: 10.37482/0536-1036-2021-6-24-37
6. Zamyatina YuL. Study of the history of radionuclide entry into the environment based on f-radiographic analysis of annual rings of trees. Cand. geol.-mineral. sci. dis. abstr. Tomsk, 2008. 26 p. (In Russian).
7. Kovalyukh NN, Nesvetailo VD, Buzynny MG. Dendrochronoindication of radiocarbon emissions by the Siberian Chemical Enterprise in Seversk. In: After the Cold War: Disarmament, Conversion and Security: Materials of the II International Conference. Krasnoyarsk, 1995. Pp. 156–162. (In Russian).
8. Kozubov GM, Taskaev AI. Radiobiological studies of conifers in the area of the Chernobyl catastrophe (1986–2001). Moscow: Dizain. Informatsiya. Kartografiya; 2002. 272 p.
9. Lyapina EE, Shang LeTH, KrachnakoVA MG, Baranovskaya NV, Markelova AN, Zolotov SYu. Dendrogeochemistry of Hg according to the study of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in the Tomsk region. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. *Geo Assets Engineering*. 2024;335(8):125–136. (In Russian).
10. Novikov VM, Boeva NM, Bortnikov NS, Zhukhlistov AP, Krupskaya VV, Bushueva EB. Chai Mat kaolin-bauxite deposit (South Vietnam): typomorphic features of kaolinite and formation mechanism of the zonal profile of the bauxite-bearing weathering crust of granites. *Geology of Ore Deposits*. 2018;60(6):575–589. (In Russian). DOI: 10.1134/S0016777018060047. EDN: YNSOVV

11. Rikhvanov LP, Arkhangel'skaya TA, Zamyatina YuL. Dendroradiography as a method of retrospective assessment of the radioecological situation: monograph. Tomsk: Deltaplan; 2015. 148 p. (In Russian).
12. Solovov AP. Geochemical methods of mineral mine exploration. Moscow: Journal Nedra; 1985. 294 p. (In Russian).
13. Chasnikov IYa. Echo of Nuclear Explosions: monograph. 3<sup>rd</sup> ed. Almaty: Print; 1998. 174 p. (In Russian).
14. Shiyatov SG, Vaganov EA, Kirdyanov AV, Kruglov VB, Mazepa VS, Naurzbaev MM, Khantemirov RM. Dendrochronology methods. Krasnoyarsk: KrasGU; 2000. 80 p. (In Russian).
15. Anh HTY., Choi SH, Yu Y, Hieu PT. Geochemical constraints on the evolution of the lithospheric mantle beneath central and southern Vietnam. *Geosciences Journal*. 2020;25(4):433–451. DOI: 10.1007/s12303-020-0045-4
16. Balraju W, Upadhyay KK, Tripathi SK. Assessing toxic element accumulation trend in magnolia champaca tree rings at turrial dumping site in Mizoram, Northeast India using dendrochemical analysis. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2023;234(12). DOI: 10.1007/s11270-023-06648-3
17. Churakova (Sidorova) OV, Porter TJ, Zharkov MS, Fonti MV, Barinov VV, Taynik AV (et al). Climate impacts on tree-ring stable isotopes across the Northern Hemispheric boreal zone. *Science of The Total Environment*. 2023;870:161644.
18. Cocozza C, Alterio E, Bachmann O, Guillong M, Tommaso S, Cherubini P. Monitoring air pollution close to a cement plant and in a multi-source industrial area through tree-ring analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(38):54030–54040.
19. Committee to review the health effects in Vietnam veterans of exposure to herbicides. Institute of medicine. In: Veterans and Agent Orange: Health Effects of Herbicides Used in Vietnam. Washington: National Academies Press, 1994; P. 89–90.
20. Garrec JP, Suzuki T, Mahara Y, Santry DC, Miyahara S, Sugahara M. Plutonium in tree rings from France and Japan. *Applied Radiation and Isotopes*. 1995;46(11):1271–1278.
21. Hagemeyer J. Trace metals in tree rings: what do they tell us? In: Trace elements – their distribution and effects in the environment. Elsevier Science. 2000; P. 375–385.
22. Nguyen H, Calkins LM, Kefkott KJ. The history of Da Lat Nuclear Research Reactor in University of Michigan. In: Ann Arbor. Michigan; U.S.; 2015.
23. Hieu PT, Minh P, Lei WX, Thi A, Kawaguchi K, Cuong TC. Zircon U–Pb geochronology and Sr–Nd–Hf isotopic compositions of the felsic dykes from the Dalat zone, southern Vietnam: petrogenesis and geological significance. *International Geology Review*. 2022;64(19):2822–2836. DOI: 10.1080/00206814.2021.2015632c
24. Lam Dong Portal. Natural. Available at: <https://lamdong.gov.vn/sites/en/dalatcity/SitePages/nature.aspx> (accessed 12.01.2025).
25. Lepp NW. The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. *Environmental Pollution*. 1975;9(1):49–61. DOI: 10.1016/0013-9327(75)90055-5
26. Mifsud DV, Stüeken EE, Wilson RJS. A preliminary study into the use of tree-ring and foliar geochemistry as bio-indicators for vehicular NOx pollution in Malta. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2021;57(3):301–315.
27. Nguyen KH. Gold metallogenic zoning and mineralized prospect in Dalatzone. *Science & Technology Development*, 2013;16(2):85–96
28. Rikhvanov LP, Lyapina EE, Yusupov DV, Tursunalieva EM, Pavlova AA. Mercury emanations from the Baikal rift: evidence from the study of annual tree rings (an example of the Tunka depression). *Doklady Earth Sciences*. 2021;496(1):32–36.
29. Stoffel M, Bollschweiler M, Butler DR, Luckman BH. Tree rings and natural hazards. Advances in global change research. Springer Nature (Netherlands); 2010.
30. Vinh BT, Duy TP. Mineral characteristics and associated mineralization of weathering crust from an-kroet complex (K2ak) at Mat camp. *Da Lat. Science and Technology Development Journal – Natural Sciences*. 2020;4(1):376–386.
31. Vaganov EA, Hughes MK, Silkin PP, Nesvetailo VD. The Tunguska event in 1908: evidence from tree-ring anatomy. *Astrobiology*. 2004;4(3):391–399.
32. Watmough SA. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. *Environmental Pollution*. 1999;106(3):391–403. DOI: 10.1016/s0269-7491(99)00102-5. PMID: 15093035
33. Yusupov DV, Lyapina EE., Tursunalieva EM, Osipova NA., Baranovskaya NV. Poplar tree (*Populus balsamifera* L.) as indicator of mercury emission from a point source. *Chemosphere*. 2021;287:132157. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132157
34. Zelenov GK, Belokopytova LV, Babushkina EA, Zhirnova DF, Yang B, Peng X. (et al). Reconstruction of Seasonal Kinetics in Conifer Radial Growth from Daily Meteorological Conditions, Tree-Ring Width, and Radial Size of Tracheids. *Forests*. 2024;15(2):249.
35. Zhirnova DF, Belokopytova LV, Upadhyay KK, Koshurnikova NN, Mapitov NB, Kholdaenko YA (et al). Climatic reactions in the radial growth of *Pinus sibirica* Du Tour from the lower to the upper limit along the Western Sayan Mountains. *Siberia. Forest Ecology and Management*. 2024;563:121995.

---

### Информация об авторах

---

Барановская Наталья Владимировна, д-р биол. наук, профессор, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; nata@tpu.ru. Область научных интересов: биогеохимия, геоэкология, экотоксикология.

Ле Тхи Хонг Шанг, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия; thihongshang1@tpu.ru. Область научных интересов: геоэкология.

### *Information about the authors*

Baranovskaya Natalya V., doctor of biological sciences, professor of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia; nata@tpu.ru. Research interests: biogeochemistry, geoecology, ecotoxicology.

Le Thi Hong Sang, postgraduate student, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation; thihongshang1@tpu.ru. Research interests: geoecology.

---

### Вклад авторов в статью

---

Барановская Н. В. – разработка методологии исследования, участие в подготовке и проведении радиографического анализа, анализ данных, написание и корректировка текста.

Ле Тхи Хонг Шанг – отбор проб, пробоподготовка, обработка данных, работа с литературой.

### *The authors' contribution to the article*

Baranovskaya N. V. – development of research methodology, participation in the preparation and conduction of radiographic analysis, data analysis, writing and editing the text.

Le Thi Hong Shang – sampling, sample preparation, data processing, work with literature.

*Статья поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2025; принята к публикации 17.02.2025.*

*Received 2025, February 6; approved after review 2025, February 10; accepted for publication 2025, February 17.*