

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## CONSTRUCTION AND URBAN ECOLOGICAL SECURITY

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2025. Т. 27. № 6. С. 282–295.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2025; 27 (6): 282–295.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 543.423.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-282-295

EDN: GBAQZP

### ЭКОМОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ ПАРАБЕЛЬСКОГО РАЙОНА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Владимир Ильич Отмахов<sup>1</sup>, Юрий Сергеевич Саркисов<sup>2</sup>,  
Ольга Александровна Зубкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, Россия

**Аннотация.** *Актуальность.* Экологическая архитектура является новым направлением в строительстве и освоении урбанизированных территорий, нацеленным на гармоничное сочетание социальных и экологических потребностей человека. Одной из основных задач экологической архитектуры является создание комфортной среды обитания, что соответствует приоритетным направлениям государственной политики Российской Федерации.

*Цель* исследования – оценка экологического состояния территории Парабельского района Томской области, являющегося крупным нефтегазодобывающим регионом, с использованием биоиндикационных методов.

*Методы.* В работе применен эмиссионный спектральный анализ с использованием спектрометра «Гранд» с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС), полихроматор «Роуланда» и генератор «Везувий-3» (РФ), программное обеспечение «Атом».

*Результаты.* Установлены общие закономерности накопления и распределения химических элементов в объектах животного и растительного происхождения как индикаторов экологического состояния окружающей среды исследуемого региона. Проведена сравнительная оценка концентраций тяжелых металлов относительно нормативных по-

казателей – предельно допустимых концентраций – и фоновых (референтных) значений. Рассчитаны коэффициенты концентрирования и биохимической активности для ряда видов растительности, подтверждающие их индикаторную роль в мониторинге экологического состояния среды.

**Выводы.** Полученные данные свидетельствуют о локальном техногенном загрязнении территории, обусловленном деятельностью нефтегазодобывающего комплекса. На основе результатов предложены рекомендации по реализации комплекса природоохранных мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки и улучшение качества среды обитания, что является необходимым условием обеспечения экологической безопасности в градостроительной и инфраструктурной деятельности на рассматриваемой территории.

**Ключевые слова:** экомониторинг, экологическая архитектура, комфортная среда обитания, индикаторы, тяжелые металлы, дуговой атомно-эмиссионный спектральный анализ, коэффициенты биохимической активности, методики выполнения измерений

**Для цитирования:** Отмахов В.И., Саркисов Ю.С., Зубкова О.А. Экомониторинг территории Парабельского района Томской области // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 282–295. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-282-295. EDN: GBAQZP

## ORIGINAL ARTICLE

### ECOLOGICAL MONITORING OF PARABELSKY URBAN ZONE OF THE TOMSK REGION

Vladimir I. Otmakhov<sup>1</sup>, Yuri S. Sarkisov<sup>2</sup>, Olga A. Zubkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

**Abstract.** Ecological monitoring is a new approach to the construction and development of urban areas, focused on urban zone and city planning, combining satisfaction of both social and environmental needs. One of the main goals of ecological monitoring is the creation of ecologically clean natural zones using modern technologies and high-quality materials.

**Purpose:** The aim of this work is to evaluate the ecological state in the Parabelsky urban zone of the Tomsk region, which is a main oil and gas producing region.

**Methodology:** A Grand spectrometer with a multichannel emission spectrum analyzer is used in combination with a Rowland polychromator and a Vesuvius-3 high-frequency generator with Atom software.

**Research findings:** The content of key elements is detected in animals and plants and demonstrate their impact on the environment. It is shown that a set of measures to eliminate negative causes of the environmental pollution can improve the environmental situation in the urban zone.

**Value:** The data obtained indicate to a localized man-made pollution caused by the oil and gas production complex. Based on the results, recommendations are proposed for the implementation of a set of environmental measures aimed at reducing anthropogenic load and improving the quality of the habitat, which is a prerequisite for the environmental safety in urban development and infrastructure activities in this urban area.

**Keywords:** ecological monitoring, comfortable living environment, indicator, animals and plants, heavy metal, atomic emission spectroscopy, biochemical activity coefficient, measurement methods

**For citation:** Otmakhov V.I., Sarkisov Yu.S., Zubkova O.A. Ecological Monitoring of Parabelsky Urban Zone of the Tomsk Region. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo

arkhitekturo-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 282–295. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-282-295. EDN: GBAQZP

В настоящее время одной из наиболее острых экологических проблем является загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами – высокотоксичными элементами, способными к биоаккумуляции и длительному сохранению в биосфере. Тяжелые металлы оказывают негативное влияние на все компоненты экосистемы, включая воду, почву, объекты растительного и животного происхождения [1–15].

Целью работы является экомониторинг территории Парабельского района Томской области – региона, играющего значимую роль в нефтегазовом секторе Томской области. На его территории развиты лесозаготовка, добыча полезных ископаемых (нефть, газ, торф), ведется сельское и промышленное хозяйство. Это обеспечивает экономическое развитие всей области, но в то же время создает потенциальные экологические риски.

Природные условия района – равнинный рельеф, высокая заболоченность, кислые почвы и холодный климат – создают предпосылки для накопления загрязняющих веществ в окружающей среде.

В рамках исследования в качестве индикаторных объектов выбраны широко распространенные в Парабельском районе представители местной флоры и фауны, обладающие высокой чувствительностью к изменениям качества среды и способностью к накоплению токсичных элементов. К такого рода маркерам относятся лекарственные растения, ягоды и грибы, традиционно используемые населением в пищу и народной медицине. Дополнительно в качестве биоиндикаторов использованы волосы человека и чешуйчатый покров рыб – ткани, хорошо адсорбирующие тяжелые металлы из атмосферного воздуха, воды, почвы.

#### Методика исследования

Модельная схема пробоподготовки исследуемых объектов включала: высушивание, обезжиривание (при необходимости), измельчение и озоление при  $(450 \pm 50)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, необходимое для полного удаления органической составляющей. Полученные зольные остатки взвешивались и гомогенизировались до однородной порошкообразной массы. Для определения макроэлементного состава зольные остатки разбавлялись графитовым порошком в соотношении 1:100. При анализе примесей, в том числе тяжелых металлов, осуществлялось разбавление в соотношении 1:10 с учетом устранения матричных влияний основных компонентов. Выбор указанного соотношения обусловлен пределом обнаружения ряда регламентируемых тяжелых металлов.

Анализ проводился на атомно-эмиссионном спектрометре «Гранд» с многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС) в комплексе с полихроматором «Роуанда» и генератором «Везувий-3» (РФ), оснащенном программой «Атом» [16–30].

Для оценки влияния матричных элементов при анализе примесей и микропримесей выполнялся предварительный скрининг исследуемых объектов на содержание основных элементов и анионов, входящих в состав зольных остатков.

Достоверность результатов для анализа волос подтверждена путем сравнения с методом ИСП-МС низкого разрешения (Agilent 7500сх).

Учет матричного влияния сульфата кальция при спектральном анализе волосяного субстрата осуществлялся путем корректирующих коэффициентов, выведенных и учтенных при аттестации методики. Модернизированный подход продемонстрировал превосходство над альтернативной методикой ИСП-МС.

Достоверность проведения оценки грибов проводилась по критериям равнозначности и внутрилабораторной прецизионности с участием нескольких операторов. Для растительных объектов проверка правильности результатов выполнена путем сравнения содержания микроэлементов в стандартном образце листа березы. Матричное влияние устранялось путем введения в стандартные образцы компонентов, имитирующих состав реальных проб графитового коллектора микропримесей СОГ-37 [28]: для грибов – спиртовой раствор фосфата калия, для растений – спиртовой раствор карбоната калия в расчете 2 масс. % по калию, что согласуется с его содержанием в зольных остатках исследуемых проб и стандарта листа березы. Используемый метод анализа позволил повысить точность и воспроизводимость результатов экспериментов и подтвердить достоверность проведенных исследований.

### Результаты и их обсуждение

В работе определено содержание основных элементов в объектах животного и растительного происхождения, отобранных на территории Парабельского района Томской области (табл. 1, 2).

Таблица 1

#### Скрининговый анализ минерального состава зольных остатков исследуемых объектов

Table 1

#### Screening analysis of the mineral composition of ash residues

Анализируемый объект	Элемент
Волосы	Ca > Mg > Zn > K > Na > P
Рыбы	Ca > Mg > Zn > Ba > P > Mn
Лекарственные растения	K > Ca > Mg > Na > Fe > Zn
Ягоды	K > Ca > Mg > P > Si > Mn
Грибы	K > Ca > Mg > Zn > Fe > Si

В табл. 2 представлены интервалы элементов, которые могут оказывать наибольшее влияние на определение примесей и микропримесей.

Основываясь на данных, представленных в табл. 1, 2, можно заключить, что в объектах животного происхождения преобладают Ca, Mg и Zn. В объектах растительного происхождения – K, Ca и Mg. Эти данные указывают на особую роль ионов калия в жизнедеятельности представителей флоры, в то время как в объектах животного происхождения решающую роль играют ионы кальция.

С помощью ИК-спектроскопии в режиме нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием Фурье-спектрометра установлен анионный состав [29–33] зольных остатков исследуемых объектов (рис. 1–4).

Таблица 2

Концентрация основных элементов, входящих в состав зольных остатков исследуемых объектов (в масс. %)

Table 2

Concentration (wt. %) of the main elements included in the composition of ash residues

Анализируемые объекты	К	Ca	Р
Грибы	15–20	3–5	0,5–1,0
Ягоды	8–10	2–4	1,0–2,0
Лекарственные растения	15–20	4–6	2–4
Волосы	0,5–1,0	20–30	0,1
Рыбы	1,0–2,0	12–15	0,6–0,8

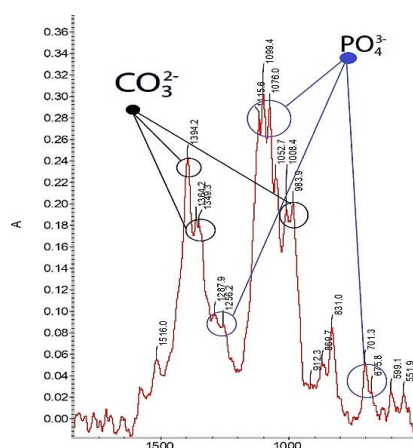


Рис. 1. ИК-спектр поглощения золы грибов  
Fig. 1. IR absorption spectrum of milk fungus ash residuals

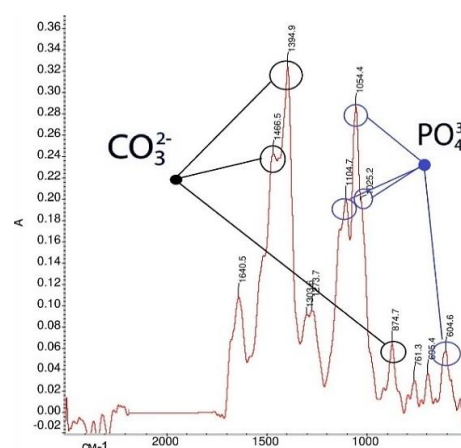


Рис. 2. ИК-спектр поглощения золы малины  
Fig. 2. IR absorption spectrum of Rubus idaeus ash residuals

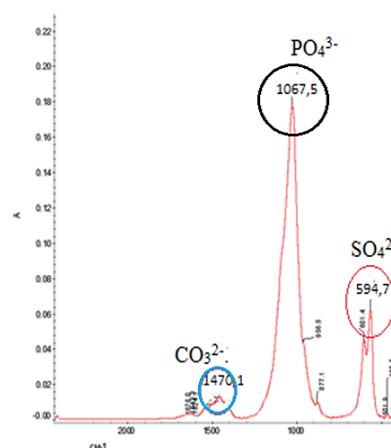


Рис. 3. ИК-спектр поглощения золы леща  
Fig. 3. IR absorption spectrum of Abramis brama ash residuals

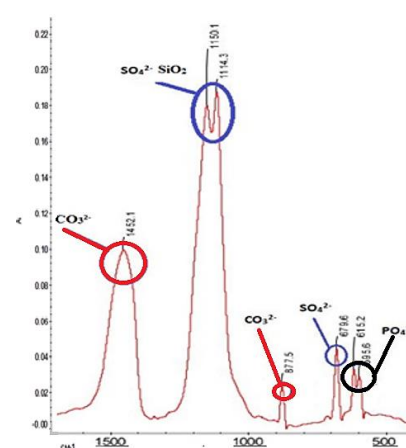


Рис. 4. ИК-спектр поглощения золы волос  
Fig. 4. IR absorption spectrum of hair ash residual

С учетом катионного и анионного состава, полученного при проведении скринингового анализа, можно заключить, что зола грибов состоит главным образом из фосфатов калия, зола волос – из сульфатов кальция, зола растительного сырья – из карбонатов калия с примесью фосфатов, а зола чешуи рыб – из фосфатов кальция. Полученные результаты по катионному и анионному составу использованы для устранения матричных влияний преобладающих основных элементов при спектральном анализе.

В свете развиваемой методологии выявлена региональная специфика содержания элементов тяжелых металлов в волосах жителей Парабельского района в возрасте от 18 до 50 лет, свидетельствующая об элементном дисбалансе и негативном влиянии окружающей среды на здоровье людей (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание макро- и микроэлементов  
в волосах жителей Парабельского района ( $P = 0,95$ ;  $n = 20$ )**

Table 3

**Content of macro- and microelements in hair  
of Parabelsky urban zone residents ( $P = 0.95$ ,  $n = 20$ )**

Элемент	Референтные значения	с. Парабель	
		Интерквартильный размах	Медиана
Ag	<b>0,005–0,2</b>	<b>0,13–0,95</b>	<b>0,3</b>
Al	<b>1–40</b>	<b>69–163</b>	<b>101</b>
Ba	<b>0,2–1</b>	<b>0,7–1,7</b>	<b>1,24</b>
B	0,1–3,5	0,08–0,24	0,06
Be	0,005–0,01	< 0,01	< 0,01
Bi	0,1–2	0,01–0,12	0,05
Ca	200–3000	740–1 870	1 050
Cd	0,05–0,25	0,041–0,14	0,11
Co	0,01–0,5	0,03–0,12	0,07
Cr	0,1–4	0,14–0,57	0,3
Cu	7,5–20	5,1–8,8	6,8
Fe	<b>10–50</b>	<b>29–108</b>	<b>59</b>
Mg	20–200	68–174	91
Mn	<b>0,1–2</b>	<b>2,0–4,5</b>	<b>3,3</b>
Mo	0,02–2	< 0,01	< 0,01
Ni	0,1–2	0,03–0,35	0,15
P	<b>75–200</b>	<b>271–442</b>	<b>371</b>
Pb	0,1–5	1,2–4,5	2,4
Sb	0,005–1	0,07–0,31	0,18
Si	10–2000	91–550	211
Sn	0,05–2,5	0,1–0,47	0,27
Sr	0,5–5	0,39–1,5	1,0
Ti	0,5–8	< 0,01	< 0,01
Zn	<b>100–250</b>	<b>307–452</b>	<b>373</b>

Установлено повышенное накопление Ba, Al, Ag, Fe, P, Mn, Zn и дефицит Mo по сравнению с референтными значениями, что может приводить к проблемам с желудочно-кишечным трактом, давлением и способствовать снижению иммунитета.

Результаты количественного определения содержания тяжелых металлов в грибах, ягодах и лекарственных растениях, представлены в табл. 4–6.

Таблица 4

## Содержание тяжелых металлов в грибах исследуемого региона

Table 4

## Content of heavy metals in mushrooms

Объект	Концентрация элементов (мкг/г)				
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Медь	Цинк
<b>ПДК</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,5</b>	<b>10,0</b>	<b>20,0</b>
Груздь ( <i>Lactarius resimus</i> )	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,51	6,9
Моховик ( <i>Imleriabadia</i> )	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,8	2,1
Подосиновик ( <i>Leccinum aurantiacum</i> )	< 0,001	< 0,001	0,004	1,3	7,6
Лисички ( <i>Cantharellus cibarius</i> )	< 0,001	0,29	0,021	2,1	19,4
Подберезовик ( <i>Leccinum scabrum</i> )	< 0,001	< 0,001	0,03	0,34	18,9
Масленок ( <i>Suillus luteus</i> )	< 0,001	0,61	0,04	0,18	17,9
Белый гриб ( <i>Boletus edulis</i> )	< 0,001	< 0,001	0,101	7,7	16,5

Таблица 5

## Содержание тяжелых металлов в ягодах исследуемого региона

Table 5

## Content of heavy metals in berries

Объект	Концентрация элементов (мкг/г)				
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Медь	Цинк
<b>ПДК</b>	<b>0,4</b>	<b>0,03</b>	<b>0,2</b>	<b>5,0</b>	<b>10,0</b>
Малина ( <i>Rubus idaeus</i> )	< 0,001	0,014	0,051	2,3	7,1
Брусника ( <i>Vaccinium vitis-idaea</i> )	< 0,001	0,021	0,008	3,1	9,8
Смородина черная ( <i>Ribes nigrum</i> )	< 0,001	0,023	0,03	2,2	7,7
Смородина красная ( <i>Ribes rubrum</i> )	< 0,001	0,018	0,07	1,9	8,3
Клюква ( <i>Vaccinium oxycoccos</i> )	< 0,001	< 0,001	0,05	0,89	6,1
Жимолость ( <i>Lonicera caerulea</i> )	< 0,001	< 0,001	0,06	0,57	7,6
Крыжовник ( <i>Ribes uva-crispa</i> )	< 0,001	< 0,001	0,08	0,33	4,5

Анализ данных табл. 4, 6 отражает превышение норм содержания кадмия в некоторых видах грибов и лекарственных растениях. В ягодах (табл. 5) превышений не обнаружено. Вероятно, превышение норм по кадмию связано со сжиганием ископаемого топлива и высокой подвижностью кадмия в кислых почвах, преобладающих в районе. Повышенная кислотность способствует растворению соединений кадмия. Известно [34–37], что растения могут поглощать

кадмий через транспортные системы кальция, что приводит к его неконтролируемому накоплению. Также обнаружено некоторое превышение по мышьяку и цинку в чешуе рыб из водоемов исследуемого региона.

Таблица 6

**Содержание тяжелых металлов  
в лекарственных растениях исследуемого региона**

Table 6

**Content of heavy metals in medicinal plants**

Объект	Концентрация элементов (мкг/г)				
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Медь	Цинк
ПДК	0,5	0,1	1,0	15,0	50,0
Лабазник вязолистный (Filipendula ulmaria)	0,12	0,016	0,31	1,3	17,1
Тысячелистник обыкновенный (Achillea millefolium)	0,16	<b>0,21</b>	0,40	1,2	9,6
Кипрей узколистный (иван-чай) (Chamaenerion angustifolium)	0,13	<b>0,15</b>	0,31	0,7	12,2

По результатам проведенного полного химического анализа были рассчитаны коэффициенты концентрирования тяжелых металлов и определена биохимическая активность исследуемых популяций (табл. 7).

Таблица 7

**Коэффициенты биохимической активности объектов  
растительного происхождения Парabelьского района Томской области**

Table 7

**Coefficients of biochemical activity of plant objects in the Parabelsky urban zone**

Грибы							
	Лисичка (Cantharellus barius)	Белый гриб (Boletus edulis)	Моховик (Imleria badia)	Подберезовик (Leccinum- scabrum)	Подосиновик (Leccinum au- rantiacum)	Масленок (Suillus luteus)	Груздь (Lactarius- resinus)
КБА	14,1	8,1	7,3	8,0	9,1	12,3	7,1
Ягоды							
	Клюква (Vaccinium oxococos)	Смородина красная (Ribes rubrum)	Малина (Rubus idaeus)	Смородина черная (Ribes nigrum)	Брусника (Vaccinium vitiidaea)	Жимолость (Lonicera caerulea)	Крыжовник (Ribes uvacrispa)
КБА	3,4	7,4	5,7	5,8	5,3	6,1	4,4



Окончание табл. 7  
End of table 7

Лекарственные растения			
	Кипрей узколистный (Chamaenerionangustifolium)	Лабазник вязолистный (Filipendulaulmaria)	Тысячелистник обыкновенный (Achilleamillefolium)
КБА	9,4	7,7	9,1

Коэффициенты концентрирования и биохимической активности рассчитывали по формулам:  $K_c = \frac{m}{n}$  ( $m$  – содержание химического элемента в объекте исследования, %;  $n$  – содержание химического элемента в почве, %) и  $КБА = \sum K_c$  соответственно.

Из анализа данных табл. 7 можно заключить, что грибы обладают наибольшей биохимической активностью, что обусловлено большой площадью поверхности мицелия, наличием хитина и меланина в клеточных стенках, обладающих высокой сорбционной способностью к ионам металлов, кроме того, большинство грибов являются гетеротрофами, которые питаются разлагающимся органическим веществом, извлекая питательные вещества и микроэлементы из почвы. Ягоды же, получая питательные вещества непосредственно из растения, зависят от его способности извлекать элементы из почвы.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования установлены причины нарушения принципов экологической архитектуры при освоении и застройке исследуемого района, а также факторы, ухудшающие качество комфортной среды обитания (КСО). Комплексный анализ маркеров экологического загрязнения окружающей среды позволяет сделать заключение о неблагоприятном экологическом состоянии района.

Выявлено превышение предельно допустимых концентраций ряда тяжелых металлов в растительных образцах, а также дисбаланс в накоплении химических элементов в биотканях животных. Для улучшения экологической обстановки и повышения качества среды обитания населения Парабельского района необходимо разработать комплекс мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки, устранение превышения предельно допустимых концентраций тяжелых металлов, таких, например, как кадмий, и локализацию источников загрязнения. Полученные результаты подтверждают высокую информативность и перспективность применения биоиндикационного метода с использованием представителей фауны и флоры как маркеров КСО при оценке экологического состояния территорий в рамках принципов экологической архитектуры и устойчивого градостроительного развития.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев А.В. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 11. С. 121–128.

2. Отмахов В.И., Петрова Е.В., Пушкарева Т.Н., Островерхова Г.П. Атомно-эмиссионная методика анализа грибов на содержание тяжелых металлов и использование ее для целей экомониторинга // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 6. С. 44–48. EDN: HPMTFL
3. Бурова Л.Г. Загадочный мир грибов // Человек и окружающая среда. Москва : Наука, 1991. 97 с.
4. Мамалимова И.С. Геоэкологическая характеристика и проект мониторинга на территории Казанского нефтегазоконденсатного месторождения (Томская область) : дипломный проект. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. 24 с.
5. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Почвы Обь-Томского междуречья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 16–37. EDN: ODVJWP
6. Hancock J.F. Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics. Springer Science & Business Media, 2008. 456 p. ISBN 978-90-481-7759-2.
7. Alloway B.J. Heavy Metals in Soils: Environmental Pollution and Health Effects // Blackie Academic & Professional, 1995. P. 73–77.
8. Дьякова Н.А. Исследование элементного состава лекарственного растительного сырья Воронежской области // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2023. Т. 12. № 3. С. 195–201. DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-3-195-201. EDN: LPSYNV
9. Макаров А.Б., Талалай А.Г., Гуман О.М., Хасанова Г.Г. Техногенные месторождения и особенности их воздействия на природную окружающую среду // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. № 3. С. 120–129. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-120-129. EDN: UYAITQ
10. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с. EDN: UAJSQV
11. Гилева Т.А., Зиновьев Е.А., Костицына Н.В. Содержание тяжелых металлов в органах и тканях рыб, обитающих в разнотипных водоемах Пермского края // Аграрный вестник Урала. 2014. № 8 (126). С. 73–77. EDN: SWEGSL
12. Тылик К.В. Общая ихтиология. Калининград : ООО «Акснос», 2015. 394 с. ISBN: 978-5-91726-109-6. EDN: WNUISX
13. Наркович Д.В., Барановская Н.В. О нормативах содержания химических элементов в волосах детей // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде : материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2 томах. Том 2. Семей : СГПИ, 2012. С. 209–215.
14. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органопатология). Москва : Медицина, 1991. 496 с.
15. Buffoli B., et al. The human hair: from anatomy to physiology // International Journal of Dermatology. 2014. V. 53. P. 331–341.
16. Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Новые спектральные комплексы на основе аналитических анализаторов МАЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1-II. С. 15–20. EDN: XUXPEJ
17. Отмахов В.И., Петрова Е.В. Оптимизация условий проведения атомно-эмиссионного спектрального анализа порошковых проб сложного состава на графитовой основе // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1–2. С. 82–85. EDN: OOEMYL
18. Отмахов В.И. Методологические особенности создания методик атомно-эмиссионного анализа различных объектов // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9. № 3. С. 245–249. EDN: KHPZQB
19. Otmakhov V., et al. New method of spectral analysis of human hair // AIP Conference Proceedings. 2016. DOI: 10.1063/1.4964572. EDN: XFQBDB
20. Отмахов В.И., Рабцевич Е.С., Горст Д.А., Петрова Е.В., Бабенков Д.Е. Создание методики определения элементного состава клещей для оценки их восприимчивости к возбудителям клещевых инфекций // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2018. № 11. С. 23–31. DOI: 10.17223/24135542/11/2. EDN: UTKVFM
21. Отмахов В.И., Рабцевич Е.С., Петрова Е.В., Шилова И.В., Шелег Е.С., Бабенков Д.Е. Элементный анализ лекарственных растений Сибири методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии с многоканальным анализатором эмиссионных спектров // Заводская ла-

- боратория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 1-П. С. 60–66. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-П-60-66. EDN: YXLHFB
22. Отмахов В.И., Саркисов Ю.С., Павлова А.Н., Обухова А.В. Периодические зависимости распределения химических элементов в зольном остатке волос человека // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 1-П. С. 73–77. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-П-73-76. EDN: YXLHFR
  23. Бабенков Д.Е., Отмахов В.И., Петрова Е.В., Повесьма Ю.А., Салосина Ю.Е. Методология выбора алгоритмов оптимизации условий проведения дугового атомно-эмиссионного спектрального анализа // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 1-П. С. 77–81. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-П-77-81. EDN: YXLHFZ
  24. Отмахов В.И. Методологические особенности создания методик атомно-эмиссионного анализа различных объектов // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9. № 3. С. 245–249. EDN: KHPZQB
  25. Отмахов В.И., Обухова А.В., Ондар С.А., Омельченко М.В., Рабцевич Е.С., Петрова Е.В. Оценка достоверности проведения химического анализа волос методом дуговой атомно-эмиссионной спектроскопии // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2018. № 12. С. 25–36. DOI: 10.17223/24135542/12/3. EDN: YTSKJN
  26. Отмахов В.И., Петрова Е.В. Атомно-эмиссионный анализ биологических объектов с целью проведения экомониторинга районов Томской области и Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 1. С. 73–77. EDN: GZHSWS
  27. Обухова А.В., Отмахов В.И., Шилова И.В., Саркисов Ю.С., Янюк А.Е., Петрова Е.В. Особенности накопления элементов в плодово-ягодных растениях, культивируемых в окрестностях г. Зеленогорска Красноярского края // Химия растительного сырья. 2023. № 4. С. 289–298. DOI: 10.14258/jcrpm.20230412482. EDN: ETVBXJ
  28. Отмахов В.И., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Кускова И.С., Обухова А.В., Петрова Е.В. О некоторых закономерностях распределения химических элементов в живых организмах // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2020. № 17. С. 34–50. DOI: 10.17223/24135542/17/3. EDN: NMGHWO
  29. Otmakhov V.I., Kuskova I.S., Obukhova A.V., Petrova E.V., Sarkisov Y.S. Chemical codes identification based on periodic dependences of chemical element distribution in biological objects // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V.1611. № 1. 012038. DOI: 10.1088/1742-6596/1611/1/012038
  30. Otmakhov V.I., Obukhova A.V., Petrova E.V., Sarkisov Y.S. Atomic Emission Spectrometer «Grand» for Studying the Features of Accumulation and Distribution of Chemical Elements in Objects of Animal Origin // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. V. 574. P. 1362–1371. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5\_145
  31. ГСО. Стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей. Комплект СОГ-37, УГТУ–УПИ. Екатеринбург, 2003. 12 с.
  32. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. Москва : Мир, 1991. 536 с.
  33. Коваленко В.И., Диденко Т.Л., Нестеров А.В. Идентификация веществ в смеси методом инфракрасной спектроскопии. Казань, 2006. 20 с.
  34. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федюлина Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений. Санкт-Петербург : СПбГЛТА, 2007. 54 с.
  35. Колесник И.В., Саполетова Н.А. Инфракрасная спектроскопия. Москва : Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. 88 с.
  36. Егоров А.С. Инфракрасная Фурье-спектроскопия. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2012. 40 с.
  37. Воронина Л.П., Поногайбо К.Э., Абрамов Е.Г., Кирьякова Н.А., Савостикова О.Н. К нормированию кадмия в почве по его воздействию на растения // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 11. С. 1154–1163. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-11-1154-1162. EDN: RRXPMX

## REFERENCES

1. Alekseenko A.V. Heavy Metals the Environmental Pollution Factor. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; (11): 121–128. (In Russian)

2. Otmakhov V.I., Petrova E.V., Pushkareva T.N., Ostroverkhova G.P. Atomic Emission Technique for Heavy Metal Content Analysis in Mushrooms for Environmental Monitoring Purposes. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2004; 307 (6): 44–48. (In Russian)
3. Burova L.G. The Mysterious World of Mushrooms. *Chelovek i okruzhayushchaya sreda*. Moscow: Nauka, 1991. 97 p. (In Russian)
4. Mamalimova I.S. Geocological Characteristics and Monitoring the Territory of Kazan Oil and Gas Condensate Field (Tomsk Region). Graduation Work. Tomsk: TPU, 2016. 24 p. (In Russian)
5. Dyukarev A.G., Pologova N.N. Soils of the Ob-Tomsk Interfluv. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2011; 3 (15): 16–37. (In Russian)
6. Hancock J.F. Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics. Springer Science & Business Media, 2008. 456 p. ISBN 978-90-481-7759-2.
7. Alloway B.J. Heavy Metals in Soils: Environmental Pollution and Health Effects. Blackie Academic & Professional, 1995. Pp. 73–77.
8. Dyakova N.A. Elemental Composition of Medicinal Plant Materials in the Voronezh Region. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*. 2023; 12 (3): 195–201. (In Russian)
9. Makarov A.B., Talalay A.G., Guman O.M., Khasanova G.G. Man-Made Deposits and their Impact on Natural Environment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2022; (3): 120–129. (In Russian)
10. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. Heavy Metals and Plants. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. 194 p. (In Russian)
11. Gileva T.A., Zinoviev E.A., Kostitsyna N.V. Content of Heavy Metals in Organs and Tissues of Fish from Different Water Bodies in the Perm Territory. *Agrarnyi vestnik Urala*. 2014; 8 (126): 73–77. (In Russian)
12. Tylik K.V. General Ichthyology. Kaliningrad: OOO "Aksnos", 2015. 394 p. (In Russian)
13. Narkovich D.V., Baranovskaya N.V. Standards of chemical elements content in children hair. In: *Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Heavy metals and radionuclides in the environment'*, in 2 vol. Vol. 2. Semei: SGPI, 2012. Pp. 209–215. (In Russian)
14. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Human Microelementoses (Etiology, Classification, Organopathology). Moscow: Meditsina, 1991. 496 p. (In Russian)
15. Buffoli B., et al. The Human Hair: From Anatomy to Physiology. *International Journal of Dermatology*. 2014; 53: 331–341.
16. Labusov V.A., Garanin V.G., Zarubin I.A. New Spectral Complexes based on MAES Analyzers. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2017; 83 (1-II): 15–20. (In Russian)
17. Otmakhov V.I., Petrova E.V. Optimization of Conditions for Atomic Emission Spectral Analysis of Complex Graphite-Based Powders. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2012; 78 (1–2): 82–85. (In Russian)
18. Otmakhov V.I. Atomic Emission Analysis Methods Created for Various Objects. *Analitika i kontrol'*. 2005; 9 (3): 245–249. (In Russian)
19. Otmakhov V., et al. New Method of Spectral Analysis of Human Hair. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Available: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4964572> (accessed April 17, 2025). (In Russian)
20. Otmakhov V.I., Rabtsevich E.S., Gorst D.A., Petrova E.V., Babenkov D.E. Methodology for Tick Elemental Composition Detection to Assess their Susceptibility to Tick-Borne Pathogens. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya*. 2018; (11): 23–31. (In Russian)
21. Otmakhov V.I., Rabtsevich E.S., Petrova E.V., Shilova I.V., Sheleg E.S., Babenkov D.E. Elemental Analysis of Medicinal Plants of Siberia using Arc Atomic Emission Spectrometry with Multichannel Analyzer of Emission Spectra. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2019; 85 (1): 60–66. (In Russian)
22. Otmakhov V.I., Sarkisov Yu.S., Pavlova A.N., Obukhova A.V. Periodic Dependences of Chemical Element Distribution in Ash Residue of Human Hair. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2019; 85 (1): 73–77. (In Russian)
23. Babenkov D.E., Otmakhov V.I., Petrova E.V., Povesma Yu.A., Salosina Yu.E. Methodology of Selecting Algorithms for Optimization of Conducting Arc Atomic Emission Spectral Analysis. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2019; 85 (1): 77–81. (In Russian)
24. Otmakhov V.I. Methodological Peculiarities of the Creation of Atomic Emission Analysis Techniques for Various Objects. *Analytics and Control*. 2005; 9 (3): 245–249. (In Russian)

25. Otmakhov V.I., Obukhova A.V., Ondar S.A., Omelchenko M.V., Rabtsevich E.S., Petrova E.V. Reliability of Hair Chemical Analysis using Arc Atomic Emission Spectroscopy. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya*. 2018; (12): 25–36. (In Russian)
26. Otmakhov V.I., Petrova E.V. Atomic Emission Analysis of Biological Objects for Eco-Monitoring Tomsk Region Urban Zones and Altai Mountains. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2004; 307 (1): 73–77. (In Russian)
27. Obukhova A.V., Otmakhov V.I., Shilova I.V., Sarkisov Yu.S., Yanyuk A.E., Petrova E.V. Accumulation of Elements in Fruit and Berry Plants Cultivated near Zelenogorsk, Krasnoyarsk Territory. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2023; (4): 289–298. (In Russian)
28. Otmakhov V.I., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Kuskova I.S., Obukhova A.V., Petrova E.V. Distribution Patterns of Chemical Elements in Living Bodies. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya*. 2020; (17): 34–50. DOI: 10.17223/24135542/17/3 (In Russian)
29. Otmakhov V.I., Kuskova I.S., Obukhova A.V., Petrova E.V., Sarkisov Y.S. Chemical codes identification based on periodic dependences of chemical element distribution in biological objects. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1611 (1): 012038. DOI: 10.1088/1742-6596/1611/1/012038
30. Otmakhov V.I., Obukhova A.V., Petrova E.V., Sarkisov Y.S. Atomic Emission Spectrometer “Grand” for Studying the Accumulation and Distribution of Chemical Elements in Objects of Animal Origin. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023; 574: 1362–1371. DOI: 10.1007/978-3-031-21432-5\_145
31. Standard Samples of Structure of a Graphite Collector of Microimpurity. Ekaterinburg, 2003. 12 p. (In Russian)
32. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. Moscow: Mir, 1991. 536 p. (Russian translation)
33. Kovalenko V.I., Didenko T.L., Nesterov A.V. Infra-Red Spectroscopy of Substances in a Mixture: Guidelines. Kazan, 2006. 20 p. (In Russian)
34. Vasiliev A.V., Grinenko E.V., Shchukin A.O., Fedulina T.G. Infrared Spectroscopy of Organic and Natural Compounds. Saint-Petersburg, 2007. 54 p. (In Russian)
35. Kolesnik I.V., Sapoletova N.A. Infrared Spectroscopy. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2011. 88 p. (In Russian)
36. Egorov A.S. Infrared Fourier Spectroscopy. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2012. 40 p. (In Russian)
37. Voronina L.P., Ponogaibo K.E., Abramov E.G., Kiryakova N.A., Savostikova O.N. Standardization of Cadmium in Soil According to its Impact on Plants. *Gigiena i sanitariya*. 2023; 102 (11): 1154–1163. (In Russian)

#### Сведения об авторах

Отмахов Владимир Ильич, докт. техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, otmahov2004@mail.ru

Саркисов Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sarkisov@tsuab.ru

Зубкова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, zubkova0506@mail.ru

#### Authors Details

Vladimir I. Otmakhov, DSc, Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, otmahov2004@mail.ru

Yuriy S. Sarkisov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sarkisov@tsuab.ru

Olga A. Zubkova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, zubkova0506@mail.ru

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Authors contributions**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.09.2025  
Одобрена после рецензирования 02.10.2025  
Принята к публикации 03.10.2025

Submitted for publication 15.09.2025  
Approved after review 02.10.2025  
Accepted for publication 03.10.2025