

УДК 502.521:550.4(470.57-25)
DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4307

Эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова на территории города Уфы

Г.А. Гончаров¹✉, Б.Р. Соктоев¹, И.М. Фархутдинов^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск*

² *РН-БашНИПИнефть. Россия, г. Уфа*

³ *Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Россия, г. Москва*

✉ gavriil.goncharov@gmail.com

Аннотация

Актуальность проведённой работы заключается в необходимости постоянного мониторинга состояния природных сред в виду увеличивающейся индустриализации города Уфы. Особенно актуально данное исследование из-за наличия предприятий различных отраслей промышленности (нефтехимическая, энергетическая, металло-строительная, лесоперерабатывающая, химическая), расположенных на достаточно небольшой территории города-миллионера. **Цель:** определить степень техногенного загрязнения почвенного покрова от промышленных объектов на исследуемой территории для оценки влияния промышленных выбросов, а также выбросов от стационарных и передвижных источников для разработки мероприятий, направленных на снижение влияния химических элементов на объекты природной среды. **Методы:** инструментальный нейтронно-активационный анализ, атомно-абсорбционная спектроскопия, каппаметрия, математическая статистика, картографирование (пространственное распределение индикаторных геохимических показателей и содержания основных поллютантов). **Результаты.** Представлены результаты анализа содержания 29 химических элементов в почвенном покрове на территории Уфы по данным изучения 104 проб. Для каждого промышленного района города были определены приоритетные элементы-загрязнители из перечня проанализированных. Районы с высокой автомобильной загруженностью, как и территории вблизи нефтеперерабатывающих заводов характеризуются повышенными концентрациями As и группы LREE (La, Ce, Nd). Повышенные содержания Vg и Sc отмечаются на территориях вблизи комплексов энергетики. Повышенные концентрации REE (Nd, Tb, Lu) выявлены вокруг объектов лесопромышленного комплекса. Особая ситуация отмечается с концентрациями некоторых металлов (Cr, Zn, Co). Вся территория города характеризуется повышенными концентрациями элементов группы переходных металлов из-за наличия крупного металлообрабатывающего комплекса и напряженного автомобильного трафика. С помощью статистических методов интерпретации данных были выявлены ассоциации химических элементов и разделены по возможному генезису: преимущественно природный (Ca-Sr), смешанный (Cs-Rb, Br-Ta-Na), преимущественно техногенный (Sb-Zn, Ba-As-Cr-Hg, Th-Lu-Hf-Yb, Ce-La-Nd). Построенные карты-схемы пространственного распределения, суммарного показателя загрязнения и магнитной восприимчивости определили, что территория Орджоникидзеvского района и территория железнодорожной станции Дёма могут считаться наиболее подверженными антропогенному влиянию.

Ключевые слова: Почвенный покров, Уфа, эколого-геохимическая оценка, магнитная восприимчивость, промышленный комплекс.

Благодарности: Отбор и анализ проб выполнен в рамках реализации гранта Российского научного фонда (№ 22-27-00748). Обработка и интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема FSWW-2023-0010).

Для цитирования: Гончаров Г.А., Соктоев Б.Р., Фархутдинов И.М. Эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова на территории города Уфы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 11. – С. 61–79. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4307

UDC 502.521:550.4(470.57-25)
DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4307

Ecological and geochemical assessment of soil cover on the territory of Ufa city

Gavriil A. Goncharov¹✉, Bulat R. Soktoev¹, Iskhak M. Farkhutdinov^{2,3}

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² RN-BashNIPIneft, Ufa, Russian Federation

³ Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

✉ gavriil.goncharov@gmail.com

Abstract

The relevance. The need for constant monitoring of the state of natural environments because of Ufa increasing industrialization. This study is especially relevant due to the presence of enterprises of various industries (petrochemical, energy, metal construction, timber processing, chemical) located on a fairly small territory of the millionaire city. **The aim.** To determine the degree of technogenic pollution of the soil cover from industrial facilities in the study area. It is necessary to assess the impact of industrial emissions, as well as emissions from stationary and mobile sources for development of measures aimed at reducing the impact of chemical elements on the environment. **Methods.** Instrumental neutron activation analysis, atomic absorption spectroscopy, kappametry, mathematical statistics, mapping (spatial distribution of indicator geochemical indicators and content of the main pollutants). **Results.** The paper introduces the results of the analysis of the content of 29 chemical elements in the soil cover on the territory of Ufa according to the study of 104 samples. For each industrial area of the city, the priority elements-pollutants from the list of the analyzed ones were identified. Areas with high traffic congestion, as well as areas near oil refineries, are characterized by increased concentrations of As and LREE group (La, Ce, Nd). Elevated levels of Br and Sc are observed in areas near energy complexes. Increased concentrations of REE (Nd, Tb, Lu) were detected around the objects of the timber industry complex. A special situation is observed with the concentrations of some metals (Cr, Zn, Co). The entire territory of the city is characterized by increased concentrations of elements of the transition metal group due to the presence of a large metalworking complex and heavy automobile traffic. Using statistical methods of data interpretation, associations of chemical elements were identified and divided by possible genesis: mainly natural (Ca-Sr), mixed (Cs-Rb, Br-Ta-Na), mainly technogenic (Sb-Zn, Ba-As-Cr-Hg, Th-Lu-Hf-Yb, Ce-La-Nd). The constructed maps-schemes of spatial distribution, the total indicator of pollution and magnetic susceptibility determined that the territory of Ordzhonikidze district and the territory of the Dema railway station can be considered as the most susceptible to anthropogenic influence.

Keywords: Soil cover, Ufa, ecological and geochemical assessment, magnetic susceptibility, industrial complex.

Acknowledgements: Sampling and analysis of samples was carried out within the framework of the grant of the Russian Science Foundation (No. 22-27-00748). Processing and interpretation of the results was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic FSWW-2023-0010).

For citation: Goncharov G.A., Soktoev B.R., Farkhutdinov I.M. Ecological and geochemical assessment of soil cover on the territory of Ufa city. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 11, pp. 61–79. DOI: 10.18799/24131830/2023/11/4307

Введение

Урбанизированные территории, характеризующиеся высокой плотностью населения и развитой инфраструктурой, созданной человеком, оказывают значительное воздействие на окружающую среду. Эти воздействия включают в себя трансформацию экосистем, увеличение выбросов парниковых газов и увеличение потребления природных ресурсов [1, 2]. В этом контексте важно изучать экологические последствия урбанизации в странах, которые за последние десятилетия сделали наибольший рывок в индустриализации.

Например, в Китае расширение городов привело к потере ценных сельскохозяйственных угодий и естественной среды обитания некоторых организмов, а также к увеличению загрязнения воздуха и воды. В исследованиях отмечено преобразование примерно 1,33 млн га пахотных земель в городские земли в период с 2000 по 2010 гг. [3]. Это не только угрожает продовольственной безопасности, но и усугубляет состояние окружающей среды. В Америке разросшиеся городские районы увеличили зависимость от автомобилей, тем самым способствуя выбросам парниковых газов и загрязнению воздуха.

Исследования показали, что в обширных мегаполисах США наблюдались более высокие температуры из-за эффектов городских островов тепла, что еще больше усугубляло изменение климата [4].

В России, несмотря на строгий контроль за обращением с отходами, урбанизация оказывает значительное воздействие на компоненты окружающей среды, связанное с отходами промышленной деятельности. Исследования в некоторых мегаполисах показали, что городские почвы содержат высокие уровни потенциально токсичных элементов, представляющих опасность для здоровья человека и окружающей среды [5]. Эти примеры демонстрируют сложные и далеко идущие экологические последствия урбанизации, требующие целенаправленных исследований, одними из которых могут быть эколого-геохимические исследования.

Эколого-геохимическая оценка почв – это мероприятие, которое оценивает состояние почвенного покрова с точки зрения ее качества и геохимического состояния. Оно включает в себя анализ влияния природных и антропогенных факторов на качество природной среды, а также оценку концентрации веществ и минералов в почве. Это важно для определения потенциальных рисков для экосистем и здоровья людей, проживающих на исследуемой территории. Кроме того, эти исследования позволяют принимать решения о защите почвы и улучшении ее качества. Они также служат основой для разработки планов по улучшению экологической ситуации в городе и предотвращению дальнейшего загрязнения [6]. В итоге эколого-геохимические исследования почвенного покрова играют важную роль в обеспечении жителей крупных городов безопасными и экологически чистыми жилищными условиями даже при наличии промышленного комплекса на территории городов.

Уфа – столица Республики Башкортостан – является важным политическим, социальным, научным и экономическим центром Приволжского региона. По официальным данным за 2021 г. население города составило более 1,13 млн человек [7]. Основная часть города расположена на правобережье реки Белой, на востоке Русской равнины, в зоне Прибельской увалисто-волнистой сети, в 100 км к западу от хребтов Уральских гор, и характеризуется овражной сетью эрозивно-карстового происхождения. Климат на территории города определяется влиянием Сибирского антициклона и деятельностью циклонов в арктическом регионе, в зоне атлантико-континентального влияния.

На территории города функционирует свыше 200 крупных и средних предприятий, представляющих различные отрасли промышленности, такие как химическая, машиностроительная, фармацевтическая, энергетическая, лесоперерабатывающая и нефтехимическая (рис. 1).

Основные производственные объекты сосредоточены в северной части города и включают в себя три нефтеперерабатывающих завода с суммарной мощностью обработки нефти более 23 млн т в год [8], а также Уфимское мотостроительное производственное объединение (УМПО), специализирующееся на газотурбинном авиадвигателестроении и являющееся крупнейшим предприятием данной отрасли в Российской Федерации по показателю выручки [9]. Энергетическая инфраструктура города представлена комплексом теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), из которых четыре (ТЭЦ-1, 2, 3, 4) с общей установленной электрической мощностью свыше 950 МВт расположены в северной части города [10]. Затонская ТЭЦ с установленной электрической мощностью 440 МВт, расположенная в микрорайоне Затон и введенная в эксплуатацию в 2018 г., функционирует в составе энергосистемы Республики Башкортостан и объединенной энергосистемы Урала и использует природный газ в качестве топлива. Из других крупных промышленных предприятий в прилегающих районах города расположены объекты железнодорожной транспортной инфраструктуры, включая перегрузочную станцию Дёма и завод по переработке лесных ресурсов и производству древесно-стружечных плит Kronospan в районе Шакша.

Город Уфа сталкивается с различными экологическими проблемами, в том числе с загрязнением окружающей среды, что может иметь неблагоприятные последствия для здоровья населения и экологических систем. Будучи промышленным центром, город пережил значительную урбанизацию, что привело к увеличению промышленной деятельности и выбросов от передвижных источников, что в конечном итоге способствует загрязнению атмосферного воздуха, почвенного покрова, водных ресурсов и донных отложений [11]. В раннее проведенных работах было изучено пространственное распределение тяжелых металлов в городских почвах Уфы, что позволило выявить повышенные концентрации свинца (Pb), меди (Cu) и цинка (Zn), особенно в районах, близких к промышленным объектам и основным автомагистралям [12]. Исследования подчеркивают потенциальные риски для здоровья человека и окружающей среды из-за присутствия этих загрязнителей в почве.

Загрязнение почв на территории Уфы связано не только с тяжелыми металлами, но и с нефтяными углеводородами, которые попадают в окружающую среду при добыче и переработке нефти и газа в регионе [13]. В исследовании авторы оценили влияние добычи нефти и газа на экологическое состояние городских почв и обнаружили значительное увеличение валового содержания нефтяных углеводородов, особенно вблизи нефтеперерабатывающих заводов и объектов транспортной инфраструктуры.

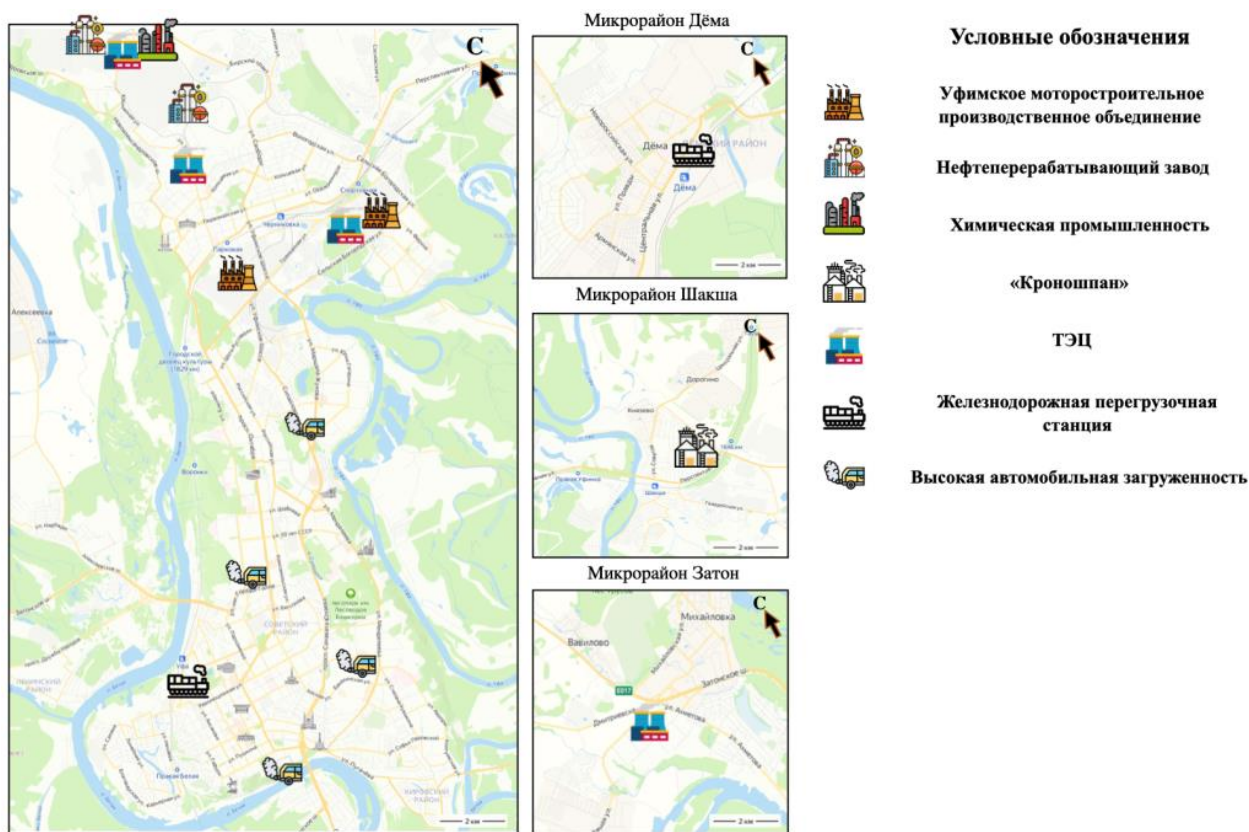


Рис. 1. Карта основных источников загрязнения на территории города Уфы
Fig. 1. Map of the main pollution sources in the city of Ufa

На основании данных Государственного доклада «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан за 2021 год» можно сделать вывод о том, что почвенный покров в пределах города Уфы имеет признаки загрязнения, обусловленные влиянием процессов урбанизации и промышленной деятельности.

Особенное внимание уделяется тяжелым металлам и нефтяным углеводородам, которые обнаруживаются в повышенных концентрациях вблизи промышленных объектов и транспортной инфраструктуры. Эта ситуация требует реализации стратегий восстановления почвы, мониторинга и устойчивого городского планирования для снижения рисков для окружающей среды и здоровья населения, связанных с загрязнением почвы [11].

В числе выявленных недостатков при анализе ранее опубликованных работ следует выделить малый спектр анализируемых элементов, поскольку он ограничивает возможности для статистического и корреляционного анализа, что снижает возможность выявления закономерностей и зависимостей, особенно при работе с большим количеством проб.

Цель настоящей работы – эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова на территории города Уфы по данным изучения элементного состава и показателя магнитной восприимчивости.

Методика исследования

Отбор проб почвенного покрова на территории города Уфы был проведен в августе 2021 и 2022 гг. по равномерной площадной сети с шагом 2,5 на 2,5 км с детализацией в районах расположения крупных промышленных предприятий (нефтеперерабатывающие заводы, УМПО, ТЭЦ, перегрузочная железнодорожная станция Дёма, завод по переработке лесных ресурсов и производству древесностружечных плит «Kronospan») (рис. 2). Всего отобрано 104 пробы почвенного покрова.

Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84, обеспечивая общие требования к отбору проб; образцы почвенного покрова отбирались из поверхностного слоя на глубине от 5 до 15 см, при этом производилось предварительное очищение от верхнего дернового слоя.

Подготовка отобранных проб к аналитическим исследованиям проходила в несколько этапов: высушивание при комнатной температуре, просеивание через сито с размером ячейки 1 мм, измельчение в виброистирателе.

Для инструментального нейтронно-активационного анализа на 28 химических элементов пробы почвенного покрова массой 100 мг упаковывались в капсулы из алюминиевой фольги. Анализ проводился в ядерно-геохимической лаборатории Международно-

го инновационного научно-образовательного центра (МИНОЦ) «Урановая геология» им. Л.П. Рихванова на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (методика измерений НСАМ ВИМС № 510-ЯФ, аналитики – А.Ф. Судыко, Л.Ф. Богутская). Продолжительность облучения проб в канале реактора составляла 20 часов при плотности потока тепловых нейтронов $1 \cdot 10^{13}$ нейтрон/см²·с. Измерение содержания химических элементов в облученных пробах производилось на многоканальном анализаторе импульсов Canberra с полупроводниковым Ge-детектором G3518. Среднеквадратичная погрешность определения содержания химических элементов составила не более 30 %.

Анализ содержания ртути в образцах выполнялся в лаборатории микроэлементного анализа в МИНОЦ «Урановая геология» методом атомно-абсорбционной спектроскопии с термическим разложением на ртутном анализаторе «РА-915М» с

приставкой «ПИРО-915+» (консультант – канд. геол.-минерал. наук Е.Е. Ляпина). Предел обнаружения Hg составляет 5 нг/г.

Магнитные свойства почв могут определять такие элементы, как Fe, Ni, Co, Cr, Zn и V [14, 15]. Ферромагнитными свойствами также обладают и редкоземельные металлы Gd, Tb, Dy, Ho, Er, которые могут содержаться в почвах в связи с процессами техногенеза. Каппаметрическая съемка всех отобранных образцов почв на основе запатентованной методики [16] как экспресс-метод пользуется актуальностью и применяется многими учеными для характеристики трансформации почвенного покрова в процессе техногенного загрязнения не только на территории РФ [17], но и в городах других стран [18].

Данная методика измерения объёмной магнитной восприимчивости почв представляет собой эффективный инструмент для оценки величины магнитного сигнала в почвенном слое.

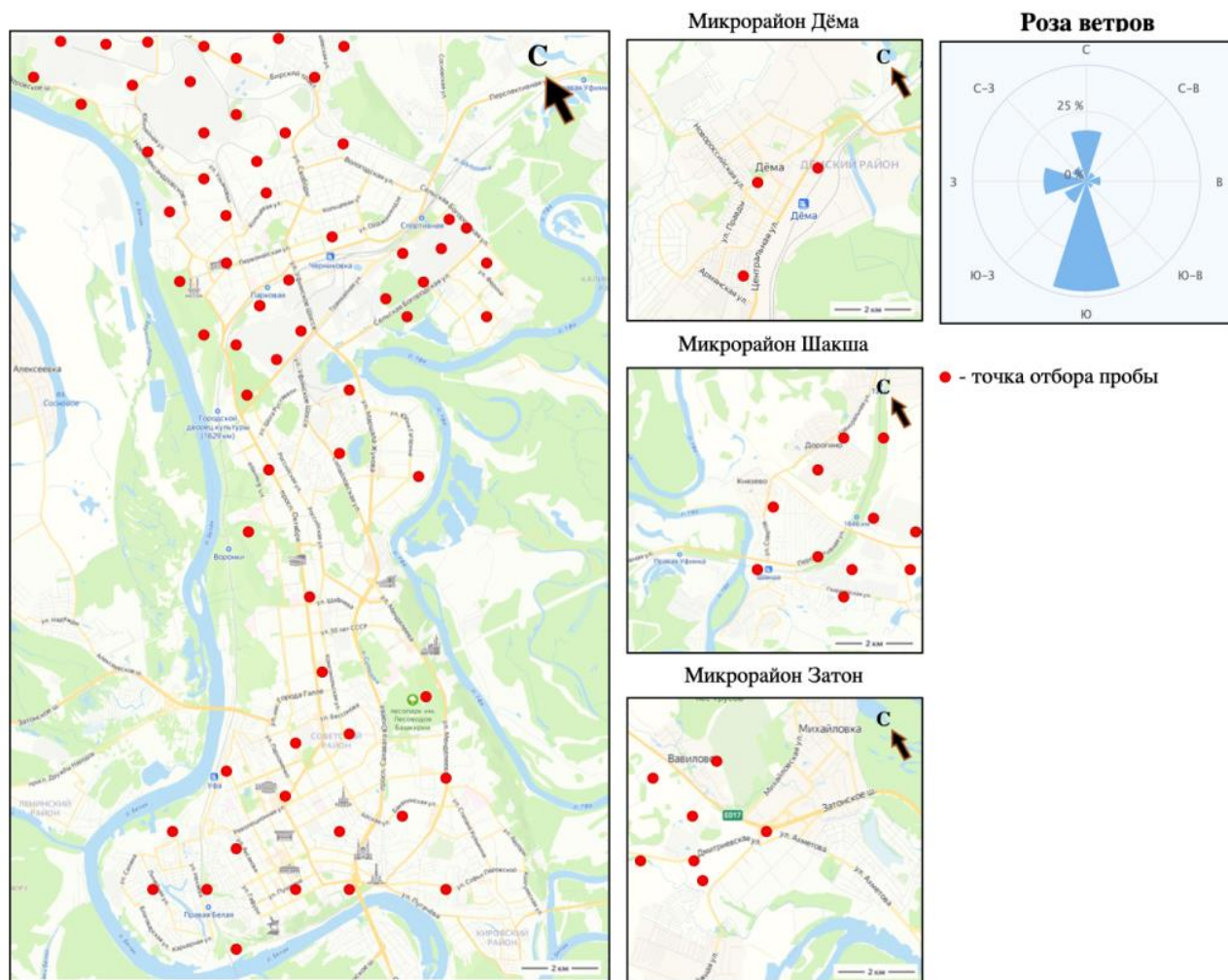


Рис. 2. Карта-схема отбора проб почвенного покрова на территории города Уфы
Fig. 2. Map-scheme of soil sampling in the city of Ufa

Измерения осуществляются с использованием каппаметра КТ-5, который регистрирует изменения в магнитном поле при контакте с образцом почвы. Дополнительные программы затем обрабатывают данные, полученные от магнитометра, преобразуя их в показатели магнитной восприимчивости, которые могут быть использованы для дальнейшего анализа и интерпретации. Основное преимущество данной методики заключается в том, что она позволяет быстро и точно измерить магнитные свойства почвы без необходимости проведения трудоемких и дорогостоящих лабораторных анализов.

Анализ и обработка полученных данных проводилась с использованием программных комплексов MS Excel, Statistica, Surfer.

На первом этапе производилась статистическая обработка результатов с расчетом следующих статистических параметров: среднего арифметического, стандартной ошибки, медианы, стандартного отклонения, асимметрии, эксцесса, минимума и максимума содержания, коэффициента вариации.

При расчётах эколого-геохимических показателей использовались медианные значения, так как выборка химических элементов демонстрирует значительную степень неоднородности, что сказывается на среднем арифметическом значении. В таких ситуациях медианные значения предоставляют более точное представление о среднем содержании элемента, так как они устойчивы к статистическим аномалиям, таким как выбросы или «ураганные точки».

Далее для оценки эколого-геохимического состояния почвенного покрова рассчитывались следующие показатели:

- коэффициент концентрации (K_c)

$$K_c = \frac{C}{C_\phi},$$

где C – содержание элемента в пробе; C_ϕ – фоновое содержание химического элемента;

- геохимические ряды, рассчитанные на основе K_c (от большего к меньшему). Химические элементы, находящиеся в начале геохимического ряда и характеризующиеся $K_c > 3$, могут рассматриваться как индикаторы влияния природных и антропогенных факторов и, соответственно, определяют геохимическую специализацию исследуемой территории [19]. Геохимические ряды составлялись как в целом для города, так и для районов расположения основных промышленных предприятий города;
- суммарный показатель загрязнения ($Z_{\text{спз}}$)

$$Z_{\text{спз}} = \sum K_c - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации; n – количество элементов, принимаемых в расчете ($K_c > 1$).

Для определения парагенетических ассоциаций химических элементов был проведен кластерный анализ, а также парная и множественная корреляция в программном комплексе Statistica.

Построение карт-схем пространственного распределения содержания химических элементов, показателя магнитной восприимчивости, суммарного показателя загрязнения было выполнено в программном комплексе «Surfer 11». Метод построения Kriging представляет собой технику интерполяции, которая используется для создания непрерывных поверхностей на основе дискретных наблюдений. Метод основан на теории региональных переменных и учитывает статистические зависимости между измерениями [20].

Результаты и их обсуждение

Для систематизации обширной базы данных с результатами химического анализа использовались методы описания основных статистических показателей. Наибольшими концентрациями в составе почвенного покрова отмечаются Na, Ca, Fe, чьи медианные значения составляют более 1000 мг/кг. Средние значения, превышающие 100 мг/кг, наблюдаются у металлов Cr, Zn и Ba. Широкие интервалы содержания наблюдаются у Sc, Cr, Zn, Br, Sr, Nd, Ta, Au, Hg (рис. 3).

Важно акцентировать внимание на анализе коэффициентов вариации (V) для данной базы данных, поскольку они служат индикаторами степени неоднородности выборок химических элементов. Согласно принятой классификации, выборки с коэффициентами вариации, превышающими 50 единиц, считаются недифференцированными [19]. В данном контексте неоднородность наблюдается у таких элементов, как Ca, Br, Ag, Sb и Nd. Кроме того, стоит отметить сильно неоднородную (70–100 ед.) Sr, Ba, Ta и крайне неоднородную (>100) Zn, Au, Hg выборку (табл. 1).

Анализ геохимических рядов показывает, что в почвенном покрове на территории Уфы изучаемые химические элементы аккумулируются с разной степенью (табл. 2). Ведущую позицию во всех геохимических рядах занимает Cr, являющийся элементом I класса опасности и обладающий канцерогенными свойствами. Значение коэффициента вариации (43 %) и особенности пространственного распределения (рис. 4) указывают на отсутствие приоритетного источника его поступления в окружающую среду. Содержание хрома Cr варьирует в интервале от 1 до 1231 мг/кг при среднем содержании 374 мг/кг. Среднее содержание Cr в почвах мира оценивается в 59,5 мг/кг [21], ПДК для хрома в почвах в валовой форме на территории РФ не установлена, однако в США этот показатель оценивается в 200 мг/кг, и в нашем исследовании он превышен в 100 из 104 проб.

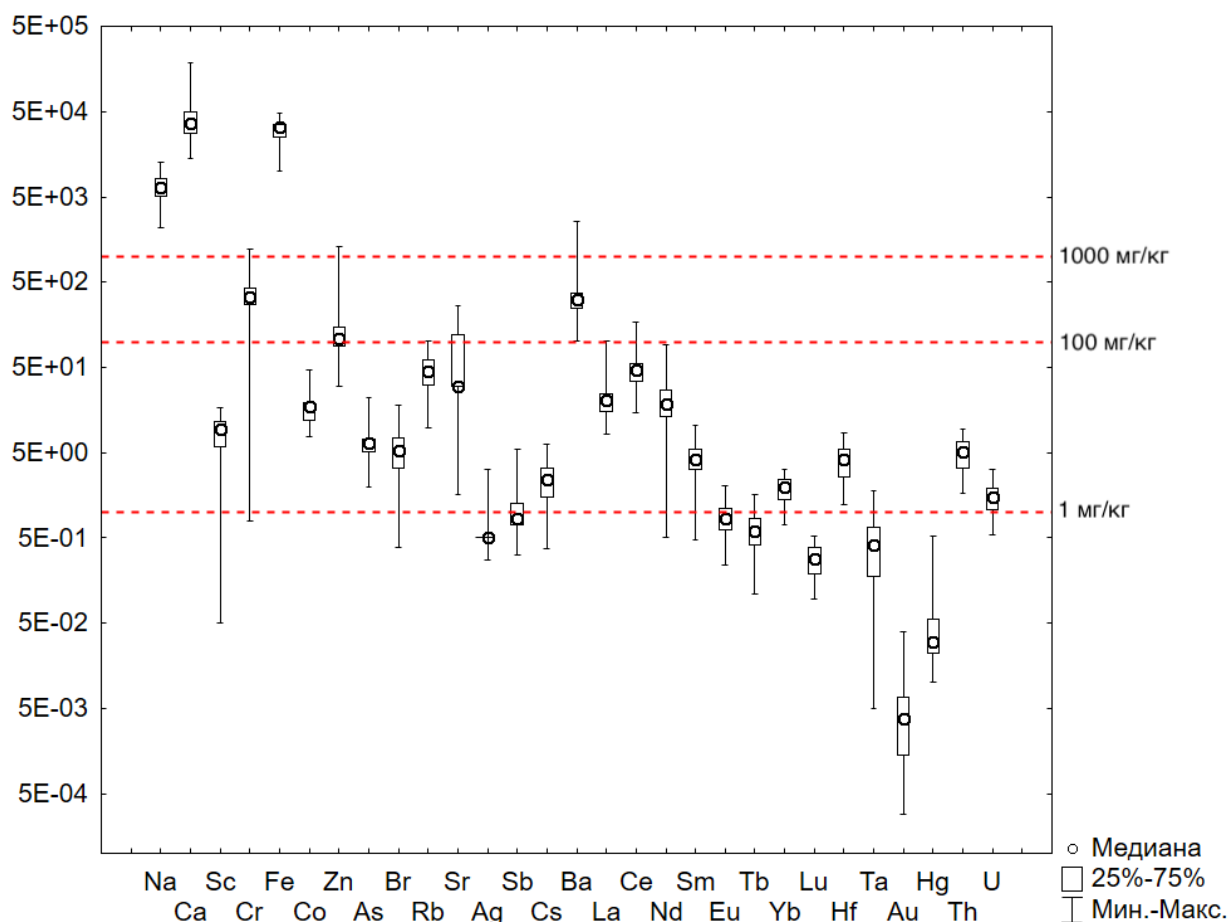


Рис. 3. Медианное, максимальное и минимальное содержание химических элементов в почвенном покрове на территории г. Уфы, мг/кг

Fig. 3. Median, maximum and minimum content of chemical elements in the soil cover on the territory of Ufa, ppm

Таблица 1. Коэффициент вариации химических элементов в почвенном покрове на территории города Уфы

Table 1. Coefficient of variation of chemical elements in the soil cover on the territory of Ufa

Элемент Element	v	Элемент Element	v	Элемент Element	v
Na	33	Sr	88	Tb	47
Ca	55	Ag	50	Yb	33
Sc	40	Sb	70	Lu	38
Cr	43	Cs	49	Hf	44
Fe	26	Ba	72	Ta	80
Co	32	La	49	Au	116
Zn	100	Ce	38	Hg	144
As	37	Nd	69	Th	40
Br	63	Sm	41	U	38
Rb	46	Eu	42		

В ряде исследований почвенного покрова на территории различных городов часто обнаруживаются повышенные концентрации хрома (Cr). Так, для города Владимира среднее содержание данного металла составляет 82,1 мг/кг, что является относительно низ-

ким по сравнению с другими городами. Однако даже в городах без металлообрабатывающих предприятий отмечаются ореолы, где значения содержания хрома достигают 328 мг/кг. Например, в городе Кольчугино, Владимирская область, где расположен завод по переработке руд цветных металлов, среднее значение концентрации хрома составляет 91 мг/кг, с максимальными показателями до 385 мг/кг [22]. Исследования, проведенные на территории города Йошкар-Олы с использованием аналогичных методик и методов, выявили среднее содержание хрома, равное 199 мг/кг. Исследования в городах Европы и Азии также приводят данные о повышенных содержаниях хрома в валовой форме, особенно вблизи мест с повышенным автомобильным трафиком [23, 24].

Вероятными источниками поступления Cr в окружающую среду на территории города Уфы могут быть выбросы как стационарных источников, в технологическом процессе которых задействован Cr [25], так и передвижных (автомобильный транспорт) [26].

Таблица 2. Геохимические ряды химических элементов в почвенном покрове на исследуемой территории
Table 2. Geochemical series of chemical elements in the soil cover in the study area

Район/District	Геохимический ряд/Geochemical series
Город Уфа (общее) Ufa city (total)	Cr _{5,7} -Zn _{1,5} -Co _{1,5} -Sb _{1,3} -Tb _{1,0}
Нефтехимический комплекс Petrochemical facility	Cr _{5,6} -Zn _{1,5} -Co _{1,4} -Sb _{1,2} - As _{1,0}
Уфимское моторостроительное производственное объединение Ufa Engine Industrial Association	Cr _{5,6} -Sb _{1,8} -Zn _{1,6} -Co _{1,4}
Затонская ТЭЦ Zatonskaya CHP	Cr _{5,5} -Zn _{1,5} -Co _{1,4} -Sb _{1,1} - Br _{1,0} - Sc _{1,0}
ООО «Кроношпан Башкортостан» Kronoshpan Bashkortostan LLC	Cr _{4,4} -Co _{1,8} - Tb _{1,7} -Zn _{1,5} - Nd _{1,3} - Sm _{1,3} - Lu _{1,2} - Rb _{1,1} - Hf _{1,1} - La _{1,1} - Ce _{1,1} - Yb _{1,1} -Sc _{1,1} -Sb _{1,1} -Br _{1,0}
Южная часть города (селитебная территория) City southern part (residential area)	Cr _{6,0} -Zn _{1,5} -Co _{1,4} -Sb _{1,3} -Tb _{1,2} - As _{1,2}

Примечание: жирным выделены специфические химические элементы для каждого промышленного района.
 Note: specific chemical elements for each industrial region are marked in bold.

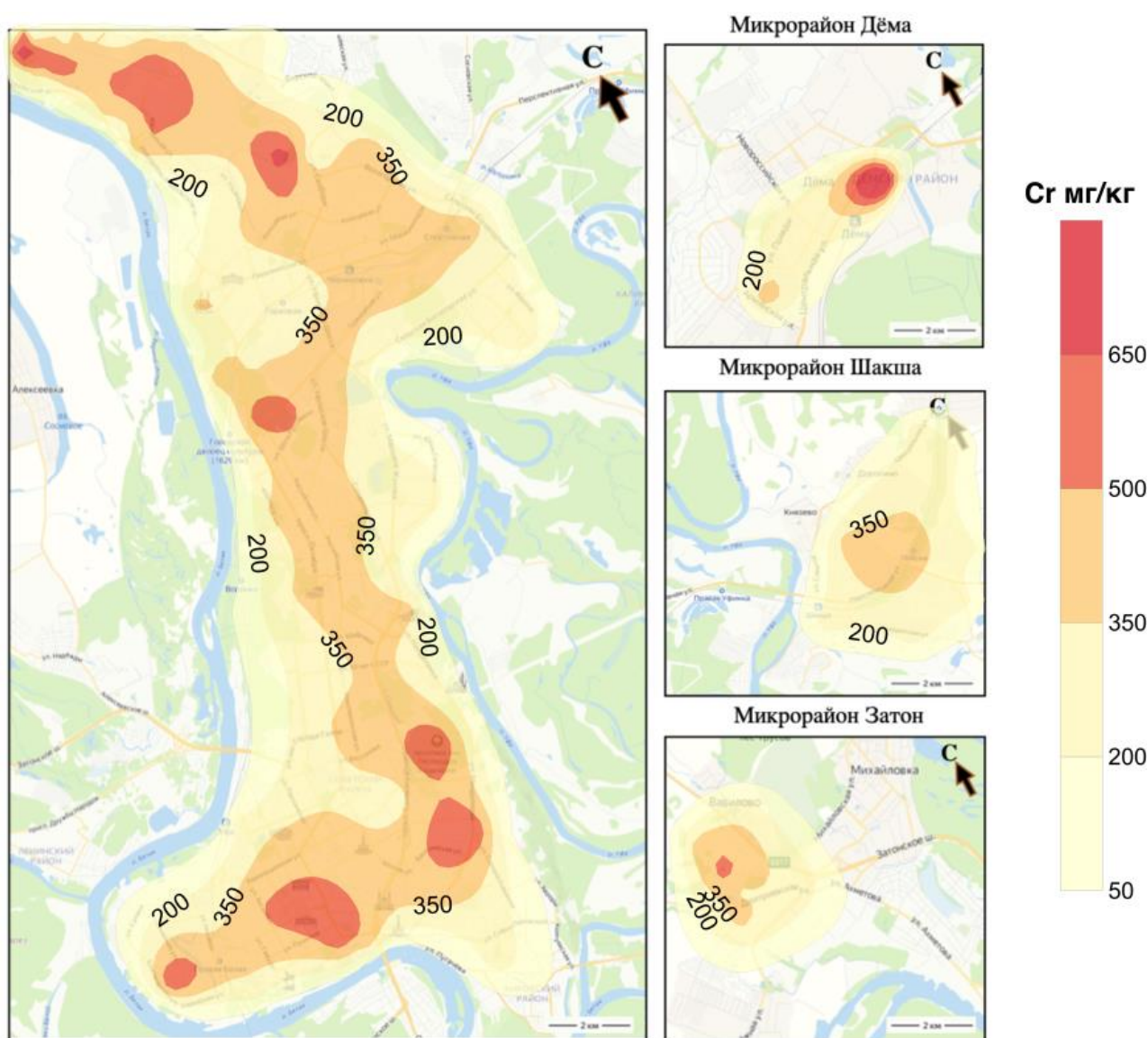


Рис. 4. Карта-схема пространственного распределения Cr (мг/кг) в почвенном покрове на исследуемой территории
Fig. 4. Schematic map of Cr (ppm) spatial distribution in the soil cover in the study area

Дальнейший анализ геохимических рядов позволяет сделать следующий вывод: вокруг крупнейших промышленных предприятий, которые являются основными источниками выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, формируются техногенные литогеохимические поля.

Геохимический ряд с минимальным количеством элементов выявлен на западной окраине Калининского района, вокруг цехов УМПО. Все присутствующие элементы встречаются при анализе других районов города, но именно на этой территории для Sb и Zn характерны наибольшие значения Кс. Производство двигателей предполагает использование металлических сплавов, покрытий и смазочных материалов, содержащих Sb и Zn, которые могут попадать в окружающую среду с промышленными выбросами и при утилизации отходов [27, 28].

Появление As в геохимических рядах в северной части города, где расположены НПЗ, и в южной жилой, где отмечается напряжённый автомобильный трафик, может служить индикатором сжигания углеводородов; схожие выводы были

сделаны в результате исследований на территории других городов [29, 30].

На территории микрорайона Затон в почвах накапливаются Br и Sc, хотя они и не являются основными загрязняющими веществами, связанными с газовыми ТЭЦ. Они могут присутствовать в выбросах вследствие примесей в природном газе или использования химических добавок в процессе сжигания. Бром может содержаться в органических соединениях, которые образуются при сжигании газа, тогда как скандий может поступать в атмосферу через аэрозоли и пыль, образующиеся при высоких температурах в котлах ТЭЦ [31].

Кластерный анализ позволил выделить пять значимых ассоциаций химических элементов: Sb-Zn, Hg-Ba-As-Cr, Ca-Sr, La-Ce-Nd и крупный кластер MREE (Sm-Eu)-HREE (Tb-Lu)-Th-U-Hf-Cs-Rb-Co-Fe-Sc-Ta-Br-Na. Выделенные ассоциации могут быть разделены на три группы по генезису: преимущественно природный, смешанный, преимущественно техногенный (рис. 5).

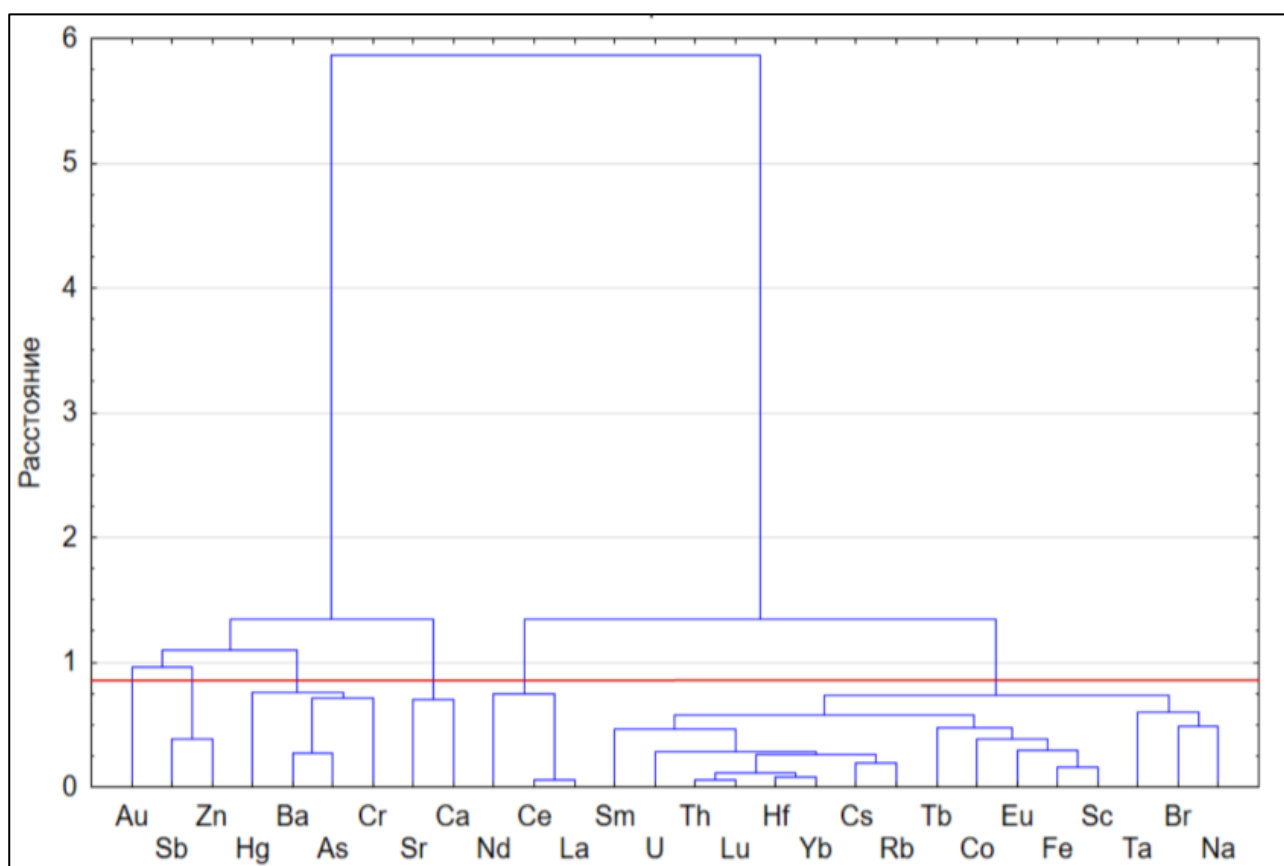


Рис. 5. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в почвенном покрове на территории г. Уфы ($1-Pearson\ r(0,14)=0,86$; объем выборки – 104 пробы)

Fig. 5. Dendrogram of the correlation matrix of geochemical spectrum of elements in the soil cover on the territory of Ufa ($1-Pearson\ r(0,14)=0,86$; total number of samples – 104)

Преимущественно природные кластеры

Кластер Ca-Sr. Единственная значимая ассоциация, которая представлена лишь двумя химическими элементами. Распределение Ca и Sr связано с особенностями геологического строения территории расположения города в пределах распространения известняков кунгурского и уфимского ярусов нижней перми (рис. 6). Мощность данного горизонта на исследуемой территории достигает 20 м [32].

В геологическом строении также принимают участие отложения гипса, алебастра и других легкорастворимых пород, которые вследствие воздействия подземных вод размываются, и образуются карстовые воронки.

Смешанные (природно-техногенные) кластеры

Ассоциация Cs-Rb, скорее всего, имеет техногенно-природное происхождение. Согласно литературным источникам по геохимии щелочных и

щелочноземельных элементов, для всех магматических пород характерно отношение масс $Rb > Li > Cs$. При этом соотношение рубидия к литию составляет 3–5 раз, а рубидия к цезию – 20–40 раз [33]. В данной работе было рассчитано соотношение медианных значений Rb к Cs, которое составило 19 единиц, что свидетельствует о природной ассоциации. В работе при составлении карт-схем распределения данных элементов не было выявлено областей с повышенными концентрациями этих элементов, а также не было обнаружено повышенных значений K_c для Rb и Cs в промышленных районах города. Однако на графике (рис. 7) мы можем видеть область сосредоточения точек, где значения Rb завышены по сравнению с природным показателем Rb/Cs. Это может быть свидетельством поступления Rb в почвенный покров в результате техногенного загрязнения, хоть и незначительного.

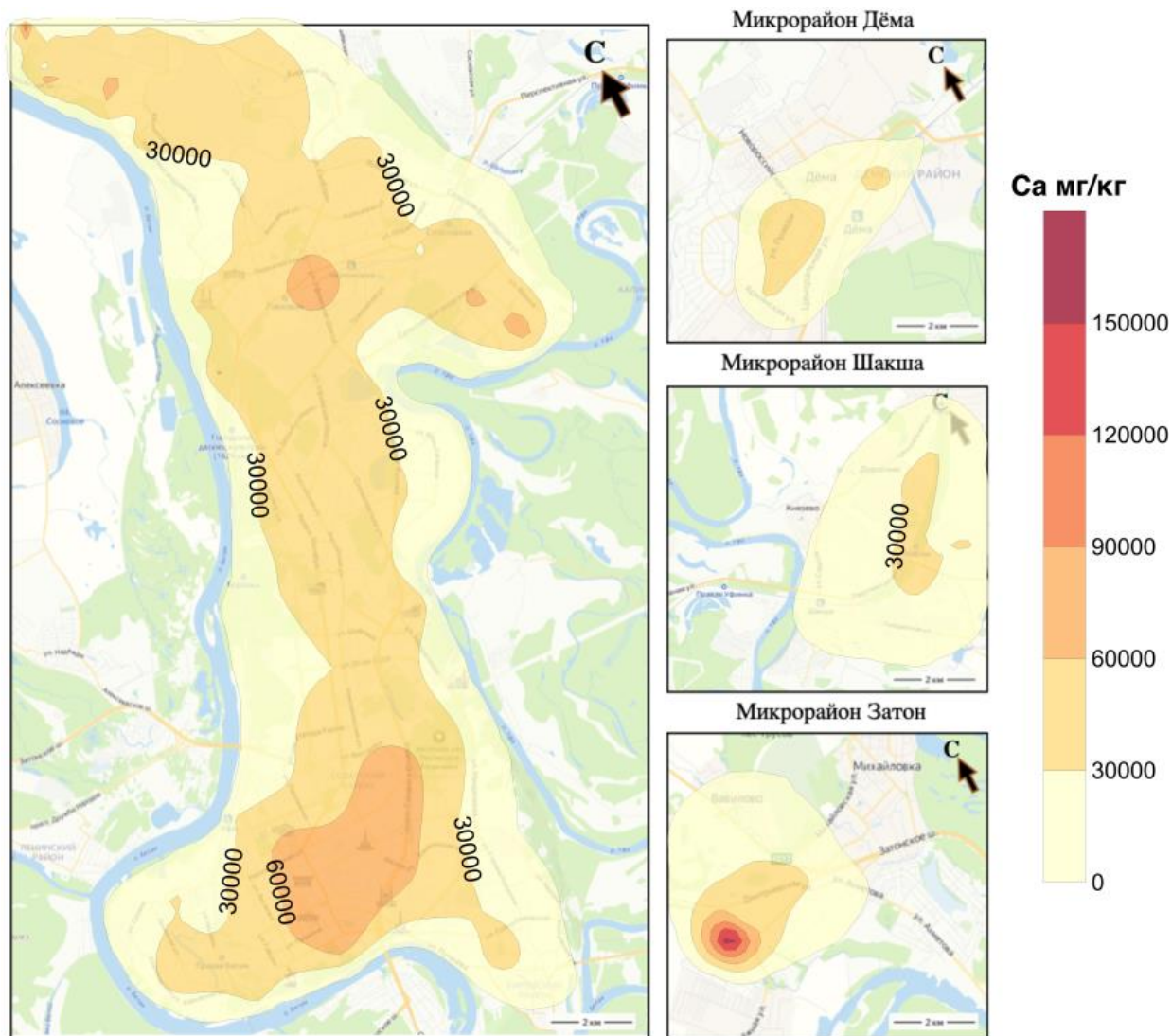


Рис. 6. Карта-схема пространственного распределения Ca (мг/кг) в почвенном покрове на исследуемой территории
Fig. 6. Schematic map of Ca (ppm) spatial distribution in the soil cover in the study area

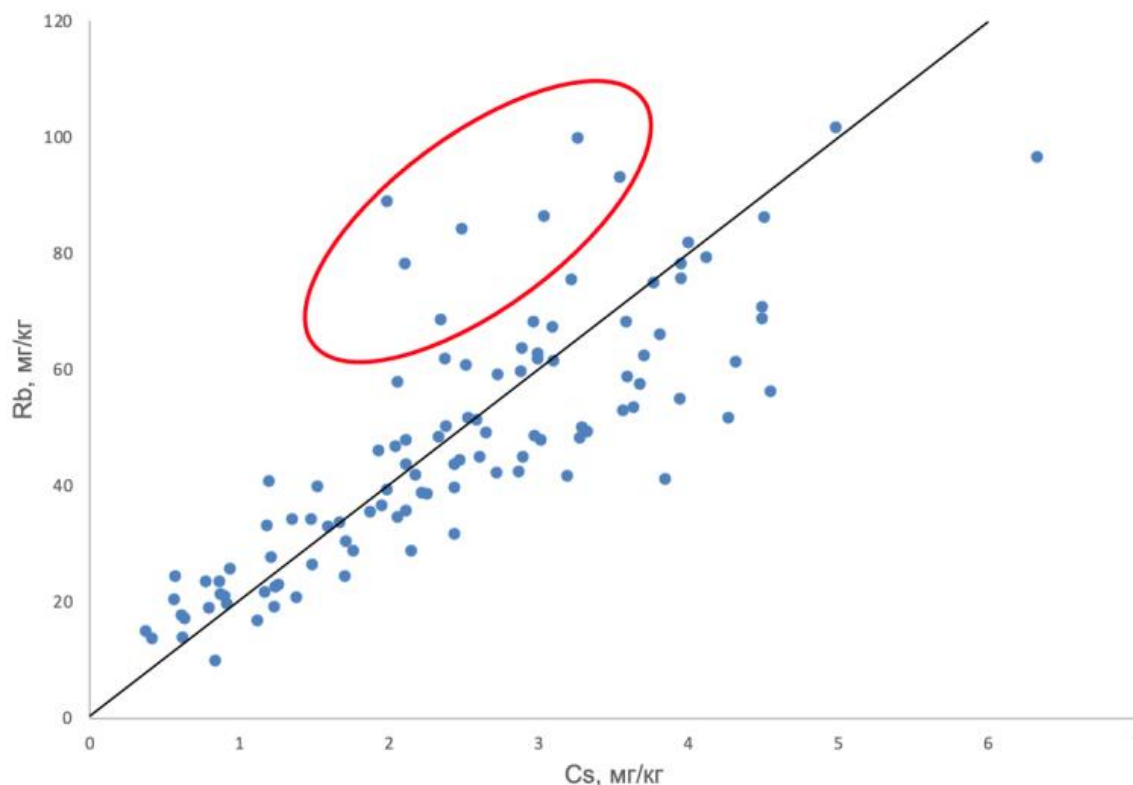


Рис. 7. График содержания Rb и Cs в почвенном покрове на территории города Уфы
Fig. 7. Graph of Rb and Cs content in the soil cover on Ufa territory

Ассоциация Br-Ta-Na. Тантал является одним из основных элементов, который позволит существенно повысить надежность, а также технологическую и экологическую безопасность при эксплуатации технических трубопроводов и промышленных установок благодаря включению в разные сплавы [34]. Кроме того, тантал и его сплавы широко используются в таких отраслях, как аэрокосмическая промышленность, атомная промышленность, электроника и т. д. Высокая биосовместимость тантала позволяет применять тантал в биоимплантатах и медицинских устройствах. Повышенное распределение тантала в почвенном покрове характерно для северных районов города. Ореолы с повышенными концентрациями натрия в свою очередь характерны для южной части города, районов с высокой автомобильной загруженностью. В период с ноября по апрель дорожные службы активно применяют реагенты, которые имеют в своём составе хлориды кальция, натрия, а также формиат натрия. Кроме этого, территория города характеризуется несколькими видами почв: серыми лесными почвами и чернозёмами. Содержание натрия можно объяснить наличием на исследуемой территории гумусового слоя, мощность которого может достигать 40 см [35]. Данная группа элементов стремится к ассоциации, которая включает в себя средние и тяжёлые РЗЭ, радиоактивные элементы и металлы.

Преимущественно техногенные кластеры

Кластер Sb-Zn. Геохимические аномалии данных элементов локализованы в районе железнодорожной перегрузочной станции Дёма, вблизи расположения цехов УМПО, а также небольшими ореолами по всей территории города. Сурьма и цинк тяготеют к ассоциации с Cr. Данные элементы присутствуют как в геохимическом ряду для города, так и в рядах, выделенных для каждого промышленного района. Применение соединений данных элементов в технологических циклах металлообрабатывающей, нефтехимической и моторостроительной отраслей описано во многих публикациях [36, 37].

Кластер Ba-As-Cr-Hg. На данный момент крупнейшими стационарными источниками загрязнения ртутью [38, 39], мышьяком и барием в городах являются теплоэлектростанции, а также определенные отрасли химической и электронной промышленности [40–42]. Повышенные концентрации данных элементов приурочены к районам расположения стационарных источников загрязнения, в процессе деятельности которых происходит сжигание или переработка минерального топлива, а также вблизи районов с высоко нагруженным автомобильным трафиком.

Кластер Th-Lu-Hf-Yb. Повышенное содержание и значения K_c для данных элементов отмечаются в

районах расположения предприятия ООО «Кроношпан Башкортостан» и УМПО. В настоящее время данные элементы нашли своё применение в качестве добавок к другим металлам [43]. Легирование сплавов данными элементами приводит к улучшению показателей износо- и жаростойкости.

Кластер Ce-La-Nd. Геохимические аномалии были сформированы вблизи двух нефтеперерабатывающих заводов, а также вблизи предприятия по производству OSB (Oriented Strand Board) плит на территории района Шакша (рис. 8).

Катализаторы, модифицированные лёгкими РЗЭ (Ce, La, Nd, Pr), являются незаменимыми компонентами в нефтехимическом крекинге [44]. Группа лантаноидов широко используется в катализаторах окислительно-восстановительного цикла на промышленных площадках «Башнефть-Новыйл» и «Башнефть-УНПЗ». В ранее проведенных исследованиях на территории городов с крупным нефте-

промышленным циклом (гг. Омск, Ачинск, Павлодар) уже отмечались изменения элементного состава верхнего горизонта почв в связи с деятельностью данных объектов, в этих же работах были выявлены характерные кластеры легких РЗЭ [45].

Одним из примечательных аспектов городских почв является насыщение магнетитом (Fe_3O_4) и оксидом железа техногенного происхождения, концентрация которых может составлять от 3 до 4 % и более, в то время как в фоновых почвах его содержание не превышает 0,1 % [46]. Это обусловлено влиянием выбросов промышленных предприятий, в том числе черной и цветной металлургии, металлообрабатывающих заводов, моторостроительных цехов, а также автомобильного транспорта. В результате обогащения техногенными магнетиками магнитная восприимчивость городской почвы увеличивается, что позволяет оценить степень загрязнения различными тяжелыми металлами.

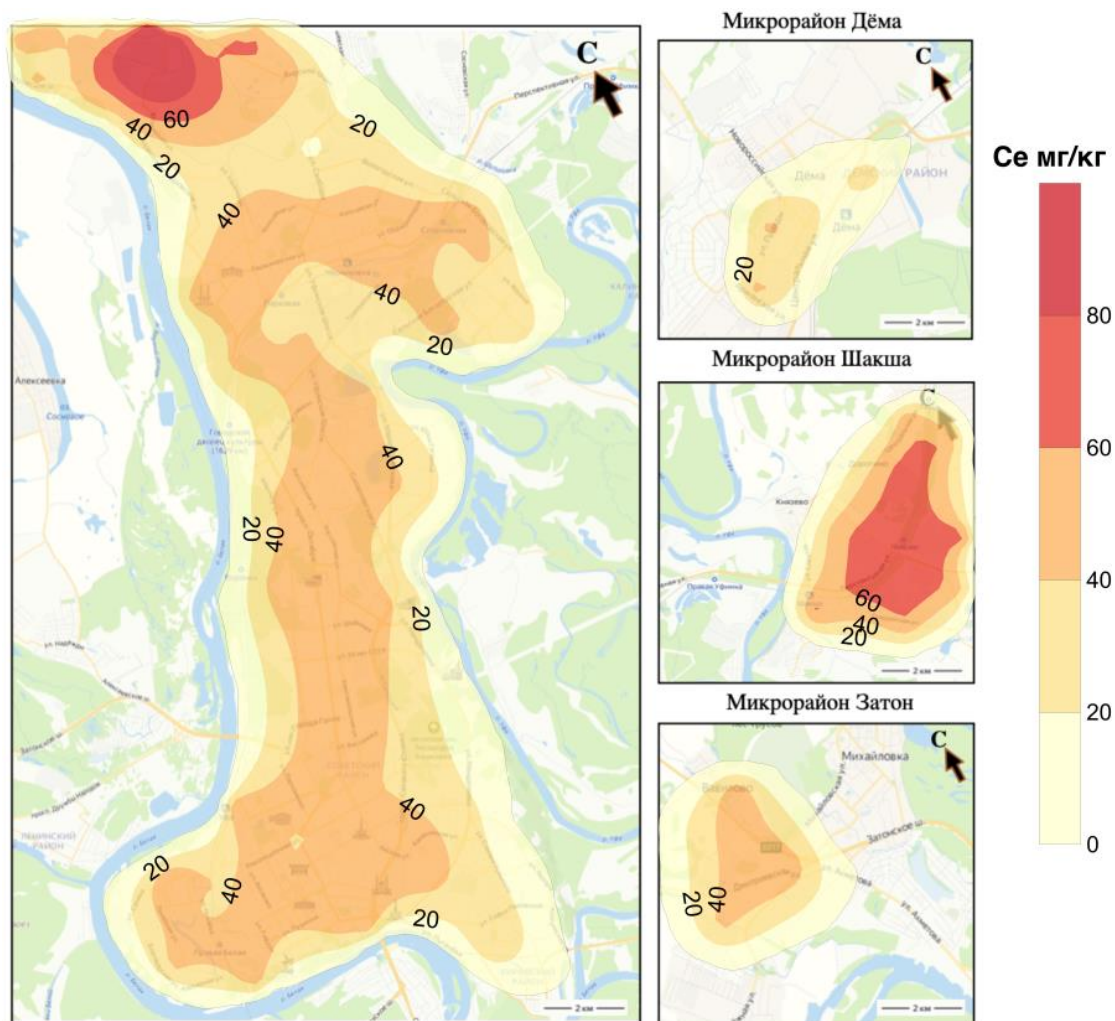


Рис. 8. Карта-схема пространственного распределения Ce (мг/кг) в почвенном покрове на исследуемой территории
Fig. 8. Schematic map of Ce (ppm) spatial distribution in the soil cover in the study area

По результатам каппаметрической съемки было оценено состояние почвенного покрова по показателю объемной магнитной восприимчивости и выявлены особенности пространственного распределения данного показателя (табл. 3, рис. 9).

При сравнении полученных результатов с литературными данными по другим городам РФ (Москва, Пермь, Томск, Омск, Таштагол, Медногорск и др.) необходимо отметить, что почвенный покров на большей части территории Уфы отмечается невысокими значениями магнитной восприимчивости. Отсутствие ТЭЦ, работающих на угле, в отличие от большинства городов Сибири, благоприятно сказывается на экологической обстановке города, поскольку именно уголь является основным источником привнесения частиц, обладающих ферромагнитными свойствами [18].

Таблица 3. Статистические параметры показателя объемной магнитной восприимчивости почвенного покрова на территории г. Уфы, $\cdot 10^{-5} \text{ СИ}$
Table 3. Statistical parameters of the indicator of volumetric magnetic susceptibility of the soil cover on the territory of Ufa, $\cdot 10^{-5} \text{ SI}$

n	x	SEM	M	S	A	E	Min	Max
104	54	7,8	42	81	8,6	82,5	10	834

Примечание: n – количество точек опробования; x – среднее арифметическое; SEM – стандартная ошибка среднего; M – медиана; S – стандартное отклонение; A – асимметрия; E – эксцесс; Min–Max – минимальное и максимальное содержание.

Note: n – number of sampling points; x – arithmetic mean; SEM – standard error of the mean; M – median; S – standard deviation; A – skewness; E – excess; Min-Max – minimum and maximum contents.

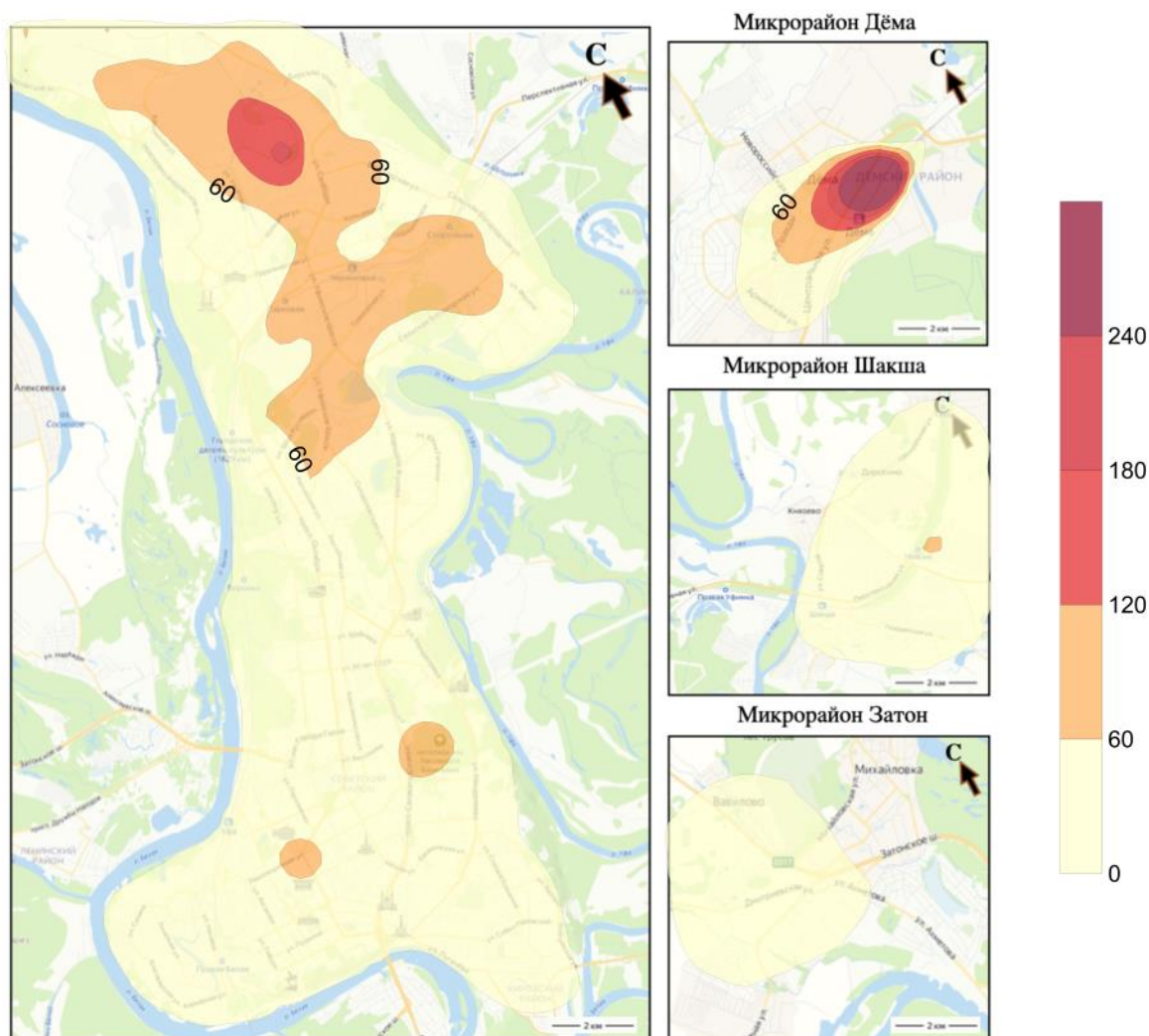


Рис. 9. Карта-схема пространственного распределения объемной магнитной восприимчивости почвенного покрова на территории г. Уфы, $\cdot 10^{-5} \text{ СИ}$

Fig. 9. Map-scheme of spatial distribution of volumetric magnetic susceptibility of soil cover on the territory of Ufa, $\cdot 10^{-5} \text{ SI}$

В целом почвы в городе Уфе можно отнести к слабонагруженным [47], с отдельными ореолами, где нагрузка на почвенный покров повышена. Магнитная восприимчивость почвенного покрова на исследуемой территории изменяется в широких пределах, от 10 до $834 \cdot 10^{-5}$ СИ. Почвы с наиболее высокими показателями магнитной восприимчивости сформировались на территории, прилегающей к перегрузочной ж/д станции Дёма, где были зафиксированы значения, достигающие $834 \cdot 10^{-5}$ СИ. В северной части города (Орджоникидзевский район) отмечаются несколько ореолов со значениями, превышающими среднее арифметическое и медианное содержания по городу. Карта пространственного распределения информативно акцентирует ореолы вблизи промышленных цехов Уфимских моторостроительных производственных объединений, находящихся в Орджоникидзевском и Калининском районах. Значения магнитной восприимчивости на данной территории варьируют в интер-

вале от 60 до $150 \cdot 10^{-5}$ СИ. Максимальные значения ($212 \cdot 10^{-5}$ СИ) в северной части города отмечаются вблизи промышленной зоны, где различные предприятия металлообрабатывающей промышленности ведут свою деятельность (завод технических масел, КранСервисПроект, БурСпецСервис), а также проходят грузовые железнодорожные пути, обеспечивающие сырьём промышленные предприятия.

Для общей эколого-геохимической оценки состояния почвенного покрова был рассчитан показатель $Z_{\text{спз}}$ (рис. 10). Среднее значение $Z_{\text{спз}}$ для почвенного покрова составляет 19 единиц, что соответствует уровню средней степени загрязнения. Благодаря небольшой плотности населения (1617 чел./км^2) и расположению основных предприятий в северной части города, южная часть города характеризуется минимальными значениями (10–12 ед.) данного показателя. Это обусловлено геоморфологическими особенностями (расположение на Уфимском увале) и благоприятной розой ветров.

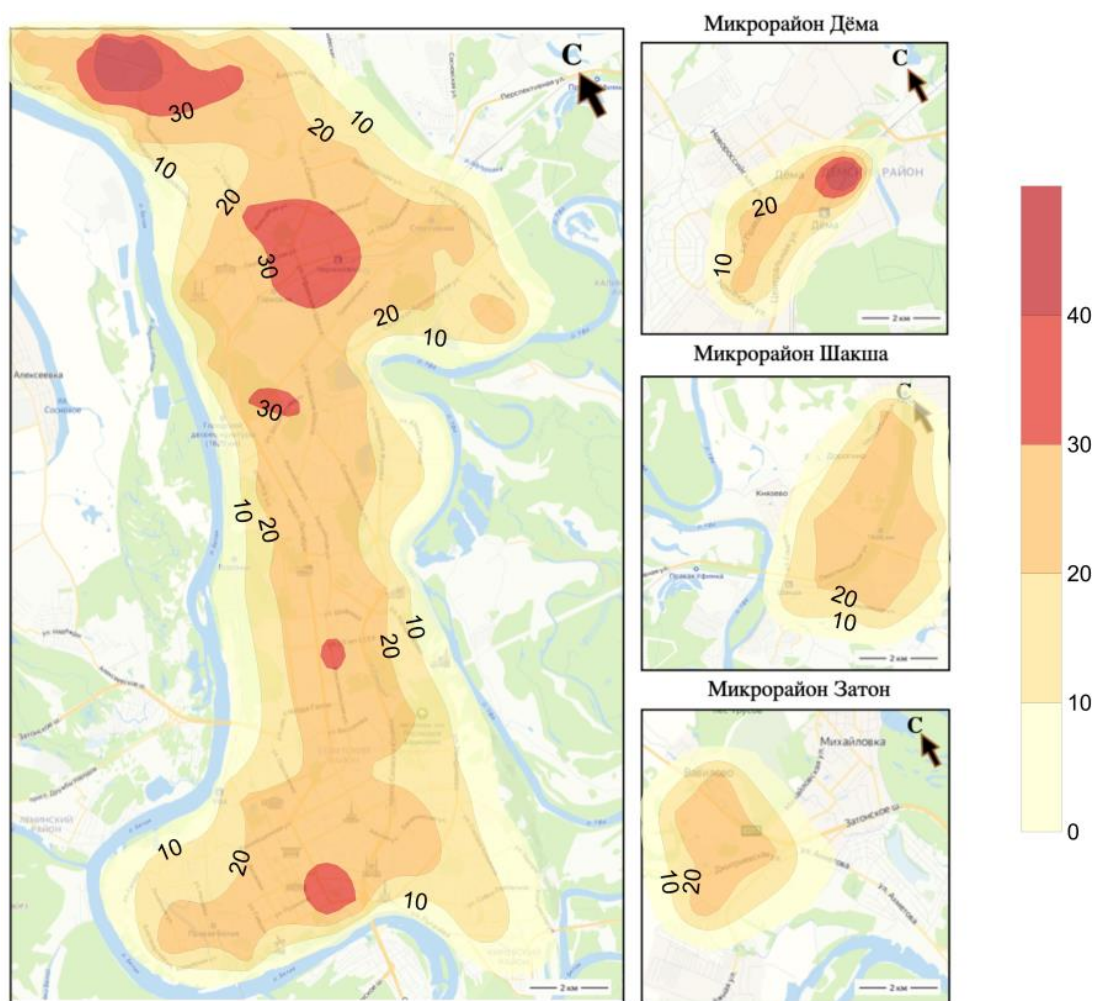


Рис. 10. Карта пространственного распределения значений суммарного показателя загрязнения (ед.) почвенного покрова на территории г. Уфы

Fig. 10. Map of spatial distribution of values of the total pollution index (units) of the soil cover on the territory of Ufa

Максимальные значения характерны для района размещения промышленных цехов УМПО (32 ед.), вблизи двух крупнейших НПЗ и на территории прилегающей перегрузочной станции железнодорожных путей (49 ед.). Наибольший вклад в данный показатель вносят Cr, Zn, Co, Sb.

В предыдущих исследованиях на территории города были отмечены значения $Z_{\text{СПЗ}}$ в интервале от 1 до 16 единиц [48, 49]. Это связано с ограниченным спектром изученных химических элементов (преимущественно тяжелые металлы: Pb, Zn, Cu, Mn, Ni, Hg). Сравнивая результаты ранее проведенных исследований с результатами данной работы, можно подтвердить общие выводы, что территория города характеризуется высокими значениями $Z_{\text{СПЗ}}$ в северной части города и низкими в южной.

Второй район города, характеризующийся относительно низкими показателями $Z_{\text{СПЗ}}$ – это микрорайон Шакша ($Z_{\text{СПЗ}}$ – 11–13 ед.), где территория застроена малоэтажными зданиями с преобладанием частного сектора. Однако хочется отдельно подчеркнуть, что в почвенном покрове на данной территории отмечены повышенные содержания техногенных элементов (Tb, Nd, Sm, Lu, Rb, Hf, La, Ce, Yb), чье влияние на здоровье населения пока слабо изучено.

Заключение

В результате проведенной эколого-геохимической оценки состояния почвенного покрова на территории города Уфы можно сделать выводы, что урбанизация и промышленное развитие города оказывают заметное влияние на состояние почвенного покрова, проявляющееся в изменении его физико-химических и биологических свойств.

Особое внимание стоит уделить тому, что в зонах интенсивной промышленной активности и высокой плотности населения отмечается значительное увеличение содержания металлов (Cr, Co, Zn, As, Hg, Ba) и других потенциально опасных химических элементов в почве. В частности, отмечается повышенное содержание Cr в почвенном покрове,

превышающее мировые показатели [21] для урбанизированных территорий в 4–7 раз. Изучение технологических процессов промышленных предприятий важно для оценки путей миграции химических элементов в почвенный покров города.

Кластерный анализ позволил выделить семь значимых ассоциаций химических элементов. Лишь одну из них (Ca-Sr) можно связать с геологическими особенностями территории, тогда как другие имеют техногенное либо природно-техногенное происхождение. Каждый кластер представлен специфическими элементами, что в совокупности с анализом карт-схем пространственного распределения химических элементов в почвенном покрове позволяет предположить источники их поступления в окружающую среду.

Результаты анализа объёмной магнитной восприимчивости в почвах указывают на то, что средние значения составляют $54 \cdot 10^{-5}$ СИ, с отдельными ореолами вблизи промышленных предприятий, где зафиксирован опасный уровень исследуемого показателя. Загрязнение почвенного покрова происходит от выбросов промышленных предприятий, связанных с металлургическим и металлообрабатывающим производством. Магнитно-техногенная нагрузка на почвенный покров города оценивается как ниже среднего по сравнению с другими городами Российской Федерации.

По величине суммарного показателя загрязнения ($Z_{\text{СПЗ}}$) большая часть изученной территории относится к территориям с низкой степенью загрязнения ($Z_{\text{СПЗ}} < 16$). Средняя степень загрязнения ($Z_{\text{СПЗ}}$ – 16–25 ед.) установлена в районе промышленных цехов УМПО и обусловлена такими элементами, как Cr, Sb, Zn и Co. Высокая степень загрязнения ($Z_{\text{СПЗ}}$ – до 49 ед.) выявлена на участке вблизи перегрузочной железнодорожной станции Дёма.

Результаты анализов позволили более глубоко оценить состояние почвенного покрова на территории города Уфы и выявить основные проблемные зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Surfactant-enhanced remediation of oil-contaminated soil and groundwater: a review / J.W. Liu, K.H. Wei, S.W. Xu, J. Cui, J. Ma, X.L. Xiao, X. Bei-Dou, H. Xiao-Song // *Science of the Total Environment*. – 2021. – V. 756. – Article number 144142.
2. Evaluation of the effects of urbanization on carbon emissions: the transformative role of government effectiveness / F. Chen, A. Liu, X. Lu, R. Zhe, J. Tong, R. Akram // *Frontiers in Energy Research*. – 2022. – V. 10. – Article number 848800.
3. Livelihood capital and land transfer of different types of farmers: evidence from panel data in Sichuan province, China / H. Yang, K. Huang, X. Deng, D. Xu // *Land*. – 2021. – V. 10. – № 5. – Article number 532.
4. Stone B., Hess J.J., Frumkin H. Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? // *Environmental Health Perspectives*. – 2010. – V. 118. – № 10. – P. 1425–1428.
5. Ladonin D.V., Mikhaylova A.P. Heavy metals and arsenic in soils and street dust of the southeastern administrative district of Moscow: long-term data // *Eurasian Soil Science*. – 2020. – V. 53. – P. 1635–1644.
6. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель, 1999. – 768 с.
7. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 19.06.2023).
8. Бухгалтерский баланс ПАО АНК «Башнефть» за 2021 г. URL: <http://www.bashneft.ru/> (дата обращения: 19.06.2023).

9. Официальный сайт ПАО «ОДК-УМПО». URL: http://www.umpo.ru/proizvodstvo/Quality_policy/ (дата обращения: 19.06.2023).
10. Башкирская генерирующая компания. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Башкирская_генерирующая_компания (дата обращения: 19.06.2023).
11. Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2021 г. – Уфа, 2022. – 300 с.
12. Гареев А.М., Галеева Э.М., Теплова Д.С. Пространственная и временная изменчивость загрязнения окружающей среды в условиях влияния городских агломераций (на примере Уфимского промышленного узла) // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2018. – Т. 28. – № 3 (91). – С. 41–50.
13. Оценка влияния предприятий нефтехимического комплекса на объекты окружающей среды / А.Р. Мухаматдинова, А.М. Сафаров, А.Т. Магасумова, Р.М. Хатмуллина // Георесурсы. – 2012. – № 8 (50). – С. 46–50.
14. Гладышева М.А. Магнитная восприимчивость урбанизированных почв: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2007. – 24 с.
15. Загурский А.М. Специфика микростроения и генезиса магнитных соединений железа в почвах: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2008. – 25 с.
16. Способ определения техногенной загрязненности почвенного покрова тяжелыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель): пат. Рос. Федерация № 2133487; заявл. 08.01.1998; опубл. 20.07.1999, Бюл. № 9. – 6 с.
17. Лобанова Е.С. Магнитная восприимчивость и экологогеохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий восточной окраины Русской равнины (на примере г. Перми): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Уфа, 2013. – 24 с.
18. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – case study from Finland / M.S. Bucko, T. Magiera, L. Pesonen, B. Janus // *Water, Air and Soil Pollution*. – 2010. – V. 209. – P. 295–306.
19. Михальчук А.А., Язиков Е.Г., Ершов В.В. Статистический анализ эколого-геохимической информации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 235 с.
20. Теория и методы комплексной интерпретации геофизических данных / П.С. Мартышко, И.В. Ладовский, Н.В. Федорова, Д.Д. Бызов, А.Г. Цидаев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2016. – 94 с.
21. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2001. – 548 p.
22. Гончаров Е.А., Пигалин Д.И., Шурков Н.Г. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова городских ландшафтов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 87–97.
23. Comparison of heavy metals in urban soil and dust in cities of China: Characteristics and health risks / Y. He, C. Peng, Y. Zhang, Z. Guo, X. Xiao, L. Kong // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2023. – V. 20. – № 2. – P. 2247–2258.
24. Recognizing the importance of an urban soil in an open-air city museum: an opportunity in the city of Madrid, Spain / R. Jiménez-Ballesta, D. Soto-García, S. Isabel, F.J. García-Navarro, R. García-Giménez // *Land*. – 2022. – V. 11. – № 12. – Article number 2310.
25. Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia) / M.M. Poznanović Spahić, S.M. Sakan, B.M. Glavaš-Trbić, P.I. Tančić, S.B. Škrivanj, J.R. Kovačević, D.D. Manojlović // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2019. – V. 54. – № 3. – P. 219–230.
26. Heavy metal pollution by road-deposited sediments and its contribution to total suspended solids in rainfall runoff from intensive industrial areas / H. Jeong, J.Y. Choi, J. Lee, J. Lim, K. Ra // *Environmental Pollution*. – 2020. – V. 265. – Article number 115028.
27. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: partitioning and deposition rates in Western Moscow / D. Vlasov, J. Vasilchuk, N. Kosheleva, N. Kasimov // *Atmosphere*. – 2020. – V. 11. – № 9. – Article number 907.
28. Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China / Y. Jiang, S. Chao, J. Liu, Y. Yang, Y. Chen, A. Zhang, H. Cao // *Chemosphere*. – 2017. – V. 168. – P. 1658–1668.
29. Emission characteristics of volatile organic compounds and their secondary organic aerosol formation potentials from a petroleum refinery in Pearl River Delta, China / Z. Zhang, H. Wang, D. Chen, Q. Li, P. Thai, D. Gong, B. Wang // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 584. – P. 1162–1174.
30. Spatial distribution of soil heavy metals and associated environmental risks near major roads in Southern Tibet, China / W. She, L. Guo, J. Gao, C. Zhang, S. Wu, Y. Jiao, G. Zhu // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – V. 19. – № 14. – Article number 8380.
31. Pacyna J.M., Pacyna E.G. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // *Environmental Reviews*. – 2001. – V. 9. – № 4. – P. 269–298.
32. Уран в антропогенных карбонатах на территории Уфы / И.М. Фархутдинов, Р.Р. Хайруллин, Б.Р. Соктоев, А.Н. Злобина, Е.И. Чесалова, А.М. Фархутдинов, А.В. Ткачев // *Записки Горного института*. – 2023. – № 260. – С. 226–237.
33. Арсанова Г.И. К геохимии цезия: источник цезия в термальных водах и кислых вулканиках // *Электронное научное издание Альманах Пространство и Время*. – 2013. – Т. 4. – № 1. – С. 1–14.
34. The significant effect of tantalum on the hydrogen-induced cracking of pipeline steel: Morphology, hydrogen permeation, and theoretical studies / S. Zhang, W. Chen, F. Huang, Y.F. Cheng, K. Li, Q. Hu, J. Liu // *Corrosion Science*. – 2022. – V. 200. – Article number 110213.
35. Хазиев Ф.Х. Исследование почв в республике Башкортостан // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2011. – Т. 16. – № 2. – С. 34–45.
36. Обзор состояния сурьмяной отрасли России / В.Ю. Хатьков, Г.Ю. Боярко, Л.М. Болсуновская, А.М. Дибров, Е.В. Ткачева // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 153–163.
37. Apelian D., Paliwal M., Herrschaft D.C. Casting with zinc alloys // *Jom*. – 1981. – V. 33. – P. 12–20.

38. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects / C.T. Driscoll, R.P. Mason, H.M. Chan, D.J. Jacob, N. Pirrone // *Environmental Science & Technology*. – 2013. – V. 47. – № 10. – P. 4967–4983.
39. Bernhoft R.A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature // *Journal of Environmental and Public Health*. – 2012. – V. 2012. – Article number 460508.
40. Schroeder H.A., Hannover N., Brattlebro V. A sensible look at air pollution by metals // *Archives of Environmental Health: An International Journal*. – 1970. – V. 21. – № 6. – P. 798–806.
41. Albert L., Goguelin A., Jullian E. A new lead alloy for automotive batteries operating under high-temperature conditions // *Journal of Power Sources*. – 1999. – V. 78. – № 1–2. – P. 23–29.
42. Investigation of the influence of the thermal effects on the FeCrAl alloys Kh15Yu5 and Kh23Yu5 / B.K. Khusain, A.R. Brodskiy, V.I. Yaskevich, M.Z. Zhurinov, A.Z. Abilmagzhanov // *EurAsian Journal of BioSciences*. – 2019. – V. 13. – № 2. – P. 687–694.
43. Impact of rare-earth elements on the corrosion performance of binary magnesium alloys / H. Azzeddine, A. Hanna, A. Dakhouché, L. Rabahi, N. Scharnagl, M. Dopita, T. Baudin // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2020. – V. 829. – Article number 154569.
44. Recovery of lanthanides from hydrocarbon cracking spent catalyst through chemical and biotechnological strategies / D.M. Azevedo, J.A. Silva, E.F. Servulo, V.L. Frescura, J. Dognini, F.J. Oliveira // *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. – 2019. – V. 54. – № 7. – P. 686–693.
45. Изменение элементного состава верхнего горизонта почв под воздействием предприятий нефтегазопереработки / В.В. Боев, Н.В. Барановская, В.А. Боев, М.Т. Джамбаев, Т.С. Шахова, Л.В. Жорняк // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2019. – Т. 330. – С. 179–191.
46. The use and misuse of magnetic methods to monitor environmental pollution in urban areas / K.L. Kapper, F. Bautista, A. Goguitchaishvili, M.F. Bógalo, R. Cejudo-Ruiz, M. Cervantes Solano // *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. – 2020. – V. 72. – № 1. – Article number A111219.
47. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2015. – 243 с.
48. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами городских почв Башкортостана / Э.М. Курамшин, Н.Г. Курамшина, Э.Э. Нуртдинова, У.Б. Имашев // *Башкирский химический журнал*. – 2015. – Т. 22. – № 2. – С. 74–79.
49. Галева Э.М., Галимова Р.Г., Теплова Д.С. К вопросу о комплексной оценке состояния окружающей среды в г. Уфа // *Российский журнал прикладной экологии*. – 2018. – № 1 (13). – С. 47–51.

REFERENCES

1. Liu J.W., Wei K.H., Xu S.W., Cui J., Ma J., Xiao X.L., Bei-Dou X., Xiao-Song H. Surfactant-enhanced remediation of oil-contaminated soil and groundwater: a review. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 756, pp. 1–19, article number 144142.
2. Chen F., Liu A., Lu X., Zhe R., Tong J., Akram R. Evaluation of the effects of urbanization on carbon emissions: the transformative role of government effectiveness. *Frontiers in Energy Research*, 2022, vol. 10, pp. 1–12, article number 848800.
3. Yang H., Huang K., Deng X., Xu D. Livelihood capital and land transfer of different types of farmers: Evidence from panel data in Sichuan province, China. *Land*, 2021, vol. 10, no. 5, pp. 1–21, article number 532.
4. Stone B., Hess J.J., Frumkin H. Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? *Environmental Health Perspectives*, 2010, vol. 118, no. 10, pp. 1425–1428.
5. Ladonin D.V., Mikhaylova A.P. Heavy metals and arsenic in soils and street dust of the southeastern administrative district of Moscow: long-term data. *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, pp. 1635–1644.
6. Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow, Astraea Publ., 2000. 768 p.
7. *Chislennost naseleniya Rossiyskoy Federatsii po munitsipalnym obrazovaniyam* [The population of the Russian Federation by municipalities]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (accessed 19 June 2023).
8. *Bukhgalterskiy balans PAO ANK «Bashneft» za 2021g.* [The balance sheet of PJSC ANC Bashneft for 2021]. Available at: <http://www.bashneft.ru/> (accessed 19 June 2023).
9. *Ofitsialny sayt PAO «ODK-UMPO»* [The official website of PJSC UEC-UMPO]. Available at: http://www.umpo.ru/proizvodstvo/Quality_policy/ (accessed 19 June 2023).
10. *Bashkirskaya generiruyushchaya kompaniya* [Bashkir Generating Company]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Башкирская_генерирующая_компания (accessed 19 June 2023).
11. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii prirodnikh resursov i okruzhayushchey sredy Respubliki Bashkortostan v 2021 godu* [State report on the state of natural resources and the Environment of the Republic of Bashkortostan in 2021]. Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan, 2022. 300 p.
12. Gareev A.M., Galeeva E.M., Teplova D.S. Spatial and temporal variability of environmental pollution under the influence of urban agglomerations (on the example of the Ufa industrial hub). *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2018, vol. 28, no. 3 (91), pp. 41–50. In Rus.
13. Mukhamatdinova A.R., Safarov A.M., Mukhasumova A.T., Graduullina R.M. Assessment of the impact of petrochemical complex enterprises on environmental objects. *Geo resources*, 2012, no. 8 (50), pp. 46–50. In Rus.
14. Gladysheva M.A. *Magnitnaya vospriimchivost urbanizirovannykh pochv*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Magnetic susceptibility of urbanized soils. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 2007. 24 p.
15. Zagurskiy A.M. *Spetsifika mikrostroeniya i genezisa magnitnykh soedineniy zheleza v pochvakh*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Specifics of microstructure and genesis of magnetic iron compounds in soils. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 2008. 25 p.
16. Yazikov E.G., Mikov O.A. *Sposob opredeleniya tekhnogennoy zagryaznennosti pochvennogo pokrova tyazhelymi metallami grupy zheleza (zhelezo, kobalt, nikel)* [Method for determining technogenic contamination of soil cover with heavy metals of the iron group (iron, cobalt, nickel)]. Patent RF, no. 2133487, 1999.

17. Lobanova E.S. *Magnitnaya vospriimchivost i ekologogeoekhimicheskaya otsenka pochvennogo pokrova urbanizirovannykh territoriy vostochnoy ukrainy Russkoy ravniny (na primere g. Permi)* Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Magnetic susceptibility and ecological geochemical assessment of the soil cover of urbanized territories of the eastern outskirts of the Russian Plain (on the example of Perm). Cand. Diss. Abstract]. Ufa, 2013. 24 p.
18. Bucko M.S., Magiera T., Pesonen L., Janus B. Magnetic, geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes – case study from Finland. *Water, Air and Soil Pollution*, 2010, vol. 209, pp. 295–306.
19. Mikhalechuk A.A., Yazikov E.G., Ershov V.V. *Statisticheskii analiz ekologo-geokhimicheskoy informatsii* [Statistical analysis of ecological and geochemical information]. Tomsk, TPU Publ., 2006. 235 p.
20. Martyshko P.S., Ladovsky I.V., Fedorova N.V., Byzov D.D., Tsidaev A.G. *Teoriya i metody kompleksnoy interpretatsii geofizicheskikh dannyykh* [Theory and methods of complex interpretation of geophysical data]. Ekaterinburg, UrO RAS Publ., 2016. 94 p.
21. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Roca Raton. CRC Press Publ., 2001. 548 p.
22. Goncharov E.A., Pigalin D.I., Shurkov N.G. Ecological and geochemical assessment of the soil cover of urban landscapes. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management*, 2015, no. 1 (25), pp. 87–97.
23. He Y., Peng C., Zhang Y., Guo Z., Xiao X., Kong L. Comparison of heavy metals in urban soil and dust in cities of China: Characteristics and health risks. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 2247–2258.
24. Jiménez-Ballesta R., Soto-García D., Isabel S., García-Navarro F.J., García-Giménez R. recognizing the importance of an urban soil in an open-air city museum: an opportunity in the city of Madrid, Spain. *Land*, 2022, vol. 11, no. 12, pp. 1–13, article number 2310.
25. Poznanović Spahić M.M., Sakan S.M., Glavaš-Trbić B.M., Tančić P.I., Škrivanj S.B., Kovačević J.R., Manojlović D.D. Natural and anthropogenic sources of chromium, nickel and cobalt in soils impacted by agricultural and industrial activity (Vojvodina, Serbia). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2019, vol. 54, no. 3, pp. 219–230.
26. Jeong H., Choi J.Y., Lee J., Lim J., Ra K. Heavy metal pollution by road-deposited sediments and its contribution to total suspended solids in rainfall runoff from intensive industrial areas. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 265, article number 115028.
27. Vlasov D., Vasilchuk J., Kosheleva N., Kasimov N. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: partitioning and deposition rates in Western Moscow. *Atmosphere*, 2020, vol. 11, no. 9, article number 907.
28. Jiang Y., Chao S., Liu J., Yang Y., Chen Y., Zhang A., Cao H. Source apportionment and health risk assessment of heavy metals in soil for a township in Jiangsu Province, China. *Chemosphere*, 2017, vol. 168, pp. 1658–1668.
29. Zhang Z., Wang H., Chen D., Li Q., Thai P., Gong D., Wang B. Emission characteristics of volatile organic compounds and their secondary organic aerosol formation potentials from a petroleum refinery in Pearl River Delta, China. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 584, pp. 1162–1174.
30. She W., Guo L., Gao J., Zhang C., Wu S., Jiao Y., Zhu G. Spatial distribution of soil heavy metals and associated environmental risks near major roads in Southern Tibet, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no. 14, pp. 11–17, article number 8380.
31. Pacyna J.M., Pacyna E.G. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environmental reviews*, 2001, vol. 9, no. 4, pp. 269–298.
32. Farkhutdinov I.M., Khairullin R.R., Soktoev B.R., Zlobina A.N., Chesalova E.I., Farkhutdinov A.M., Tkachev A.V. Uranium in anthropogenic carbonates on the territory of Ufa. *Notes of the Mining Institute*, 2023, no. 260, pp. 226–237. In Rus.
33. Arsanova G.I. On the geochemistry of caesium: a source of caesium in thermal waters and acid volcanites. *Electronic scientific publication Almanac Space and Time*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 1–14. In Rus.
34. Zhang S., Chen W., Huang F., Cheng Y.F., Li K., Hu Q., Liu J. The significant effect of tantalum on the hydrogen-induced cracking of pipeline steel: morphology, hydrogen permeation, and theoretical studies. *Corrosion Science*, 2022, vol. 200, article number 110213.
35. Khaziev F.K. Soil research in the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2011, vol. 1, no. 16, no. 2, pp. 34–45. In Rus.
36. Khatkov V.Yu., Boyarko G.Yu., Bolsunovskaya L.M., Dibrov A.M., Tkacheva E.V. Overview of the state of the antimony industry in Russia. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*, 2022, vol. 333, no. 2, pp. 153–163. In Rus.
37. Apelian D., Paliwal M., Herrschaft D.C. Casting with zinc alloys. *Jom*, 1981, vol. 33, pp. 12–20.
38. Driscoll C.T., Mason R.P., Chan H. M., Jacob D.J., Pirrone N. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects. *Environmental Science & Technology*, 2013, vol. 47, no. 10, pp. 4967–4983.
39. Bernhoft R.A. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *Journal of environmental and public health*, 2012, vol. 2012, pp. 10, article number 460508.
40. Schroeder H.A., Hannover N., Brattlebro V. A sensible look at air pollution by metals. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 1970, vol. 21, no. 6, pp. 798–806.
41. Albert L., Goguelin A., Jullian E. A new lead alloy for automotive batteries operating under high-temperature conditions. *Journal of Power Sources*, 1999, vol. 78, no. 1–2, pp. 23–29.
42. Khusain B.K., Brodskiy A.R., Yaskevich V.I., Zhurinov M.Z., Abilmagzhanov A.Z. Investigation of the influence of the thermal effects on the FeCrAl alloys Kh15Yu5 and Kh23Yu5. *EurAsian Journal of BioSciences*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 687–694.
43. Azzeddine H., Hanna A., Dakhouché A., Rabahi L., Scharnagl N., Dopita M., Baudin T. Impact of rare-earth elements on the corrosion performance of binary magnesium alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 2020, vol. 829, article number 154569.
44. Azevedo D.M., Silva J.A., Servulo E.F., Frescura V.L., Dognini J., Oliveira F.J. Recovery of lanthanides from hydrocarbon cracking spent catalyst through chemical and biotechnological strategies. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2019, vol. 54, no. 7, pp. 686–693.

45. Boev V.V., Baranovskaya N.V., Boev V.A., Dzhambaev M.T., Shakhova T.S., Zhomyak, L.V. Change in the elemental composition of the upper soil horizon under the influence of oil and gas processing enterprises. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 11, pp. 179–191. In Rus.
46. Kapper K.L., Bautista F., Gogutchashvili A., Bógaló M.F., Cejudo-Ruiz R., Cervantes Solano M. The use and misuse of magnetic methods to monitor environmental pollution in urban areas. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2020, vol. 72, no. 1, pp. 1–46, article number A111219
47. Vasiliev A.A., Lobanova E.S. *Magnitnaya i geokhimicheskaya otsenka pochvennogo pokrova urbanizirovannykh territoriy Preduralya na primere goroda Permi* [Magnetic and geochemical assessment of the soil cover of urbanized territories of the Urals on the example of the city of Perm]. Perm, Perm State Agricultural Academy Publ., 2015. 243 p.
48. Kuramshin E.M., Kuramshina N.G., Nurtidina E.E., Imashev U.B. Geochemical assessment of heavy metal pollution of urban soils of Bashkortostan. *Bashkir Chemical Journal*, 2015, vol. 22, no. 2, pp. 74–79. In Rus.
49. Galeeva E.M., Galimova R.G., Teplova D.S. On the issue of a comprehensive assessment of the state of the environment in Ufa. *Russian Journal of Applied Ecology*, 2018, no. 1 (13), pp. 47–51. In Rus.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гавриил Александрович Гончаров, аспирант отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. gavriil.goncharov@gmail.com; шифр специальности ВАК: 1.6.21

Булат Ринчинович Соктоев, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. bulatsoktoev@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4102-4282>

Исхак Мансурович Фархутдинов, кандидат геолого-минералогических наук, главный менеджер, РН-БашНИПИнефть. Россия, 450103, г. Уфа, ул. Бехтерева, 3, стр. 1; ученый секретарь Государственного геологического музея им. В.И. Вернадского Российской академии наук, Россия, 125009, г. Москва, ул. Моховая 11, стр. 11. iskhakgeo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8494-8154>

Поступила в редакцию: 28.06.2023

Поступила после рецензирования: 15.07.2023

Принята к публикации: 24.07.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gavriil A. Goncharov, Postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. gavriil.goncharov@gmail.com

Bulat R. Soktoev, Cand. Sc., Associate Professor National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation. bulatsoktoev@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4102-4282>

Iskhak M. Farkhutdinov, Cand. Sc., Chief Manager, RN-BashNIPIneft, 3, Bekhtereva str., Ufa, 450103, Russian Federation; Academic Secretary, Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, 11/11, Mokhovaya street, Moscow, 125009, Russian Federation. iskhakgeo@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8494-8154>

Received: 28.06.2023

Revised: 15.07.2023

Accepted: 24.07.2023