

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'L. T. H. S.', is written over a light blue rectangular stamp.

Ле Тхи Хонг Шанг

**РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ
ОБСТАНОВКИ ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОГО РАЙОНА (РОССИЯ) И
ЮЖНЫХ ПРОВИНЦИЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
ВЬЕТНАМ**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Специальность 1.6.21 – Геоэкология

Томск – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: **Барановская Наталья Владимировна**
доктор биологических наук, профессор,
профессор отделения геологии Инженерной
школы природных ресурсов НИ ТПУ

Официальные оппоненты: **Жмодик Сергей Михайлович**
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник лаборатории
геохимии благородных и редких элементов,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт геологии и
минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск

Гавриков Владимир Леонидович
доктор биологических наук, доцент, ведущий
научный сотрудник научно-учебной
лаборатории экологического мониторинга,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский федеральный
университет», г. Красноярск

Защита состоится 18 декабря 2025 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.29 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
ДС.ТПУ.29
д.б.н., профессор

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to the academic secretary.

Барановская
Наталья Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Среди всех компонентов живого вещества (Вернадский, 1960) древесные растения обладают уникальной способностью фиксировать изменения окружающей среды в годовых кольцах, что делает их оптимальными объектами для ретроспективного анализа и индикаторами изменений, происходящих в геосферных оболочках, методами дендрохронологии и дендрогеохимии (Хи, 2004; Рихванов, 2015; Ваганов и др., 1996, 2013). Для территорий со сложной природно-техногенной обстановкой дендрогеохимические исследования, позволяющие определять специфику локальных и глобальных техногенных выпадений и показывать их трансформацию в исторической перспективе, являются весьма актуальными.

Территория Томской области, в частности Томский район и его Северный промышленный узел («Северный промышленный узел...», 1994; Рихванов, 2009) уже являлись объектом таких исследований (Миронова и др., 2020; Рихванов, 2015; Ляпина, 2012; Архангельская, 2004; Замятина, 2006; Юсупов, 2016а, 2021). В отличие от территорий Томской области, в Республике Вьетнам такие исследования практически не проводились. Локальные радио-эколого-геохимические ситуации территории Республики Вьетнам сформированы под воздействием военных действий прошлого века (NAS, 1974, 1994; Stellman, 2003), глобальных выпадений токсических элементов, связанных с расположением региона в одной из интенсивных точек загрязнения Юго-Восточной Азии (UNEP, 2019; Tang, 2025; Chen, 2024; Nguyen, 2019, 2024; Huan, 2022), а также близостью к Китайскому ядерному полигону Лобнор. Данные для сравнения уровня накопления элементного состава на территории Сибири и Республики Вьетнам в зависимости от воздействия локального техногенеза на фоне глобальных изменений отсутствуют. В связи с этим актуальность работы обусловлена необходимостью получения новых данных для этих территорий.

Цель данной работы – выявление особенностей динамики изменения дендрогеохимических и дендрохронологических показателей древесных растений в зависимости от эколого-геохимической обстановки территории произрастания

(на примере территорий южных провинций Социалистической Республики Вьетнам и территории Томского района Томской области, Россия).

Задачи исследования:

1. Выявить особенности изменения ширины годовых колец в районах Сибири (Томская область, Томский район) и Вьетнама (южные провинции);
2. Провести ретроспективный анализ ртутной нагрузки, обусловленной техногенными и природными факторами, а также особенностями климата на двух изучаемых территориях;
3. Выявить особенности элементного состава годовых колец сосны г. Далат, Социалистической Республики Вьетнам, формирующегося под влиянием антропогенных и естественных факторов;
4. Изучить особенности распределения делящих радиоактивных элементов в годовых кольцах сосны, обусловленных воздействием как глобальных выпадений, так и локальных факторов.

Объектами исследования являются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и сосна далатенская (*Pinus dalatensis* Ferré) территорий с различными природно-техногенными эколого-геохимическими обстановками Томского района (Россия) и южных провинций Республики Вьетнам.

Фактический материал. Фактическим материалом для написания данной работы послужили образцы, собранные автором в период с 2021 по 2024 гг. на территории Томского района и в феврале 2024 года – на территории Республики Вьетнам. Динамика накопления химических элементов под воздействием антропогенных и природных факторов в кернах сосны была изучена на основании следующего принципиального отбора проб:

- на территории Томской области выбраны четыре точки. Две точки - с. Пашино («Пашино») и мкр. Тимирязево («Тимирязево») расположены в зоне с минимальным воздействием города, на подветренной стороне от города. Две другие – «Реактор» и «Томскнефтехим» – подвержены воздействию промышленного и коммунального сектора (СПУ) г. Томска (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема размещения точек отбора проб кернов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – Томская область.

На территории г. Далат отобраны шесть точек, характеризующихся определенными эколого-геохимическими условиями и на территории провинций Даклак и Зялай, расположенных примерно в 280 км и 360 км соответственно к северу от г. Далат и считающихся зонами с наименьшим техногенным воздействием на окружающую среду по одной точке (рис. 2).

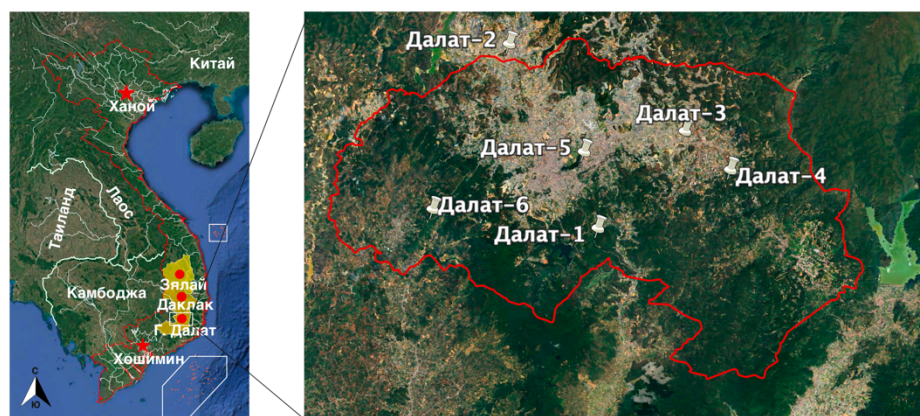


Рисунок 2 – Схема размещения точек отбора проб кернов сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré) – г. Далат, провинции Даклак и Зялай.

Таким образом, за период с 2021 по 2024 гг. проведено опробование 12 пунктов с отбором 24 проб древесных кернов и 1 пробы древесного спила и изучено 2078 годовых колец (таб. 1).

Методы исследования. Границы древесных колец определялись с помощью прибора ЛИНТАБ с программным обеспечением TSAP-Win (444 пробы годовых колец) при содействии к.г.-м.н. Ляпиной Е.Е. в лаборатории динамики и устойчивости экосистем в Институте мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН (г. Томск). Все анализы проб древесины выполнены на базе оборудования Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета, включающего атомно-

адсорбционный метод (ААС) (к.х.н. Осипова Н.А., к.г.-м.н. Ляпина Е.Е.), инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) и осколочную f-радиографию (f-радиография) (с.н.с. Судыко А.Ф.). Масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) определено содержание 72 химических элементов в ядрах сосны далатенской в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии (зав. лаб. к.г.-м.н. Хвощевская А.А., аналитик Куровская В.В.). Всего было проанализировано 600 проб на ртуть, 37 проб с использованием ИНАА, 10 проб на ИСП-МС и 3 пробы (в том числе 2 ядра и 1 спил) с применением f-радиографии.

Таблица 1 – Расположение точек отбора проб сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré)

Точка отбор проб		Место отбора проб	Количество керна
Томский район	Тимирязево	мкр. Тимирязево	4
	Пашино	с. Пашино	2
	Реактор ТПУ	вблизи исследовательского ядерного реактора ТПУ	2
	Нефтехим	ООО «Томскнефтехим»	2
Социалистическая Республика Вьетнам	ДЛ01	Перевал Прен, г. Далат	2
	ДЛ02	район Лакзыонг – в 12 км к северу от центра г. Далат	2
	ДЛ03	населенный пункт 11, г. Далат	2
	ДЛ04	вблизи промышленного узла Фатчи	2
	ДЛ05	парк Суанхыонг, населенный пункт 3, г. Далат	2
	ДЛ06	вдоль провинциальной дороги 725, коммуна Танунг, г. Далат	2
	Даклак	вдоль национального маршрута 14, в 50 км к северу от центра г. Буонматхыонг, провинция Даклак	2
	Зялай	вдоль национального маршрута 14, в 25 км к югу от центра г. Плейку, провинция Зялай	1

Достоверность защищаемых положений. Достоверность результатов обеспечивается анализом значительного количества образцов древесины с использованием современных высокочувствительных аналитических методов,

обработкой значительных экспериментальных данных с использованием статистики и глубиной изучения литературы по теме исследования. Статистическая обработка данных выполнялась при доверительной вероятности 95 %.

Научная новизна.

- Впервые использованы биоиндикаторы для проведения исторической реконструкции и сравнения изменения геохимии природно-техногенных факторов территорий Томской области и южных провинций Республики Вьетнам.

- Впервые установлены закономерности ртутной нагрузки в зависимости от разных локальных эколого-геохимических ситуаций исследуемых территорий. Выявлено, что ширина годовых колец хвойных деревьев (*Pinus sylvestris* L. и *Pinus dalatensis* Ferré) не отличается по значениям и имеет тенденцию к уменьшению к современному периоду. Динамика изменения ширины годовых колец зависит от суммы осадков в двух климатических зонах.

- Впервые установлена специфика накопления химических элементов в кольцах сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré) территорий южных провинций Республики Вьетнам и её зависимость от локальных эколого-геохимических условий с выделением элементов индикаторов этих условий.

- Впервые для территории южных провинций Республики Вьетнам (г. Далат и провинции Зялай) установлена тенденция распределения осколков деления радиоактивных элементов и выявлена специфика их распределения в древесных кольцах, отобранных на территории южных провинций Социалистической Республики Вьетнам.

Практическая значимость

1. Данные ширины годовых колец деревьев могут вносить вклад в Международный банк данных древесных колец (ITRDB; <https://www.ncdc.noaa.gov/>).

2. Полученные результаты могут быть применены для решения глобальных и локальных задач экологического мониторинга, а также разработки практических рекомендаций по улучшению экологической ситуации.

3. Изменение концентрации химических элементов и их пространственное распределение в годовых кольцах деревьев имеет практическое значение для поиска и обнаружения локальных геологических особенностей и наличия геохимических аномалий, обусловленных спецификой минерализации.

4. Результаты научных исследований могут быть использованы для разработки комплексной оценки антропогенного воздействия на окружающую среду и в учебных курсах направления «Экология и природопользование».

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы были апробированы на межвузовских и международных научных и научно-практических конференциях: XIII Международной Биогеохимической школе «Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований», посвященной 160-летию со дня рождения В.И. Вернадского в 2023 г. (г. Москва); XXVI Международной экологической студенческой конференции (МЭСК-2023, г. Новосибирск); VII, VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология и управление природопользованием» в 2023, 2024 гг. (г. Томск); XXVIII, XXIX Международном молодежном научном симпозиуме имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» в 2024 г. (г. Томск); XIV Международной биогеохимической школе-конференции «Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы» в 2025 г. (г. Томск).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографии, включающей 287 источников. Изложена на 187 страница машинописного текста, содержит, в том числе, 25 таблиц, 77 рисунков.

В главе 1 представлен краткий обзор применения дендрогеохимических и дендрохронологических показателей в мониторинге качества окружающей среды. В главе 2 описаны материалы и методы исследования: полевые, лабораторные методы исследования, а также камеральная обработка данных. В главе 3 дана характеристика распределения ртути и установлена динамика накопления ртутной нагрузки в древесине сосны в зависимости от локальной эколого-геохимической обстановки и особенностями климата в разных изучаемых территориях. В главе 4

приведены сведения о климате Сибири и Республики Вьетнам и приведена характеристика изменения ширины годовых колец на протяжении всего возраста сосен, произрастающих в разных климатических зонах. В главе 5 представлены характеристики распределения химических элементов в древесине сосен на территории, подверженной техногенному воздействию, и в условно-фоновом районе, приведены элементы, являющиеся природными и техногенными индикаторами. В главе 6 описаны особенности распределения делящихся частиц в древесине сосны на территории южных провинций Республики Вьетнам и выявлены накопления плотности треков от осколков деления, связанных с глобальными выпадениями и локальными радиоэкологическими обстановками, обнаруженные с применением метода f-радиографии.

Личный вклад. Автор осуществлял отбор кернов деревьев в Томской области и Вьетнаме с 2021 по 2024 гг., а также лично участвовал в полевых экспедициях. Под руководством научного руководителя автор подготовил образцы к анализу, проводил измерение ширины годовых колец, а также определял содержание ртути и изучал характер распределения треков под микроскопом. Кроме того, автором самостоятельно проведена статистическая обработка результатов, построены графики и схемы размещения точек отбора проб, дана их интерпретация к полученным результатам, сформулированы защищаемые положения, представленные в диссертационной работе, на основе системного анализа полученных фактических данных.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, профессору, д.б.н. Н.В. Барановской, за ценную помощь, консультации, рекомендации и практическую поддержку на протяжении всего периода подготовки диссертации. Более того автор признателен к.г.-м.н. Е.Е. Ляпиной за помощь в процессе пробоподготовки, измерении ширины колец и анализа ртути, а также за практическую поддержку и существенные замечания в течении всего периода выполнения работы. Особую благодарность автор выражает исполнителям аналитических исследований: А.Ф. Судыко, Л.В. Богутской, к.г.-м.н. А.А. Хвацевской и В.В. Куровской. Автор выражает сердечную благодарность

сотрудникам ОГ ИШПР за искреннюю помощь и советы: д.г.-м.н. С.И. Арбузову, д.г.-м.н. Е.Г. Язикову, к.г.-м.н. И.С. Соболеву, к.х.н. Н.А. Осиповой, к.г.-м.н. Л.В. Жорняк, к.г.-м.н. Б.Р. Соктоеву, а также всем остальным сотрудникам за поддержку. Особенную благодарность автор приносит магистранту отделения геологии М.Г. Крачнаковой за помощь в процессе пробоподготовки древесного керна и написания статей.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. *На территории Томского района Томской области (Россия) и южных провинций Социалистической Республики Вьетнам среднее содержание ртути имеет тенденцию к уменьшению к современному периоду. Максимальная концентрация Hg характерна для периода 1930-1970 гг. не зависимо от территорий с различием в медианных содержаниях, обусловленных локальными эколого-геохимическими условиями.*

Результаты показали значительное повышение среднего содержания ртути в годовых кольцах сосны южных провинций Социалистической Республики Вьетнам, составляющее $594 \pm 161,1$ нг/г, в то время как в Томском районе это значение составляет $113 \pm 32,1$ нг/г (таблица 2). Полученные содержания ртути имеют неравномерное распределение при высоком коэффициенте вариации с неоднородном разбросом максимальных и минимальных значений. Наибольший разброс минимально-максимальных содержаний Hg отмечается на территории Республики Вьетнам (5–11510 нг/г), с резким уменьшением на условно-фоновой территории провинции Даклак (5–65 нг/г). Территория Томского района характеризуется разбросом средних значений содержания ртути: от 5 до 3986 нг/г (таб. 2). Максимумы чаще встречаются на территории Республики Вьетнам в кольцах, соответствующих по времени периоду военных действий. За счет присутствия максимальных значений по содержанию элемента в эти периоды идет завышение среднего значения территории южных провинций Республики Вьетнам, по сравнению с древесиной, произрастающей в Томском районе.

В то же время анализ медианных значений показал, что для деревьев в Томском районе ртуть составляет 30,8 нг/г, а для Вьетнама – 9,3 нг/г. Такая

вариативность обусловлена локальными эколого-геохимическими факторами территорий исследования.

Таблица 2 – Статистические параметры содержания ртути в кернах *Pinus sylvestris* L. и *Pinus dalatensis* Ferré

Пункт отбора проб		Среднее содержание Hg, нг/г		Пики год/С _{Hg} , нг/г	Медиана, нг/г	Кв
		Вся выборка	Период, год С _{Hg} , нг/г			
Томский район	Тимирязево	133,7±23,9	<u>1942–1973</u> 293 <u>1974–2021</u> 30	<u>1942</u> 1170	47,0	161
	Пашино	127,6±47,2	<u>1942–1972</u> 312 <u>1973–2021</u> 13	<u>1947</u> 3505	17,7	332
	Реактор	67,3±21,6	<u>1930–1971</u> 125 <u>1972–1988</u> 6 <u>1989–2021</u> 27	<u>1932</u> 1953	27,0	309
	Нефтехим	146,1±51,2	<u>1941–1971</u> 325 <u>1972–2021</u> 38	<u>1942</u> 3986	29,0	317
Республика Вьетнам	ДЛ03	882,9±207,1	<u>1932–1970</u> 2117 <u>1971–2023</u> 8	<u>1954</u> 11380	10	227
	ДЛ04	876,4±272,9	<u>1943–1960</u> 3968 <u>1961–2023</u> 7	<u>1950</u> 11510	12,3	282
	Daklak	12,4±1,1	<u>1932–1973</u> 18 <u>1974–2023</u> 8	<u>1964</u> 65	6,7	88

Примечание: Кв – коэффициент вариации, С – среднее содержание

Это говорит о том, что в состав колец деревьев, произрастающих в условиях техногенеза зоны влияния Северного промышленного узла г. Томска (Рихванов и др., 2006), ртуть поступает постоянно в более высоких дозах, чем на территории Республики Вьетнам. На территории Томского района наибольшая концентрация Hg обнаружена в точке «Нефтехим», это обусловлено воздействием промышленного сектора г. Томска, в котором расположено крупное нефтеперерабатывающее предприятие ООО «Томскнефтехим» и предприятия

ядерно-топливного цикла (Рихванов, 1997, 2002, 2006; Архангельская, 2004) и также основным ветровым сносом с территории самого города (Рихванов, 2006). Для территории южных провинций Социалистической Республики Вьетнам максимальным содержанием характеризуются исключительно точки на территории г. Далат, в которых средние значения ртути в десятки раз выше по сравнению с древесиной сосен из провинции «Даклак» (условный фон). Все максимумы приходятся на период военных действий и определяют аномально высокие показатели среднего содержания ртути при медианном значении, составляющем 9,3 нг/г.

Для двух изучаемых территорий характерна тенденция снижения содержания Hg в годовых кольцах деревьев с 1930-х гг. к настоящему времени, как демонстрируют рисунки 3 и 4. Максимальные накопления Hg на территории Томского района совпадают с пиками в торфе, торфяных месторождениях «Озерное» (ХМАО) и «Бакчар» (Томская область) по данным литературного обзора (Ляпина, 2012) и приходятся на 30-е, начало 40-х годов прошлого столетия. Данный вопрос требует отдельного рассмотрения.

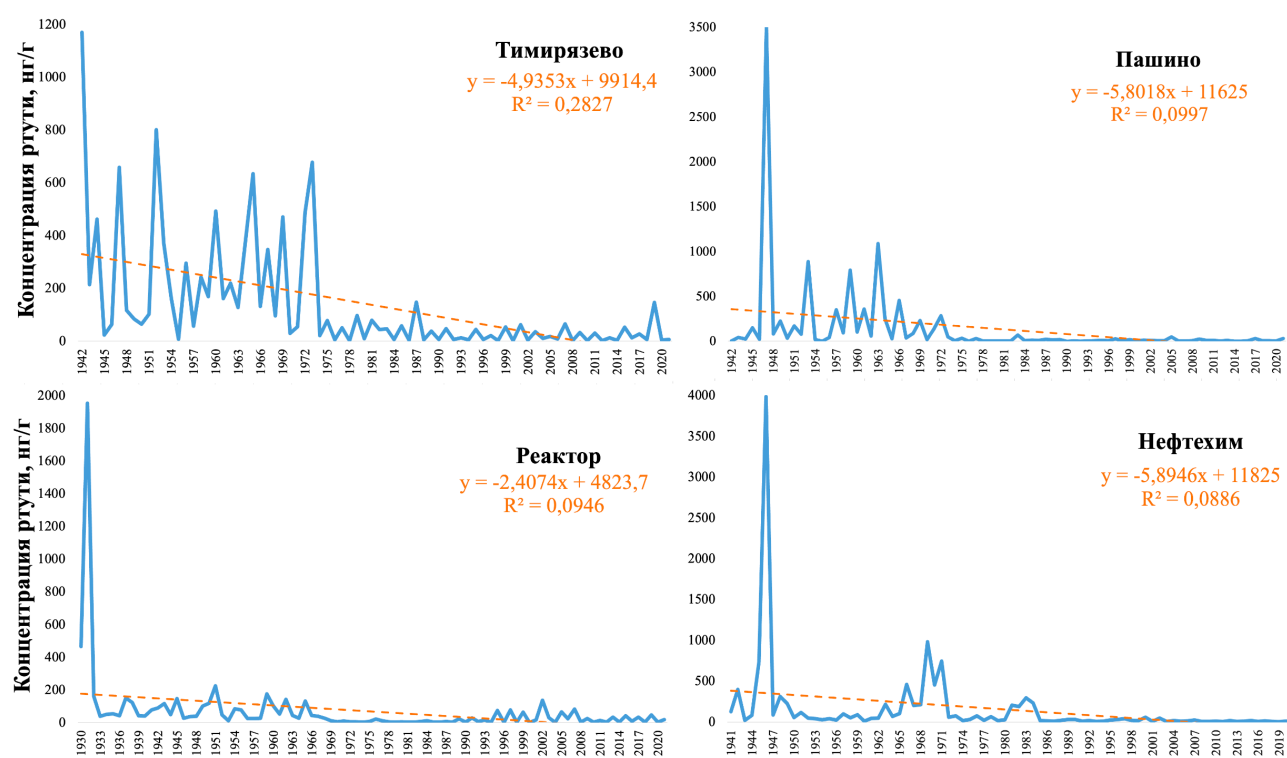


Рисунок 3 – Динамика поступления Hg в древесные керны *Pinus sylvestris* L. на территории Томского района

Максимальное накопление Hg в древесине на территории южных провинций Республики Вьетнам наблюдалось в период 1932–1970 гг. во всех точках опробования, совпадающее с хронологией военных конфликтов (рис. 4). Негативные воздействия на природную среду связаны с применением большого количества гербицидов во Второй Индокитайской войне (NAS, 1974; National Academies Press, 1994), мелкомасштабной добычей олова и золота Французским колониальным правительством и деятельностью по сжиганию биомассы, соответствующей вырубке лесов этническими меньшинствами в Центральном нагорье Вьетнама.

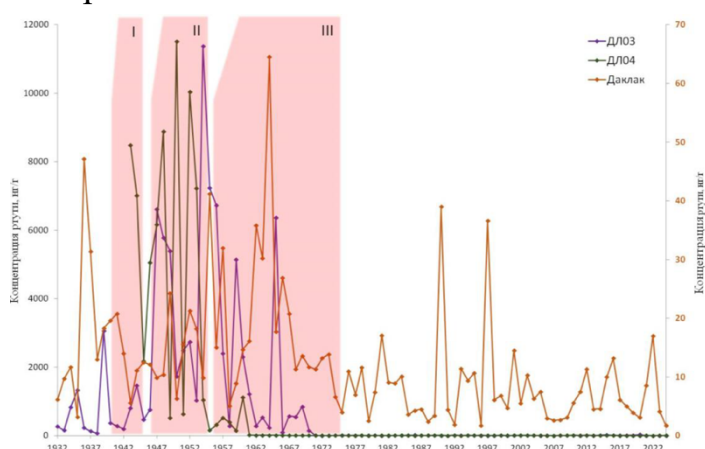


Рисунок 4 – Концентрация ртути в древесных ядрах на территории Республики Вьетнам: I – война за защиту Отечества против японского империализма (1940–1945 гг.); II – Первая Индокитайская война против Французского колониализма (1946–1954 гг.); III – Вторая Индокитайская война против Американского империализма (1955–1975 гг.)

Выделяется закономерность распределения максимального всплеска в период 1930–1970 гг., что отражает наибольший техногенный прогресс, наращивание военного производства и глобальные тенденции потоков Hg из разных природных архивов окружающей среды. При этом, независимо от территории, наблюдается снижение концентрации ртути к современному периоду. Полученные нами данные соответствуют общемировым тенденциям, установленным для депонирующих сред (таких как донные отложения озер и морей, торф, ледники), обобщенные международными агентствами и приведенными в различных литературных источниках (Statistical Review of World Energy, 2022; UNEP, 2019; Verbrugge, 2020; Veiga, 2020; Chen, 2025).

При этом важным является тот факт, что эти тенденции характерны для территорий, находящихся в разных климатических зонах. Нами дополнительно были проанализированы дендрологические показатели. Выявлено, что средняя ширина годового кольца в Томском районе составляет $2,7 \pm 0,14$ мм, средняя

ширина годового кольца в г. Далат – $2,1 \pm 0,19$ мм. Общая тенденция изменения ширины годовых колец сосны показывает снижение с начала 1900-х гг. до настоящего времени. Основными климатическими параметрами, влияющими на ширину годового кольца, являются суммы осадков во все изученные периоды года и продолжительность положительного температурного периода и количества дней с осадками, выпадающими на территорию двух климатических регионов.

Таким образом, сравнение хронологий древесных колец показало, что тенденция реагирования на климатические условия является постоянной на разных опробованных точках вне зависимости от территории исследования.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. *Индикаторами природной геохимической обстановки территории г. Далат Социалистической Республики Вьетнам в составе древесины сосны даладенской (*Pinus dalatensis* Ferré) являются элементы, равномерно распределяющиеся по кольцам (K, Ca, Rb, Zn) с преимущественным концентрированием кремния и редкоземельных элементов в древесине. Техногенез отражается в существенном концентрировании на территории городской агломерации хрома и железа в кольцах древесины, а также в накоплении натрия и мышьяка в кольцах древесины, соответствующие военным действиям.*

Для территории г. Далат характерным является сложная природно-техногенная обстановка. Она обусловлена наличием специфических геологических структур и ряда производственных объектов (как например, исследовательский реактор, наличие железной дороги, промышленного комплекса Фатчи и мелкомасштабной добычи олова, золота и каолина на территории г. Далат). Нами установлены особенности концентрирования химических элементов в древесине сосны, произрастающей на территории расположения уникальной геологической структуры, представляющей собой грейзенизированный базальт. Точка отбора проб («Далат-1») располагалась в районе распространения полевошпатовой породы формации Дыонзыонг, жила в породе имеет микроскладчатую структуру шириной 1–2 м, прорезает экструзивные туфовые породы и характеризуется высокой радиоактивностью. Порода вокруг фельзит-порфировой жилы отличаются высоким содержанием урана, церия и лантана. Анализ содержания

химических элементов в коре сосны, произрастающей на данной территории, показывает существенное отличие в концентрировании элементов по сравнению с другими деревьями.

Результаты проведенной нами рентгеновской дифрактометрии почвы и горной породы этой территории показали, что в ней преобладают кварц и полевые шпаты (микроклин, ортоклаз), слюды (биотит, мусковит), каолинит, кальцит, доломит, магнетит и др. Породы обогащены кремнием, щелочными элементами, в частности, калием, происходит в меньшей степени накопление железа, магния и алюминия. Древесина сосны обогащена щелочными, щелочноземельными, редкоземельными и радиоактивными элементами, что согласуется с геологической специализацией, характерной для базальтовых и гранитных пород формации Динькуан, Деока и комплекса Анкроет, формации Донгзыонг (Zhang, 2023; Vỹ, 2004).

Таким образом, состав пород данной территории зафиксирован в годовых кольцах. Это хорошо демонстрируют графики соотношений суммы натрия и калия к кремнию и также натрия к калию в древесных кольцах сосны с территории г. Далат по сравнению с деревьями условно-фоновой провинции Зялай (рис. 5).

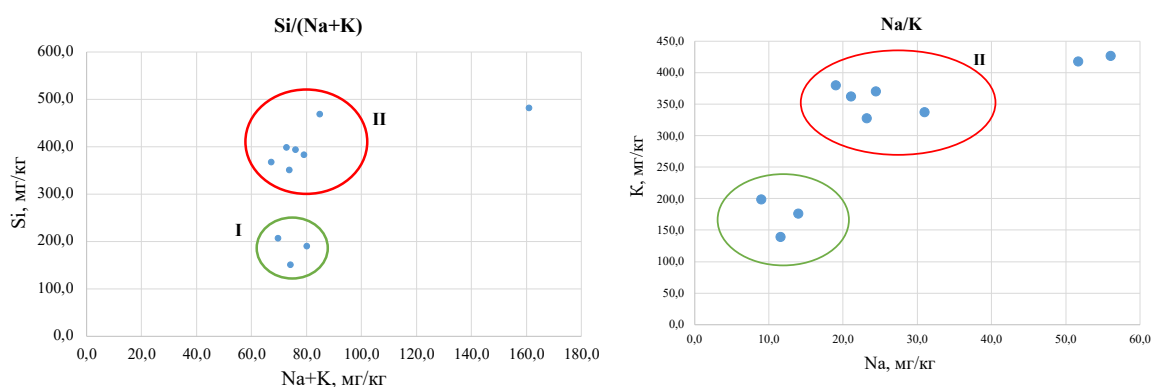


Рисунок 5 – Поля соотношения химических элементов в годовых кольцах сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré) разных территорий Республики Вьетнам: I – провинция Зялай; II – город Далат.

Индикаторами природной геологической особенности г. Далат также являются элементы, имеющие равномерное распределение во всех временных периодах, такие как калий, рубидий, кальций, цинк (рис. 6).

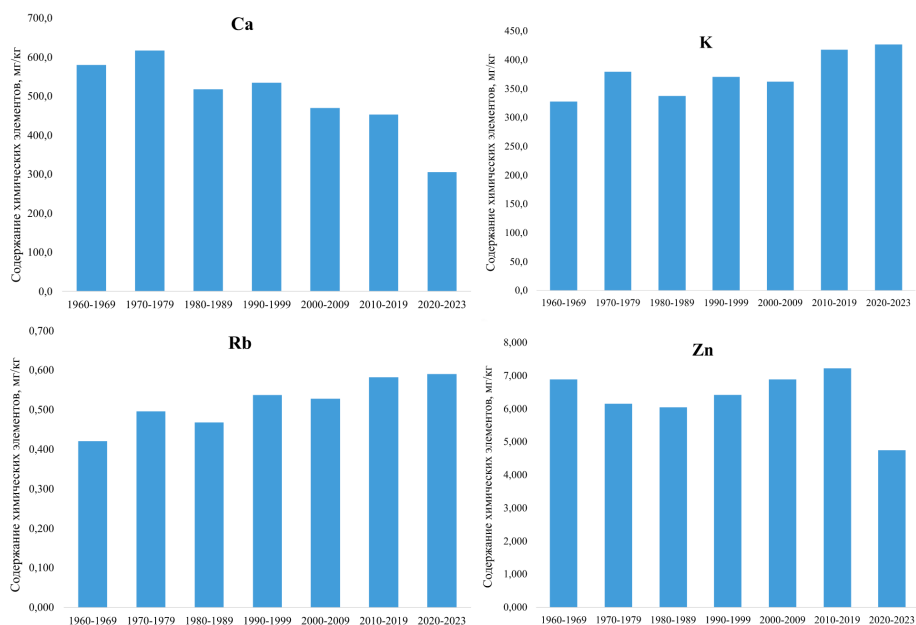


Рисунок 6 – Динамика содержания кальция, рубидия, калия и цинка в годовых кольцах сосны *Pinus dalatensis* Ferré на территории г. Далат, Республики Вьетнам.

Эти элементы имеют равномерное распределение по всем временным рядам и демонстрируют тенденцию к увеличению концентрации в период 2020–2023 гг., что связано с интенсификацией пыления на отдельных участках.

Техногенные индикаторы выделяются в изменениях их содержаний в составе древесины на разных временных промежутках. Особенностью техногенной нагрузки является повышение содержания тяжелых металлов в точках «Далат-3» и «Далат-4», расположенных в восточной части города, вдоль железной дороги и вблизи промышленного узла Фатчи (рис. 7).

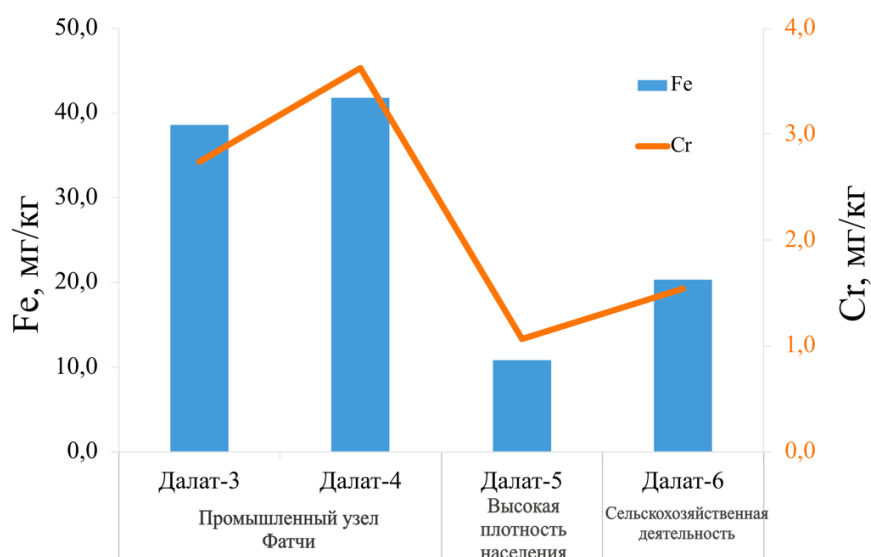


Рисунок 7 – Характер накопления содержания Fe и Cr в годовых кольцах сосны разных точек на территории г. Далат Республики Вьетнам (мг/кг, св)

Как известно, индикаторами промышленного производства являются хром и железо (Головин, 2000; Миронова, 2020). Но промышленный узел Фатчи является мелкомасштабной площадкой и работает с 2020 г., более того, в составе производства и отходов основных предприятий отсутствует содержание хрома и железа. Поэтому отмечаются незначительные воздействия этого комплекса, которые свидетельствуют о тенденции к уменьшению к современному периоду содержаний тяжелых металлов в годовых кольцах точки «Далат-4» (район Фатчи) (рис. 8).

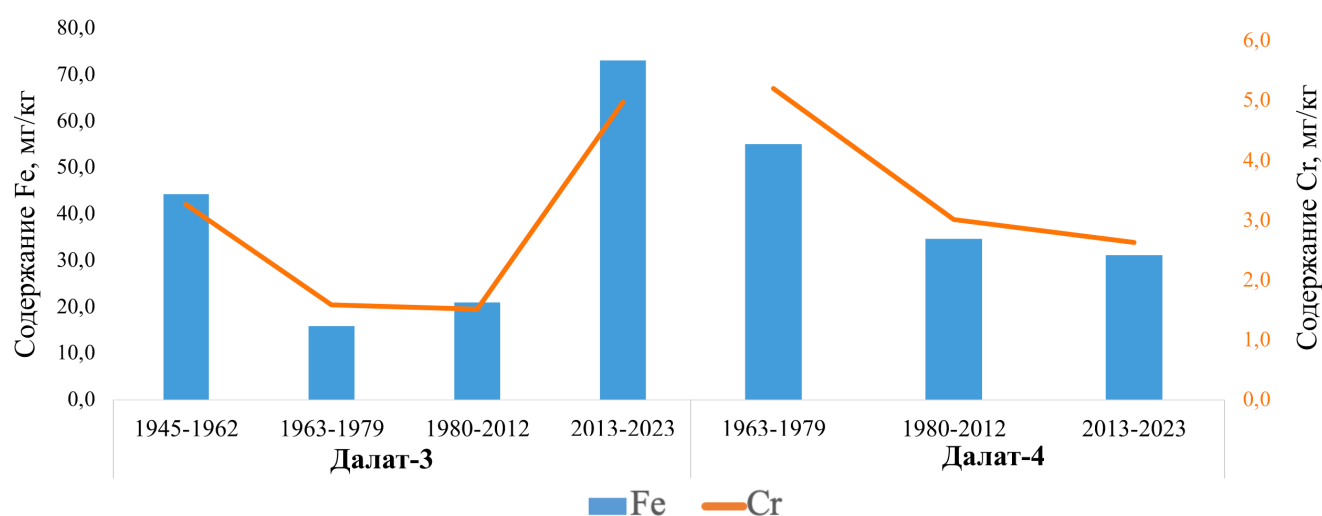


Рисунок 8 – Динамика изменения содержания Fe и Cr в годовых кольцах сосны территории г. Далат Республики Вьетнам (мг/кг, св)

Противоположная тенденция была выявлена в древесине точки «Далат-3» (железнодорожный узел), в которой были обнаружены увеличения содержания элементов в период 1945–1962 и 2013–2023 гг. – период работы железной дороги Далат-Тхаптам и Далат-Чаймат (рис. 8).

К факторам техногенеза, формирующим дендрогеохимические показатели, можно отнести применение гербицидов для уничтожения посевов риса и площади леса, которые происходили в большинстве южных провинций Республики Вьетнам во время военных действий. Более интенсивному распылению были подвержены некоторые районы страны, которые расположены в первом корпусе – Центральной части Республики Вьетнам и вдоль высокогорных и горных долин во втором корпусе (провинций Комтум, Даклак, Зялай, г. Далат – Ламдонг) (NAS, 1974; National Academies Press, 1994). Так, применение дефолиантов во время военных

действий во Вьетнаме привело к резкому увеличению его содержания в период, включающий начало войны (с 1955 г.). Один из первых гербицидов, использовавшихся во время войны во Вьетнаме, представлял собой смесь каодиловой кислоты и её натриевой соли. Каодиловая кислота и её соли использовались для создания гербицидов множеством производителей и продавались под многочисленными брендами. Разновидность, использовавшаяся во Вьетнаме (Агент Блю), называлась Phytar 560G (National Academies Press, 1994). Она содержала в своем составе натрий и мышьяк (рис. 9, 10), резкое повышение содержания которых зафиксировано нами в кольцах сосны, соответствующих периоду применения гербицида.

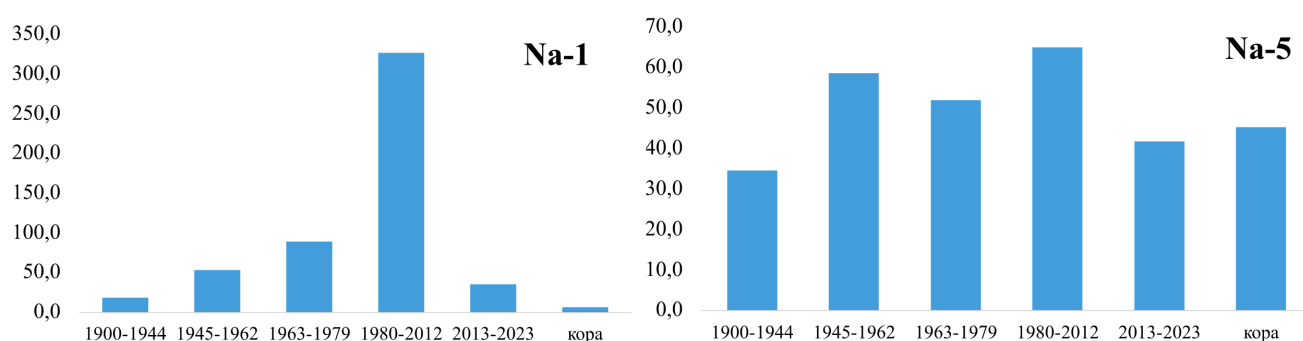


Рисунок 9 – Характер накопления натрия в годичных кольцах сосны территории Республики Вьетнам (мг/кг св). Сосны точек «Далат-1» (Na-1) и «Далат-5» (Na-5).

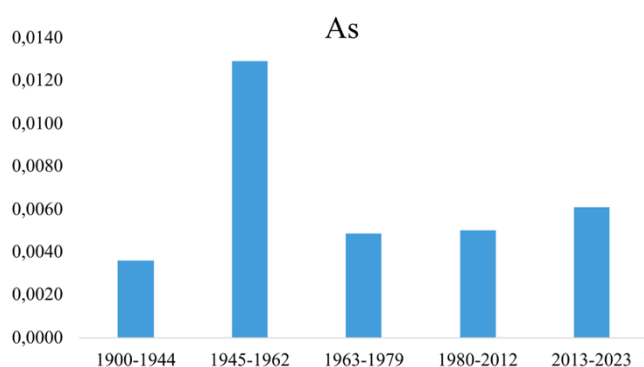


Рисунок 10 – Диаграмма изменения содержания (мг/кг св) мышьяка в кольцах *Pinus dalatensis* Ferré на территории г. Далат, Республика Вьетнам

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о высокой индикаторной роли дендрогеохимических показателей как в выявлении локальных природных, так и техногенных факторов, формирующих эколого – геохимический фон территорий.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. *Формы распределения делящихся частиц в кольцах сосны далатенской имеют характер равномерный и локальный (в виде «звезд» и скоплений). Метод осколочной f-радиографии позволяет утверждать, что максимальной напряженностью радиозоологической ситуации на территории расположения г. Далат Социалистической Республики Вьетнам характеризуется период 40-60 х гг. прошлого столетия, для которого характерно максимальное концентрирование «звезд» и скоплений делящихся элементов в составе древесных колец.*

В ходе исследования с применением метода осколочной f-радиографии нами зафиксировано распределение треков от осколков деления в составе колец сосны далатенской на двух территориях: в условно-фоновой провинции Зялай и техногенно-измененном г. Далат Республики Вьетнам. Установлено, что имеет место три формы распределения: равномерное и в виде «звезда» и скоплений (рис.11).

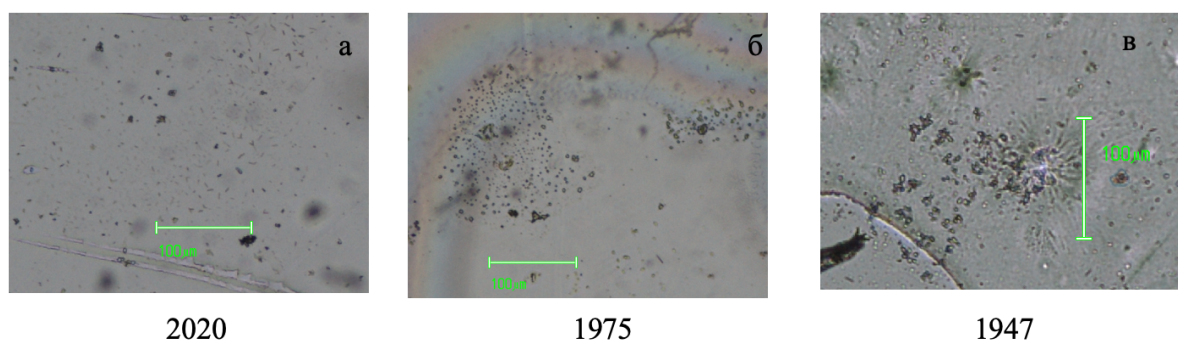


Рисунок 11 – Изменение характера распределения треков в древесине сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré) г. Далат, Республики Вьетнам. Формы: а) равномерное распределение, б) скопления, в) звезда

В фоновом регионе особенностью является наличие скоплений треков, зафиксированных в период 2006–2011 гг., и треков в виде «звезд» в период 1994–1997 гг. (рис. 12). Высокая плотность треков в эти периоды связана, по нашему мнению, с глобальными выпадениями радионуклидов при испытании ядерного оружия в Китае и других странах (1990-е гг.) и аварией на японской станции в Фукусиме. Равномерное распределение встречается во всем спиле с невысокой плотностью.

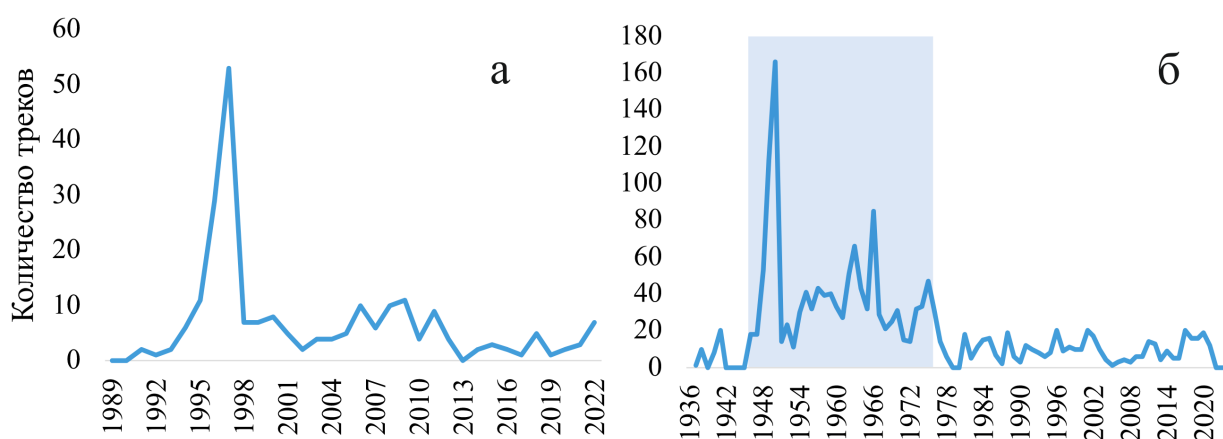


Рисунок 12 – Распределение треков в годовых кольцах *Pinus dalatensis* Ferré на территории Социалистической Республики Вьетнам: а) провинции Зялай; б) г. Далат

Анализ распределения треков на территории, где расположен ядерный объект – Далатский исследовательский ядерный реактор, показал, что общая картина максимальной встречаемости треков в виде звезд и скоплений схожа с таковой для фоновой территории (рис.12). Также наблюдаются пики в 1996 г. и других годах. Максимальная напряжённость поля делящихся радиоактивных элементов на территории г. Далат представлена в период наиболее активных ядерных испытаний с 1946 по 1976 гг. (рис.12), для которого характерно наибольшее наличие горячих частиц, представленных в виде «звезд».

Сопоставление полученных результатов с данными о проведении ядерных взрывов (Právělie R., 2014) позволяет сделать вывод, что как для фоновой, так и для техногенной территории имеет место влияние глобального выпадения радионуклидов. В период 1990-х – 2000-х гг. ядерные взрывы, проводимые на полигонах Китая, Индии и Северной Кореи, фиксируются более высокой частотой встречаемости в виде звезд и скоплений.

Проведен анализ фактического содержания тория и урана в древесных кольцах сосен с применением метода инструментального нейтронно-активационного анализа и рассмотрено их соотношение. Th/U отношение изменяется от 0,2 до 4,9 и большинство значений, превышающих 1, характерно для колец деревьев с территории г. Далат (16 из 27 проб). Это обусловлено природными особенностями региона, для которого характерно наличие ферралитовых почв. Кроме того, применение фосфорных удобрений (содержащих уран) на

сельскохозяйственных площадях способствует увеличению содержания урана в окружающей среде, что также может приводить к снижению отношения Th/U.

Таким образом, особенности накопления радиоактивных элементов в древесине сосны отражают влияние природных и техногенных факторов как регионального, так и глобального масштаба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлена эколого-геохимическая специфика накопления и распределения химических элементов в древесине сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Томского района и сосны далатенской (*Pinus dalatensis* Ferré) в южных провинциях Социалистической Республики Вьетнам. В целом можно сделать следующие выводы.

Радиальный прирост древесины на исследованных территориях за изученные временные отрезки не отличается в значениях и имеет тенденцию уменьшения к современному периоду. В условиях положительной динамики изменения глобальной температуры, на ширину годового кольца влияние оказывает сумма осадков, вне зависимости от территорий.

Установлена общая тенденция к снижению содержания Hg в древесине независимо от территории в период 1930–2021/2023 гг. на фоне вариативности ее содержания в растениях, произрастающих в разной локальной эколого-геохимической обстановке, что отражается в средних и медианных значениях. Повышенные медианные значения концентрации Hg в древесине Томского района по сравнению с таковым в южных провинциях Республики Вьетнам (30,8 нг/г; 9,4 нг/г) обусловлены интенсивной локальной техногенной нагрузкой, в частности, влиянием Северного промышленного узла г. Томска. Повышенное среднее содержание элемента отмечается в древесине Республики Вьетнам по сравнению с Томским районом ($594 \pm 161,1$ нг/г; $113 \pm 32,1$ нг/г), что обусловлено аномалиями содержаний Hg в отдельных годовых кольцах в периоды военных конфликтов.

Выделяется максимальный всплеск содержания Hg в период 1930–1970 гг. независимо от территории, что согласуется с трансграничным переносом ртути из континентальной части Восточной Азии и применением химического оружия во

время военных действий на территории Республики Вьетнам, а также ростом промышленного производства в годы Великой Отечественной войны и послевоенного восстановления страны на территории Томского района.

Природные индикаторы, характеризующие рудную минерализацию г. Далат, выявлены в равномерном распределении в кольцах сосны во всех временных периодах Ca, K, Rb и Zn. Спецификой элементного состава древесины в рудной зоне г. Далат является повышение содержания основного минерала – Sn и сопутствующих As, Bi, Cu, Mo, W, Au, Pb, обусловленных интенсификацией пыления. Повышение содержания хрома и железа на территории городской агломерации, а также повышение уровня натрия и мышьяка в ответ на распыление гербицидов во время военных действий являются индикаторами техногенеза для города Далат.

По результатам изучения особенностей делящихся радиоактивных элементов в древесине сосны зафиксированы разные плотности и характеристики основных форм треков в зависимости от напряженности поля радиоактивной ситуации изучаемой территории. Пики распределения треков в виде «звезд» и скоплений, обнаруженных в годовых кольцах, соответствуют периодам ядерных взрывов, производимых в разных частях мира, а также реакцией на аварии на ядерных объектах. Большой временной ряд сосны с территории г. Далат показал, что максимум треков в виде скоплений и звезд отмечается в период активных ядерных испытаний в атмосфере, а на условно-фоновой территории провинции Зялай – в период 1990-х и 2000-х гг., когда было осуществлено множество взрывов в Китае, Индии и Северной Корее.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, индексируемых базой данных Scopus Web of Science

1. Ляпина Е.Е., Ле Т.Х.Ш., Крачнакова М.Г., Барановская Н.В., Маркелова А.Н., Золотов С.Ю. Дендрогеохимия Hg по данным изучения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) на территории Томского района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 8. – С. 125–136. DOI: 10.18799/24131830/2024/8/4602

2. Ле Т.Х.Ш., Барановская Н.В., Ляпина Е.Е., Крачнакова М.Г. Закономерности концентрирования ртути в годовых кольцах деревьев территорий Сибири (Россия) и Республики Вьетнам // Известия Томского политехнического

университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – No 2. – С. 215–230. DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4930

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

Публикации в материалах конференций

4. Ле Т.Х.Ш. Применение метод дендрохронологии и дендрогеохимии в изучении территории Томской области и Социалистической Республики Вьетнам // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXIX Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 80-летию Победы в Великой Отечественной войны, Томск, 07–11 апреля 2025 года. – Томск: Изд-во ТПУ, 2025. – С.191-192.

5. Барановская Н.В., Ле Т.Х.Ш. Дендрогеохимический метод в индикационных исследованиях территории Сибирского региона // Экология и управление природопользованием: сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Томск, 29 ноября 2024 г.; под ред. А. М. Адама. Вып. 7. – Томск: Литературное бюро, 2025. – С. 13-16.

6. Ле Т.Х.Ш. Особенности поступления урана и тория в годовые кольца сосны обыкновенной на территории Прибайкалья // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXVIII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 125-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева и 130-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова, Томск, 01–05 апреля 2024 года. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – С. 242-243.

7. Ле Т.Х.Ш., Крачнакова М.Г. Влияние метеорологических характеристик на дендрогеохимию ртути территории Томского района // Экология России и сопредельных территорий: Материалы XXVI Междунар. экол. студ. конф. / Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. – с. 34.

8. Ле Т.Х.Ш., Крачнакова М.Г., Ляпина Е.Е., Барановская Н.В. Геохимические особенности поступления Hg в годовые кольца сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Эволюция биосферы, биогеохимические циклы и биогеохимические технологии: связь фундаментальных и прикладных исследований : Материалы XVIII Международной биогеохимической школы-конференции, посвященной 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского, Пущино, Московская обл., 25-29 сентября 2023 года. – Пущино. ООО “Товарищество научных изданий КМК”, 2023. – С. 227-230.