Оригинальная (исследовательская) статья
УДК 502.4; 504.054
https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-2-19-25
https://elibrary.ru/joetib

Сезонное содержание Cu, Zn, Pb в придорожных почвах острова Ольхон (2023-2025 гг.)

Екатерина Николаевна Соловьева[1,2] ✉, **Юрий Викторович Рыжов**[2], **Светлана Ивановна Штельмах**[2]
[1] ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», Иркутск, Россия
[2] ФГБУН «Институт земной коры СО РАН», Иркутск, Россия
✉ soloveva@baikal-1.ru

Аннотация. Постановка научной проблемы и её актуальность. В работе исследовано влияние экскурсионного автотранспортного потока на территорию Прибайкальского национального парка. Цель – оценить накопление Pb, Zn, Cu в придорожных почвах и выявить механизмы их латеральной миграции. Установление ведущих факторов загрязнения необходимо для разработки мер по минимизации антропогенной нагрузки на границах особо охраняемой природной территории федерального значения. Материал и методы. В течение 2023-2025 гг. отобрано 168 проб почвы в 10-метровой зоне от дорог на глубине до 20 см. Концентрации Pb, Zn, Cu определены рентгенофлуоресцентным методом. На основе среднемесячных данных рассчитаны коэффициенты кларка ($К_к$) и регионального фона ($К_с$). Пространственно-временная динамика проанализирована с учетом интенсивности трафика, дорожных работ, рельефа и литологии острова. Результаты и их обсуждение. Выявлена выраженная сезонная изменчивость геохимического профиля. В летний период по коэффициентам кларка ($К_к$) приоритетными поллютантами выступают Cu (0,98-3,70) и Zn (1,56-3,39), тогда как при анализе относительно регионального фона ($К_с$) ведущим элементом становится Pb (1,18-2,89), зафиксированный во всех 100% проб. К октябрю концентрации Pb снижаются, тогда как Zn и Cu демонстрируют слабую тенденцию к росту. Высокие уровни накопления в песчаных почвах с низким естественным фоном указывают на преимущественно антропогенное происхождение поллютантов. Основными источниками могут служить выхлопные газы, продукты износа тормозных накладок и покрышек, а также пыление при дорожно-ремонтных работах. Латеральное распределение металлов на поперечном профиле склона асимметрично и может определяться сочетанием воздушных и водных потоков. Zn и Cu достигают максимума в верхней по склону точке вероятно из-за осаждения воздушно-капельных фракций доминирующими ветрами. Напротив, Pb аккумулируется в нижней точке вероятно в результате гравитационного и дождевого стока. При этом пик Cu в верхней части склона может быть обусловлен наложением современного техногенного загрязнения на остаточный агрохимический фон от распашки земель в советский период. Полученные данные свидетельствуют о трансформации почвенного покрова на границах парка, где вклад экскурсионного автотранспорта сопоставим с влиянием исторического землепользования. Это требует пересмотра регламента туристических маршрутов для защиты экосистем Прибайкалья.

Ключевые слова: тяжелые металлы, придорожные грунты, рентгенофлуоресцентный анализ, особо охраняемые природные территории, остров Ольхон, Прибайкальский национальный парк

Для цитирования: Соловьева Е.Н., Рыжов Ю.В., Штельмах С.И. Сезонное содержание Cu, Zn, Pb в придорожных почвах острова Ольхон (2023-2025 гг.) // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 2. С. 19-25. https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-2-19-25. EDN JOETIB.

Original Paper

Seasonal content of Cu, Zn, and Pb in roadside soils on Olkhon Island (2023-2025)

Ekaterina N. Solovyova[1,2]✉, **Yuriy V. Ryzhov**[1], **Svetlana I. Shtelmakh**[1]
[1] FGBI Baikal protected areas, Irkutsk, Russia
[2] FGBUN Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia
✉ soloveva@baikal-1.ru

Abstract. Relevance and problem formulation. The paper examines the impact of vehicle traffic from auto-excursions on the territory of the Baikal National Park. The aim is to assess the accumulation of Pb, Zn, and Cu in roadside soils and to identify the mechanisms of their lateral migration. Identifying the leading pollution factors is necessary for developing measures to minimize anthropogenic pressure on the boundaries of the specially protected natural territory of federal significance. Materials and Methods. Between 2023 and 2025, 168 soil samples were collected in a 10-meter zone from roads at a depth of up to 20 cm. Concentrations of Pb, Zn, and Cu were determined using the X-ray fluorescence method.

© Соловьева Е.Н., Рыжов Ю.В., Штельмах С.И., 2026

Based on average monthly data, the Clarke coefficient (C_c) and the regional background coefficient (C_b) were calculated. The spatio-temporal dynamics were analysed taking into account the intensity of traffic, road works, the island's relief, and lithology. Results and discussion. A pronounced seasonal variability in the geochemical profile was identified. During the summer period, based on the Clarke coefficient (C_c), the priority pollutants are Cu (0.98-3.70) and Zn (1.56-3.39), while when analyzing them relative to the regional background (C_b), the leading element becomes Pb (1.18-2.89), which was recorded in 100% of the samples. By October, Pb concentrations decrease, whereas Zn and Cu show a slight upward trend. High levels of accumulation on sandy soils with a low natural background indicate a predominantly anthropogenic origin of pollutants. The main sources may include exhaust gases, wear products of brake linings and tires, as well as dust generation during road repair work. The lateral distribution of metals along the cross-section of the slope is asymmetric and may be determined by a combination of air and water flows. Zn and Cu reach a maximum at the upper point of the slope, likely due to the deposition of airborne droplet fractions by dominant winds. Conversely, Pb accumulates at the lowest point, likely as a result of gravitational and rainfall runoff. At the same time, the peak in Cu in the upper part of the slope may be due to the superposition of modern anthropogenic pollution on the residual agrochemical background from land plowing during the Soviet period. The data obtained indicate a transformation of the soil cover at the park boundaries, where the contribution of excursion vehicles is comparable to the impact of historical land use. This requires a review of the regulations governing tourist routes to protect the ecosystems of the Baikal region.

Keywords: heavy metals, roadside soils, X-ray fluorescence analysis, specially protected natural areas, Olkhon Island, Baikal national park

For citation: Solovyova E.N., Ryzhov Yu.V., Shtelmakh S.I. Seasonal content of Cu, Zn, and Pb in roadside soils on Olkhon Island (2023-2025). *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 2. P. 19-25. https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-2-19-25. EDN JOETIB. (in Russian)

Введение

В условиях роста рекреационной нагрузки, вызванной массовыми автомобильными экскурсиями на особо охраняемую природную территорию (ООПТ) федерального значения – Прибайкальский национальный парк (остров Ольхон), актуальность приобретает мониторинг эколого-геохимического состояния придорожных грунтов. Известно, что автотранспорт не только разрушает грунтовые дороги и прилегающие к ним территории (Соловьева, 2026), но и является источником поступления тяжелых металлов (ТМ) в различные компоненты среды (Forman, 1998). Увеличение концентраций ТМ может негативно сказаться на экологическом состоянии экосистем (Теплая, 2013), нарушить природный баланс ООПТ.

Основными ТМ, поступающими от автотранспорта с обязательным контролем в РФ, являются Cu, Zn, Pb[1]. Среди них Zn, Pb относятся к 1 классу опасности, Cu – 2 класс опасности[2]. Оценка накопления ТМ проводится в основном в условиях городской среды, в пределах крупных авто- и ж/д- магистралей или вблизи промышленных предприятий (Вишневская, Попова, 2016; Казакова и др., 2019).

Целью данного исследования является оценка эколого-геохимического состояния придорожных территорий острова Ольхон.

При этом под оценкой эколого-геохимического состояния понимается комплексная характеристика почвенного покрова, отражающая степень его соответствия природно-климатическим условиям и пригодности для устойчивого функционирования экосистем с учетом содержания химических элементов.

В задачи исследования входило: провести количественный анализ автотранспортной нагрузки (общий поток автомобилей на остров Ольхон и тех, что едут с экскурсионными целями на север острова) за период 2023-2025 гг.; определить среднее содержание (*среднее значение концентрации химического элемента в анализируемом образце почвы, рассчитанное как среднее арифметическое результатов определения массовой доли элемента в пробе*) Cu, Zn, Pb относительно кларка и регионального фона в образцах придорожных почв в зависимости за три года наблюдений; оценить пространственно-временную изменчивость концентраций Cu, Zn, Pb придорожных территорий в зависимости от сезона в течение трех лет; провести интерпретацию полученных данных с учетом геохимического фона территории, литологических особенностей территории и характера антропогенного воздействия.

За последние три года среднегодовой поток автомобилей, переправленных паромами на остров Ольхон, составил около 113 тыс. единиц. При этом распределение потока по территории острова крайне неравномерно. Основная нагрузка, примерно 74 тыс. автомобилей (около 65% от общего потока), приходится в летний период на 35-километровый участок дороги «МРС (Маломорская речная станция) – пос. Хужир». Из общего потока транспорта на самый популярный туристический маршрут «Север Ольхона» приходится 8,1%.

Материалы и методы

Статистические данные по автотранспортному потоку на остров Ольхон подготовлены на основе данных АО «ВСРП» и данных ФГБУ «Заповедное Прибайкалье».

Пробоотбор проводился в течении трех лет (2023-2025 гг.) в пиковый туристический сезон (июль–август) и практически по его завершению (октябрь) с целью оценки степени влияния автотранспорта на геохимический состав почв.

[1] Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: методические указания МУ 2.1.7.730-99. 1999.
[2] СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утв. Постановлением Глав. гос. сан. врача РФ № 62296 от 29.01.2021 г.

Пробы отбирались методом конверта из 5 точек на площадке 1×1 м на расстоянии 10 м от источника воздействия (дороги) по обеим сторонам и непосредственно на самой дороге в одной точке (рис. 1 / fig. 1). Фоновая площадка заложена в 10 км от дороги общего пользования, вне туристических маршрутов (заповедная зона). Общее количество проб за три года составило 168 шт.

Схематичное распределение геологических пород подготовлено на основе наиболее детализированной «Карты полезных ископаемых» масштаб 1:200 000 серия Прибайкальская 1960 г. Возраст пород уточнен по геологической карте РФ масштаб 1:1 000 000 Ангаро-Енисейской серии (№-48) 2009 г.

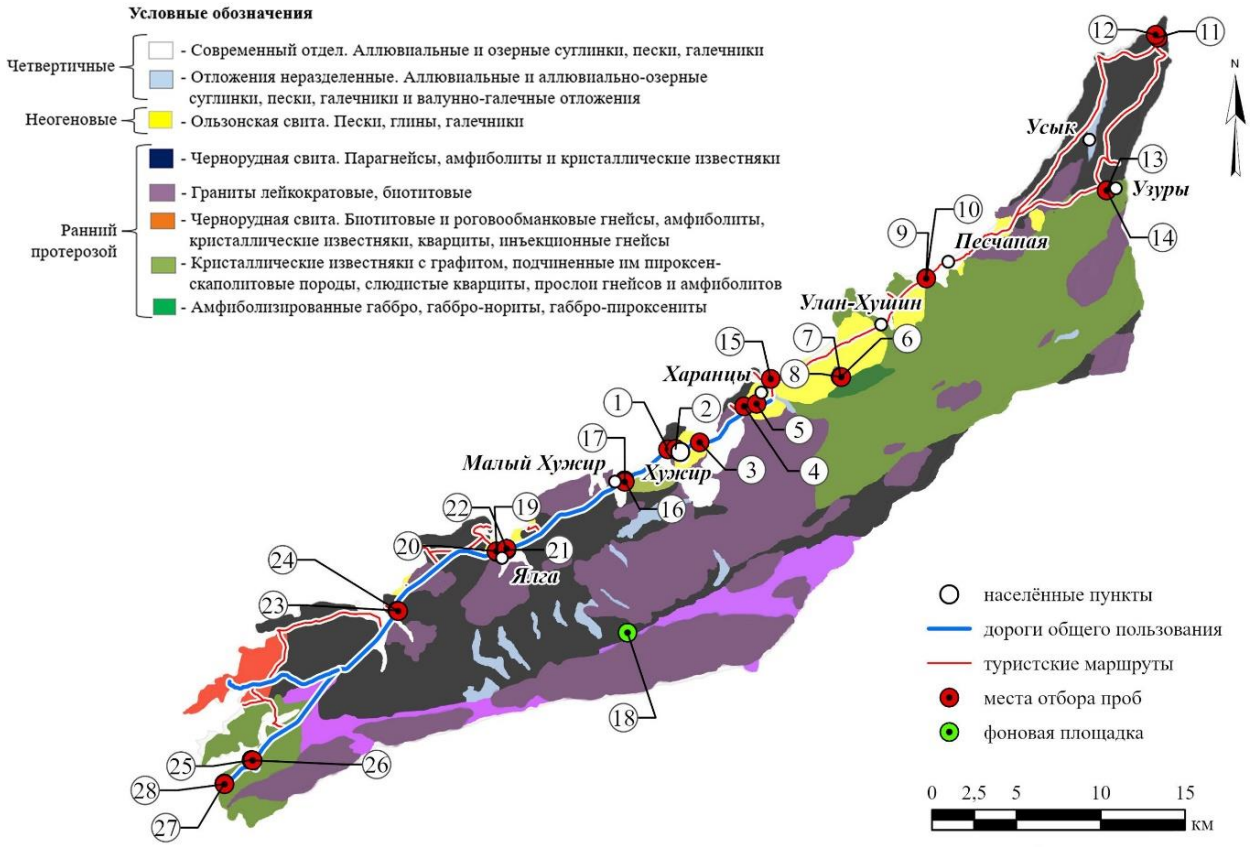


Рис. 1. Схема расположения точек отбора почвенных проб и геологическое строение острова Ольхон
Fig. 1. Layout of soil sampling points and the geological structure of Olkhon Island

Лабораторный анализ образцов осуществлялся рентгенофлуоресцентным методом в Центрах коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН и «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии СО РАН. В качестве индикаторных элементов выбраны медь (Cu), цинк (Zn) и свинец (Pb), являющиеся приоритетными поллютантами от автотранспортного воздействия.

Расчеты базировались на сопоставлении фактических валовых концентраций химических элементов в делювиальных отложениях (гор. А) с их региональными и кларковыми значениями (Гребенщикова и др., 2008; Китаев, Гребенщикова, 2014). Оценка уровня региональных концентраций определялась по формуле:

$$K_c = C_i / C_{fi},$$

где, C_i – фактическое содержание элемента в почве (в мг/кг), C_{fi} – региональное фоновое содержание элемента (в мг/кг). Оценка уровня кларковых концентраций определялась по формуле:

$$K_к = C_i / K_i$$

где, C_i – содержание элемента в изучаемом объекте; К – кларк этого элемента в литосфере (Перельман, 1975).

Полученные результаты анализировались на основе литологических особенностей территории, данных химического анализа водных, солянокислых и щелочных вытяжек. Количество гумуса определялось по методу И.В. Тюрина (Ломтадзе, 1990).

Для расчета коэффициентов кларка ($K_к$) и регионального фона (K_c) сформированы ряды среднемесячных концентраций за период 2023-2025 гг. Каждая точка ряда представляет собой среднее арифметическое по результатам всех проб, отобранных в одноименные месяцы (например, среднее по всем пробам за август 2023, 2024 и 2025 гг.).

Результаты и их обсуждение

Согласно материалам Ю.Н. Водяницкого, основными носителями ТМ в фоновых почвах являются глинистые минералы, (гидр)оксиды железа, марганца, соединения ТМ с серой и органическое вещество. Эти компоненты играют ключевую роль в процессах адсорбции и миграции металлов в почвах (Водяницкий, 2014).

Незасоленные песчаные почвы, как правило, характеризуются низкими значениями емкости катионного обмена (ЕКО), не способны накапливать большие концентрации таких элементов, как Cu и Pb, особенно при низком содержании органического вещества ($C_{орг}$), в отличие от (гидр)оксидов железа и марганца, которые характеризуются очень высокими значениями ЕКО и способны к активной сорбции ТМ (Водяницкий, 2011).

В предгорных сухих степях острова Ольхон преобладают каштановые почвы, в то время как в лесной зоне распространены дерновые лесные. Анализ гранулометрического состава показал, что придорожные почвы в основном состоят из песка средней крупности (0,25-0,5 мм) и крупного песка (0,51 мм). Это связано с эоловыми процессами, автотранспортной нагрузкой и климатическими особенностями, такими как выветривание и аномальные осадки (Соловьева, 2026).

Содержание органического вещества вдоль грунтовых дорог «МРС – пос. Хужир» составляет $C_{орг}$ = 0,7-4,4%, а для туристского маршрута «Север Ольхона» $C_{орг}$ = 0,1-4,6%. Почвы не засолены и характеризуются различными значениями ЕКО, мг-экв на 100 г вещества: для региональной дороги наблюдаются высокие значения (ЕКО = 131-288,2), для маршрута «Север Ольхона» значения варьируют в широком диапазоне (ЕКО = 10,4-225,3). Низкие значения емкости катионного обмена отмечаются на песчаных почвах верхнего горизонта (гор. А), на дорогах, подверженных активным эоловым процессам.

Кроме того, количество оксида железа для региональной дороги составляет Fe_2O_3 = 0,1-9,4%, а для маршрута «Север Ольхона» Fe_2O_3 = 1,0-16,6%. В нескольких точках мониторинга с интенсивным влиянием эоловых процессов отмечается содержание Fe_2O_3 > 2,0%.

Анализ коэффициентов концентраций ($К_к$) тяжелых металлов относительно кларкового содержания в почвах выявил выраженную сезонную изменчивость и пространственную мозаичность загрязнения. В летние месяцы приоритетными поллютантами выступают Cu и Zn. Cu демонстрирует наиболее широкий диапазон варьирования ($К_к$ = 0,98-3,70). Максимальные значения ($К_к$ > 3,0) зафиксированы в точках № 11, 12, 25 и 26, что указывает на формирование локальных геохимических аномалий и может быть связано с литологией острова для точек №11 и 12, а для остальных связано с влиянием автотранспорта в виду того, что в песчаниках данные элементы не повышены (Китаев, Гребенщикова, 2014). Zn характеризуется более стабильным, но повсеместным накоплением ($К_к$ = 1,56-3,39). Пиковые концентрации ($К_к$ > 3,0) отмечаются в точках № 4, 5 и 12. Превышения в первых двух точках могут быть связаны с капитальным благоустройством (укладка асфальта) дороги, начатым в 2024 г., а также возникшим трафиком крупногабаритного транспорта.

Pb в летний сезон проявляет наименьшую миграционную активность ($К_к$ = 0,65-1,59). Его концентрации преимущественно не превышают фоновый уровень (рис. 2 / fig. 2).

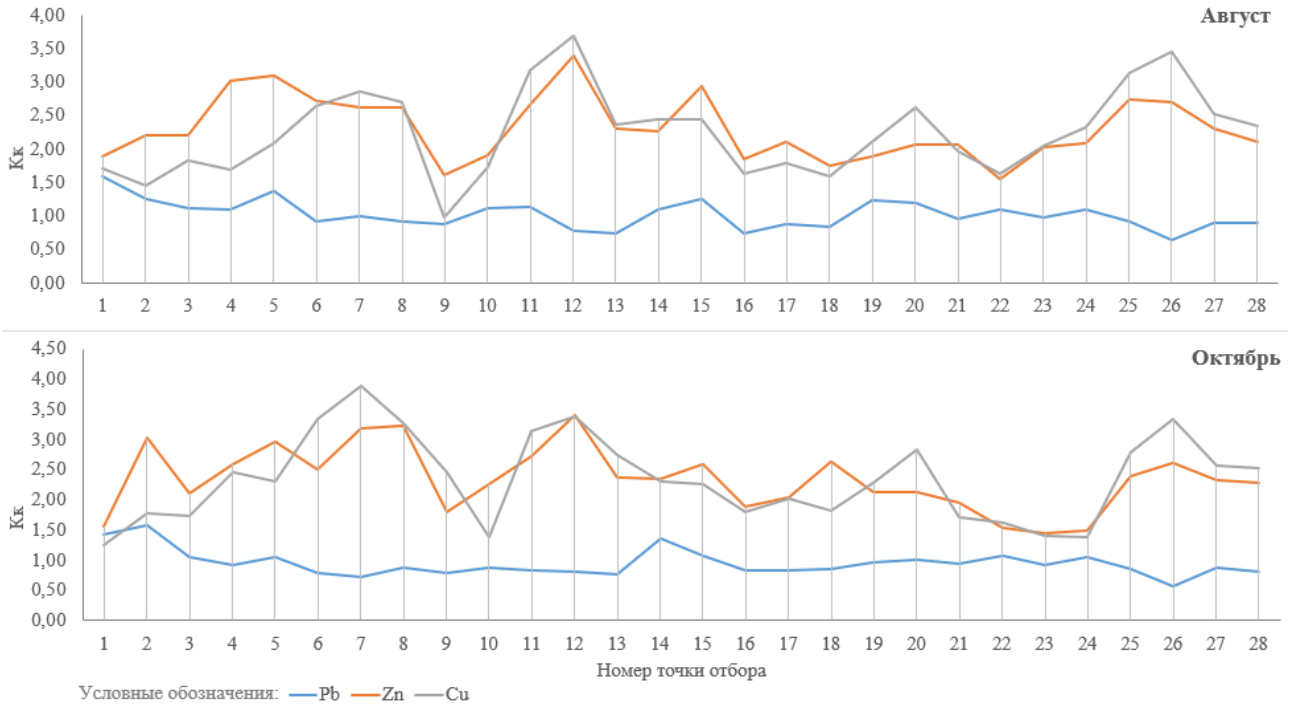


Рис. 2. Среднемесячные кларковые концентрации Pb, Cu, Zn, август и октябрь 2023-2025 гг.
Fig. 2. Average monthly Clarke concentrations of Pb, Cu, and Zn, August and October 2023-2025

Анализ регионального фона ($К_с$) показал, что в летний период ведущим поллютантом выступает Pb, в то время как Zn и Cu отходят на второй план. Pb является единственным элементом, зафиксированным с превышением фона во всех 100% отобранных проб, демонстрируя диапазон варьирования $К_с$ = 1,18-2,89, при этом максимальные значения ($К_с$ > 2,2) зафиксированы в точках № 1, 2, 5, 15 и 19. Zn демонстрирует умеренное накопление (среднее $К_с$ = 1,27) в диапазоне 0,86–1,86; превышение фона наблюдается в 89,3% проб, а наибольшие концентрации ($К_с$ > 1,6) отмечаются в точках № 4, 5, 12 и 15. Средние значения Cu находятся

ниже порога превышения (K_c = 0,98), и лишь в 50% проб (14 из 28) зафиксировано незначительное накопление в диапазоне K_c = 1,01-1,61. К октябрю геохимический профиль трансформируется: Pb демонстрирует общее снижение концентраций, что может указывать на замедление источника эмиссии, в результате чего превышения сохраняются только в точках № 2 и 14. В то же время Zn и Cu показывают слабую тенденцию к росту: превышения по Zn наблюдаются в точках № 2, 8 и 18, но не более чем на 0,4, а Cu аккумулируется в точках № 4, 6-9 с превышением не более чем на 0,6 (рис. 3 / fig. 3).

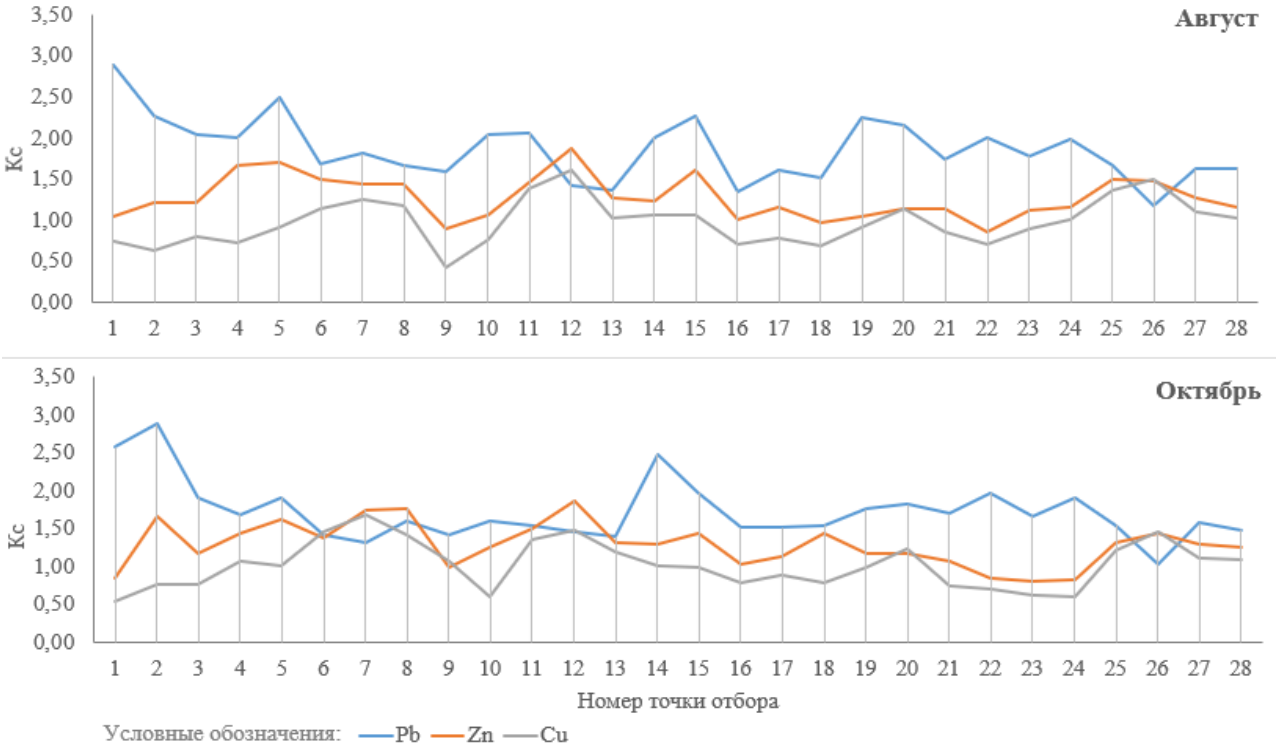


Рис. 3. Среднемесячные региональные концентрации Pb, Cu, Zn, август и октябрь 2023-2025 гг.
Fig. 3. Average monthly regional concentrations of Pb, Cu, and Zn, August and October 2023-2025

Сравнительный геохимический анализ отдельно взятых точек отбора относительно регионального фона (K_c) (рис. 3 / fig. 3) выявил, что высокие концентрации поллютантов наблюдаются на каштановых почвах, сформированных на рыхлых песчаниках и песках, с активным влиянием эоловых процессов: Pb и отмечен в 4 точках (№ 1, 2, 5, 15 и 19), для Zn в 3 точках (№ 4, 5 и 15) (рис. 2 / fig. 2). Согласно материалам Н.А. Китаева с соавторами содержания Pb в песчаниках, как правило, не повышены (Китаев, Гребенщикова, 2014), в свою очередь результаты исследования могут указывать на антропогенное влияние, обусловленное интенсивным автотранспортным потоком в летний период, а также проведением дорожно-ремонтных работ с активным использованием большегрузного транспорта для перевозки строительных материалов.

К осени концентрации Pb незначительно снизились, сохранив значения в пределах 1,76-2,58. Точка №2 демонстрирует тенденцию к увеличению (с K_c=2,27 до K_c=2,88). Следует отметить, что этот наиболее токсичный поллютант может поступать в атмосферу в составе пыли вместе с продуктами изнашивания тормозных накладок, автопокрышек и дорожного покрытия. Кроме этого, Pb может присутствовать в продуктах износа покрытий кузовов и деталей автомобильных двигателей (Вишневая, Попова, 2016). Концентрации Zn демонстрируют тенденцию к снижению за исключением точки №12, сохранившей стабильность (K_c=1,86).

В качестве репрезентативного примера для анализа латерального распределения тяжелых металлов в придорожной зоне рассмотрена серия из трёх проб, отобранных на едином поперечном профиле: непосредственно на дороге (pl 6) и на сопряженных элементах рельефа по обеим сторонам от неё (pl 7, pl 8). Для всех исследуемых ТМ (Cu, Zn, Pb) характерно превышение концентраций в придорожных пробах (pl 7, pl 8) относительно полотна дороги (pl6), что свидетельствует об определяющем влиянии автотранспорта на прилегающие территории. Пространственное распределение элементов демонстрирует выраженную латеральную асимметрию, обусловленную топографией местности: Zn и Cu достигают максимальных значений в верхней по склону точке (pl 8), тогда как Pb аккумулируется в нижней точке (pl 7). Подобная дифференциация объясняется сочетанием абиотических факторов – доминирующей розы ветров, способствующей осаждению воздушно-капельных фракций Zn (продукта истирания шин) на возвышении, и гравитационного перераспределения поллютантов, при котором уклоном дорожного полотна инициируется поверхностный сток Pb с его последующей аккумуляцией в микропонижениях микрорельефа за счет высокой сорбционной способности почв. При этом зафиксированный пик Cu в верхней части склона следует рассматривать как результат остаточного агрохимического фона, поскольку распашка данных земель выше по склону в советский период сопровождалась

интенсивным применением фосфорных минеральных удобрений, а также хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХЦГ) (Соловьева, Калихман, 2026).

Заключение

Анализ выявил выраженную сезонную изменчивость загрязнения тяжелыми металлами: в летние месяцы приоритетными поллютантами выступают Cu ($К_к$ = 0,98-3,70, пик в точках № 11, 12, 25, 26) и Zn ($К_к$ = 1,56-3,39, пик в точках № 4, 5, 12), накопление которых может быть связано с влиянием автотранспорта и капитальным благоустройством дорог (укладка асфальта с 2024 г.), в то время как Pb проявляет наименьшую миграционную активность, преимущественно не превышая фоновый уровень.

Анализ регионального фона ($К_с$) показал, что в летний период ведущим поллютантом выступает Pb, зафиксированный с превышением фона во всех 100% проб ($К_с$ = 1,18-2,89, пик $К_с$ > 2,2 в точках № 1, 2, 5, 15, 19), в то время как Zn (среднее $К_с$ = 1,27, превышение в 89,3% проб) и Cu (среднее $К_с$ = 0,98, накопление лишь в 50% проб) отходят на второй план. К октябрю геохимический профиль трансформируется: концентрации Pb в целом снижаются, и превышения сохраняются только в точках № 2 и 14, тогда как Zn и Cu демонстрируют слабую тенденцию к росту, аккумулируясь в точках № 2, 4, 6-9 и 18.

Высокие концентрации поллютантов зафиксированы на песчаных почвах: Pb – в точках № 1, 2, 5, 15, 19; Zn – в точках № 4, 5, 15. Поскольку фоновые содержания Pb в песчаниках обычно не повышены, это может указывать на антропогенное влияние, обусловленное интенсивным автотранспортом и дорожно-ремонтными работами с использованием большегрузов. Источниками поступления Pb могут служить продукты изнашивания тормозных накладок, автопокрышек, дорожного покрытия и деталей двигателей. К осени концентрации Pb незначительно снизились ($К_с$ = 1,76-2,58), за исключением точки № 2, где показатель вырос с 2,27 до 2,88, в то время как концентрации Zn демонстрируют тенденцию к снижению, кроме точки № 12, сохранившей стабильность (Кс = 1,86).

Для всех исследуемых тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb) характерно превышение концентраций на сопряженных элементах рельефа (pl 7, pl 8) по сравнению с дорожным полотном (pl 6), что свидетельствует об определяющем влиянии автотранспорта на прилегающие территории. Пространственное распределение демонстрирует латеральную асимметрию, обусловленную топографией: Zn и Cu достигают максимума в верхней по склону точке (pl 8) из-за осаждения воздушно-капельных фракций доминирующими ветрами, а Pb аккумулируется в нижней точке (pl 7) вероятно в результате гравитационного стока и высокой сорбционной способности почв. При этом пик Cu в верхней части склона объясняется остаточным агрохимическим фоном от распашки земель в советский период с применением фосфорных удобрений и хлорорганических пестицидов.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность ведущему инженеру Лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института Земной коры СО РАН М.В. Даниловой за помощь при проведении лабораторных исследований.

Acknowledgements

The authors of the article express their gratitude to Lead Engineer at the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences M.V. Danilova for her assistance in conducting the laboratory studies.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Сведения об авторском вкладе

Е.Н. Соловьева – идея, пробоотбор, расчеты, анализ данных, написание статьи, подготовка графического материала.

Ю.В. Рыжов – анализ данных, вычитка и редактура.

С.И. Штельмах – лабораторный анализ образцов (рентгенофлуоресцентный метод).

Contribution of the authors

E.N. Solovyova – idea, sampling, calculations, data analysis, writing the article, preparing graphical material.

Yu.V. Ryzhov – data analysis, proofreading, and editing.

S.I. Shtelmakh – laboratory analysis of samples (X‑ray fluorescence method).

Список источников

1. Вишневая Ю.С., Попова Л.Ф. Влияние автотранспорта на загрязнение почвенного покрова г. Архангельска тяжелыми металлами // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки.* 2016. № 2. С. 32-41. https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.2.32

2. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева.* 2011. № 68. С. 56-82.

3. Водяницкий Ю.Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // *Почвоведение.* 2014. Т. 47. № 4. С. 420. https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108

4. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.

5. Казакова Н.А., Садретдинова Л.Р., Мухаметшин А.А. Исследование почв территорий промышленных предприятий на предмет наличия тяжелых металлов // *Евразийский союз ученых*. 2019. № 12-2(69). С. 9-13.

6. Китаев Н.А., Гребенщикова В.И. Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы): монография. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 123 с.

7. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 328 с.

8. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.

9. Соловьева Е.Н., Калихман А.Д. Остров Ольхон: от антропогенного освоения до формирования режима особо охраняемой природной территории // *Региональные геосистемы*. 2026. Т. 50. № 2. С. 245-260. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260

10. Соловьева Е.Н. Оценка влияния автомобильных экскурсий на устойчивость грунтовых дорог туристических маршрутов острова Ольхон // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2026. № 5. С. 41-51. https://doi.org/10.7868/S3034640126050035

11. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // *Астраханский вестник экологического образования*. 2013. № 1(23). С. 182-192.

12. Forman R.T.T., Lauren E.A. Roads and their major ecological effects // *Annual review of ecology and systematics*. 1998. Vol. 29. Iss. 1. P. 207-231. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207

References

1. Vishneva Yu.S., Popova L.F. The influence of motor transport on the pollution of the soil cover of Arkhangelsk with heavy metals. *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Natural Sciences*. 2016. Vol. 2. P. 32-41. https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.2.32 (in Russian)

2. Vodyanitsky Yu.N. About hazardous heavy metals/metalloids in soils. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2011. Iss. 68. P. 56-82. (in Russian)

3. Vodyanitsky Yu.N. Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils. *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. Iss. 4. P. 255-265. https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108 (in Russian)

4. Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. Geochemistry of the environment of the Baikal region (Baikal geoecological polygon). Novosibirsk: Geo, 2008. 234 p. (in Russian)

5. Kazakova N.A., Sadretdinova L.R., Mukhametshin A.A. Investigation of soils of industrial enterprises for the presence of heavy metals. *Eurasian Union of Scientists*. 2019. Vol. 12-2. Iss. 69. P. 9-13. (in Russian)

6. Kitaev N.A., Grebenshchikova V.I. Rare and ore elements in the environment of the Baikal region (bedrock, sediments, soils): the monograph. Irkutsk: IGU Publishing House, 2014. 123 p. (in Russian)

7. Lomtadze V.D. Physical and mechanical properties of rock formations. Laboratory research methods. Leningrad: Nedra, 1990. 328 p. (in Russian)

8. Perel'man A.I. Geochemistry of landscapes. Moscow: Vysshaya shkola, 1975. 341 p. (in Russian)

9. Solovyova E.N., Kalikhman A.D. Olkhon island: from anthropogenic development to the formation of a specially protected natural area regime. *Regional Geosystems*. 2026. Vol. 50. Iss. 2. P. 245-260. https://doi.org/10.52575/2712-7443-2026-50-2-245-260 (in Russian)

10. Solovyova E. N. Assessment of the impact of car excursions on the stability of dirt roads along tourist routes on Olkhon Island. *Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology.* 2026. No. 5. P. 41-51. https://doi.org/10.7868/S3034640126050035. (in Russian)

11. Teplaya G.A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (literature review). *Astrakhan Bulletin of Environmental Education.* 2013. Vol. 1. Iss. 23. P. 182-192. (in Russian)

12. Forman R.T.T., Lauren E.A. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*. 1998. Vol. 29. Iss. 1. P. 207-231. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207

Поступила в редакцию / Received: 21.08.2026
Поступила после рецензирования / Revised: 15.10.2026
Принята к публикации / Accepted: 27.10.2026