

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ»

г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область

12–16 октября 2026 г.



Ученые и специалисты, аспиранты и студенты обсудят актуальные теоретические и прикладные проблемы, которые волнуют научное сообщество не только Дальневосточного региона России. Среди этих проблем природные катастрофы, методы оценки их опасности и риска, современные технологии геофизического мониторинга в сейсмоактивных и цунамиопасных регионах а также взаимосвязи живых организмов и геосистем.

Приглашаем желающих выступить с докладами и принять участие в обсуждении.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБСУЖДЕНИЙ

Исследования Земли: ответ на вызовы природных и техногенных катастроф

- Геологическое строение земной коры и структур различного масштаба
- Этапы и стадии развития земной коры и верхней мантии
- Вещественный состав геологических сред и объектов
- Поиск и прогнозирование месторождений полезных ископаемых

Динамика моря и вопросы изменения климата

- Потoki вещества и энергии в гидросфере
- Генерация цунами и цунамиопасность
- Моделирование и прогноз морских опасных явлений
- Геолого-геоморфологические аспекты освоения морских побережий

Живые системы и геологическая среда

- Влияние природных и антропогенных факторов на живые организмы и экосистемы
- Адаптивные стратегии живых организмов
- Биологическое разнообразие и инвазии
- Анализ состояния экосистем по данным аэрокосмических исследований

Шаг в науку: технологии и практика

- Инженерные проекты и прототипы для мониторинга природных процессов
- Цифровые методы анализа геофизических и геоэкологических данных
- Моделирование природных опасностей и их последствий
- Междисциплинарные студенческие исследования

К началу работы конференции будут изданы тезисы докладов в авторской редакции. По материалам докладов будут опубликованы тематические выпуски журнала «Геосистемы переходных зон» (БС-2, входит в Перечень ВАК).

Регистрация участников осуществляется через форму на сайте конференции.

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС оплачивается при регистрации.

- Для аспирантов и молодых ученых до 35 лет **3500 РУБ.** • Для остальных участников конференции **5000 РУБ.** •
- Стоимость участия включает расходы на организацию мероприятий, кофе-брейки, оргнабор участника конференции •

• **ПРОЕЗД И ПРОЖИВАНИЕ** участники конференции оплачивают самостоятельно.

Рекомендуемые гостиницы г. Южно-Сахалинска (вблизи маршрутов общественного транспорта): Lenina Hotel, Монерон, Лотос, Панорама, Командор, Юбилейная.

• **ПРОГРАММА** будет разослана участникам, а также размещена на сайте конференции.

• **ЭКСКУРСИИ:** осмотр достопримечательностей города Южно-Сахалинска; посещение Ботанического сада; геологическая экскурсия.

Подробная информация о сроках подачи тезисов, требованиях к их оформлению, порядке и условиях участия в конференции и экскурсионных мероприятиях будет размещена на сайте конференции и в последующих информационных письмах.

КОНТАКТЫ ОРГКОМИТЕТА

Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1 Б
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
Телефон/факс: 8 (4242) 79-15-17

Web-страница конференции:

<https://imggconf.ru>

E-mail: info@imggconf.ru

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН



Дальневосточное отделение РАН



СФ ГС РАН



ФГБОУ ВО «СахГУ»



СКБ САМИ ДВО РАН



СахалинТех

САХАЛИНТЕХ САХГУ

Правительство Сахалинской области



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН.

г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1 Б.

Проезд автобусами 10, 62, 71, 21.

Остановка — «Институт морской геологии и геофизики».

© Авторы, 2026 г.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors, 2026.
Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 504.054

<https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.1.089-100>
<https://www.elibrary.ru/jfeyyf>

Оценка химического загрязнения почв города Калининграда

Е. А. Архипов, С. И. Зотов, Ю. В. Королева, М. И. Колягина

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Резюме. Проведено комплексное исследование почв г. Калининграда с целью оценки уровня и структуры химического загрязнения. В работе показана принципиальная важность использования локального урбанизированного фона, а не глобальных кларков для достоверной оценки техногенной нагрузки. Установлено, что почвы города характеризуются устойчивым поликомпонентным загрязнением, с формированием четко локализованных геохимических аномалий. Методами статистического анализа и геоинформационного картографирования выявлены два основных очага загрязнения, пространственно совпадающих с зонами интенсивной промышленной и портовой деятельности. Наиболее значительное накопление отмечено для свинца и цинка, уровни содержания которых достигают уровней «сильного» загрязнения. С применением системы индексов (Igeo, PI, EF, NPI, PLI, Zc) территория дифференцирована по степени загрязнения почв, идентифицирован характер источников поступления загрязняющих веществ. Полученные результаты доказывают необходимость проведения геоэкологического мониторинга и разработки целевых природоохранных мероприятий для выявленных зон экологического неблагополучия.

Ключевые слова: урбанизированная территория, почвы, тяжелые металлы, фоновые концентрации, индекс загрязнения, пространственное распределение, геохимические аномалии

Assessment of chemical contamination of Kaliningrad soils

Egor A. Arkhipov, Sergey I. Zotov, Yulia V. Koroleva, Maria I. Kolyagina

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Abstract. A comprehensive study of Kaliningrad soils was conducted to assess the level and structure of chemical pollution. The study demonstrates the fundamental importance of using a local background, rather than global clarkes, for reliable assessment of anthropogenic impact. The stable polycomponent pollution of soils in Kaliningrad was identified, with the formation of clearly localized geochemical anomalies. The methods of statistical analysis and geographic information mapping revealed two main sources of pollution, spatially coinciding with the zones of intensive industrial and port activity. The most significant accumulation was found for lead and zinc, the levels of which reached the levels of “severe” pollution. The application of the index system (Igeo, PI, EF, NPI, PLI, Zc) made it possible to differentiate the territory by the degree of soil pollution and identify the nature of the sources of pollutants. The results obtained prove the need for geoecological monitoring and the development of targeted environmental protection measures for identified areas of environmental pollution.

Keywords: urbanized area, soils, heavy metals, background concentrations, pollution index, spatial distribution, geochemical anomalies

Для цитирования: Архипов Е.А., Зотов С.И., Королева Ю.В., Колягина М.И. Оценка химического загрязнения почв города Калининграда. *Геосистемы переходных зон*, 2026, т. 10, № 1, с. 89–100. <https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.1.089-100>; <https://www.elibrary.ru/jfeyyf>

For citation: Arkhipov E.A., Zotov S.I., Koroleva Yu.V., Kolyagina M.I. Assessment of chemical contamination of Kaliningrad soils. *Geosistemy perexodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2026, vol. 10, No. 1, p. 89–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.1.089-100>; <https://www.elibrary.ru/jfeyyf>

Введение

Урбанизированные территории характеризуются комплексным воздействием антропогенных факторов на компоненты окружающей среды, при этом почвы выступают важным индикатором состояния среды. Актуальность исследования химического загрязнения почв г. Калининград обусловлена высокой степенью урбанизации территории: согласно данным Калининградского статистического управления, доля городского населения в области составляет 77.5 %, при этом сам регион характеризуется развитой транспортной инфраструктурой.

Предыдущие исследования почв Калининграда выявили значительное превышение содержания тяжелых металлов в промышленных и транспортных зонах по сравнению с рекреационными территориями [1, 2]. В частности, содержание свинца в верхнем гумусовом горизонте на наиболее загрязненных участках достигало 103.5 мг/кг, что более чем в 3 раза превышает ПДК [3]. На примере почв городских парков Калининграда показано, что даже рекреационные зоны подвержены антропогенной трансформации [4]. Диагностированы урбаноземы и техноземы с наличием артефактов, повышенной плотностью сложения, изменением химических свойств и аккумуляцией биогенных элементов, что свидетельствует о глубоком изменении почвенного покрова в условиях урбанизации.

Несмотря на наличие отдельных исследований, посвященных загрязнению городских почв Калининграда, не существует комплексной пространственной геохимической оценки почв, в том числе на основе локального фона. В этой связи целью настоящего исследования является комплексная оценка химического состояния почвенного покрова Калининграда с установлением закономерностей пространственного распределения преобладающих загрязнителей. Перед авторами стояли задачи: определение валового содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в городских почвах; последовательный расчет индивидуальных и комплексных индексов загрязнения для оценки уровня и структуры техногенной нагрузки; и на этой основе оценка простран-

ственного распространения загрязнения с выделением зон поликомпонентного загрязнения. Особое внимание уделено сопоставительному анализу промышленных, транспортных, селитебных и рекреационных территорий как основе для выявления зон экологического риска и для дальнейшей разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации природоохранной деятельности в условиях урбанизированной среды.

Объекты и методы исследований

Для комплексной оценки химического загрязнения почв на территории Калининграда было отобрано 10 проб почв в пунктах мониторинга. Критерии репрезентативности проб устанавливались с учетом функционального зонирования территории, ветрового режима и расположения относительно источников негативного воздействия на окружающую среду.

Сеть из 10 пунктов мониторинга (плотность сети – 1 проба примерно на 15 км²) была сформирована для проведения скрининговой оценки загрязнения почв и выявления ключевых зон экологического риска.

Отбор проб производился в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-2017 методом конверта в сезонные периоды 2025 г. – весной (апрель) и осенью (октябрь). Почвенные образцы отбирали из поверхностного гумусового горизонта (глубина 0–10 см). Тип почв исследуемых образцов – урбаземы, преимущественно супесчаного гранулометрического состава с техногенными включениями, в том числе дорожной пыли.

Аналитические исследования выполнены на базе Высшей школы живых систем Балтийского федерального университета им. И. Канта. Пробоподготовка почвенных образцов включала высушивание до воздушно-сухого состояния, удаление растительных остатков, измельчение и просеивание через сито (1 мм). Валовое содержание металлов (Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, MnO, Co, TiO₂, V, Sr, As) определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре (Спектроскан МАКС G, Россия) по методике ФР.1.31.2016.25423. Метрологические

характеристики методики: предел обнаружения (ПО), мг/кг: Zn – 4, Cu – 4, Pb – 9, Ni – 2, Cr – 11, Mn – 37, Co – 4, V – 8, Sr – 3, As – 2. Нижний предел количественного определения, мг/кг: Zn – 14, Cu – 14, Pb – 31, Ni – 7, Cr – 36, Mn – 124, Co – 14, V – 26, Sr – 10, As – 5.

Содержание нефтепродуктов устанавливали флуориметрически на спектрометре RF-5301PC (Shimadzu, Япония) в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.21-98. При определении концентрации нефтепродуктов предел обнаружения составил 5.6 мг/кг, нижний предел количественного определения – 18.7 мг/кг. Величину рН солевой вытяжки измеряли потенциометрически (рН-метр HANNA HI 2210, Германия) по ГОСТ 26483-85. Все измерения проведены в трехкратной повторности.

В перечень наблюдаемых загрязняющих веществ включены тяжелые металлы и нефтепродукты, характеризующиеся высокой токсичностью, устойчивостью в окружающей среде и являющиеся типичными техногенными маркерами для урбанизированных территорий. Указанные поллютанты также рассматриваются как приоритетные в рамках природоохранного законодательства Российской Федерации, в том числе при проведении инженерно-экологических изысканий в соответствии с СП 502.1325800.2021. Важно отметить, что проведенная оценка основана на анализе валовых форм элементов и не дает прямой информации о биодоступности и подвижности металлов, которые могут оказать влияние на живые организмы.

Интегральная оценка загрязнения почв проведена на основании индивидуальных и комплексных индексов.

Индивидуальные индексы

Индекс геоаккумуляции I_{geo} (Geoaccumulation Index) служит геохимическим критерием [5, 6] для выявления загрязнения: $I_{geo} = \log_2(C_i / 1.5 GB_i)$, где C_i – содержание i -го металла в верхнем горизонте; GB_i – фоновое содержание i -го металла.

Индекс загрязнения PI (Single Pollution Index) рассчитывается по формуле [6]: $PI = C_i / GB_i$, используется для выявления наличия загрязнения отдельными поллютантами

и является основой для расчета комплексных показателей загрязнения.

Комплексные индексы

Коэффициент загрязнения PLI (Pollution Load Index) представляет собой геометрическое среднее [6, 7] от PI : $PLI = (PI_1 * PI_2 * \dots * PI_n)^{1/n}$.

Коэффициент концентрации EF (Enrichment Factor) рассчитывается с учетом концентрации стабильного элемента [8]. В соответствии с общепринятой практикой в геохимии, в качестве референтного элемента для расчета EF выбран титан (Ti). Титан связан преимущественно с литогенной фракцией почвы, характеризуется низкой подвижностью и слабо вовлекается в техногенные потоки, что делает его надежным индикатором для нормирования содержаний других металлов. Формула для расчета данного коэффициента: $EF = (C_i / C_{Ti}) / (GB_i / GB_{Ti})$, где C_i – содержание i -го металла; C_{Ti} – содержание Ti ; GB_i – фоновое содержание i -го металла; GB_{Ti} – фоновое содержание Ti .

Индекс загрязнения NPI (Nemerow Pollution Index) широко используется для оценки качества [9, 10], поскольку учитывает вклад не только каждого загрязнителя, но и потенциальную опасность металла-загрязнителя с наибольшим содержанием:

$NPI = \sqrt{0.5(PI_{1max}^2 + PI_{lave}^2)}$, где PI_{1max} – максимальное значение PI среди n металлов, а PI_{lave} – среднее значение PI .

В природоохранном законодательстве Российской Федерации (СанПиН 1.2.3685-21) применяется суммарный показатель химического загрязнения Z_c , который определяется по формуле: $Z_c = (KC_1 + \dots + KC_n) - (n - 1)$, где n – число определяемых суммируемых веществ с $KC_i > 1$; KC_i – коэффициент концентрации i -го химического элемента, равный кратности превышения его содержания над фоновым значением.

Ввиду отсутствия установленного геохимического фона в почвах исследуемого региона, в качестве эталона сравнения были использованы средние содержания химических элементов в верхней части земной коры (кларки) для городов от 300 тыс. до 700 тыс. чел., в данную категорию попадает г. Калининград [11].

Также применялись предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) по СанПиН 1.2.3685-21, за исключением стронция, кобальта и хрома ввиду отсутствия установленных нормативов для валовых форм этих элементов.

Содержание нефтепродуктов для почв и грунтов в Российской Федерации не нормируется. Согласно данным Ю.И. Пиковского [12], содержание нефтепродуктов в почве до 100 мг/кг соответствует «фоновой» концентрации, 100–500 мг/кг – «повышенно фоновый», 500–1000 мг/кг – «умеренный» уровень загрязнения, 1000–2000 мг/кг – «умеренно опасное» загрязнение, 2000–5000 мг/кг – «сильное» загрязнение, более 5000 мг/кг – «опасное» загрязнение. На данный момент при проведении инженерно-экологических изысканий и смежных экологических работ применяют норматив в 1000 мг/кг, в соответствии с Письмом Минприроды РФ от 9 марта 1995 г. N 25/8-34 «О Методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязненных земель».

Статистическую обработку данных проводили с расчетом стандартных параметров выборок в Microsoft Excel (пакет R). Распределения концентраций большинства элементов и индексов отличались от нормального, в связи с чем в работе преимущественно используются непараметрические описательные статистики (медиана, квартили) и методы визуализации (диаграммы «ящик с усами»), устойчивые к отклонениям от нормальности. Картографическое обеспечение исследований базировалось на материалах QGIS (Contour plugin) с последующей визуализацией в графическом редакторе Corel Draw.

Результаты и обсуждение

Отбор проб в два сезона проведен для учета возможной временной динамики. Предварительный анализ данных U-критерием Манна–Уитни не выявил статистически значимых ($p < 0.05$) различий между сезонными выборками для подавляющего большинства определяемых веществ, что позволило рассматривать данные как единую совокупность для интегральной оценки уровня загрязнения.

Валовые содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в исследуемых почвах

Анализ данных, представленных в табл. 1, выявляет ключевые статистические закономерности в содержании загрязняющих веществ в почвах Калининграда. Сравнение средних арифметических концентраций с кларками демонстрирует их существенное превышение по свинцу и цинку, что служит статистическим индикатором антропогенного вклада. При этом оценка вариабельности данных, выраженная коэффициентом вариации, указывает на точечный характер загрязнения такими элементами, как Pb (95.3 %), As (51.1 %), Zn (79.0 %), Cu (68.2 %) и Co (85.9 %), для которых характерен высокий разброс концентраций. Данный вывод подтверждается анализом асимметрии распределения, выявившим выраженный правый «хвост» для этих металлов (значения асимметрии от 1.5 до 4.5), что статистически доказывает наличие проб с аномально высокими содержаниями.

Локальный геохимический фон установлен по результатам анализа 6 фоновых проб, отобранных в г. Светлогорск (~35 км от Калининграда). Данная территория выбрана в силу геологической и ландшафтной схожести с изучаемым регионом при минимальном влиянии крупных промышленных источников загрязнения, а также благодаря статусу лечебно-оздоровительной местности и курорта федерального значения. Пробы отбирались на ненарушенных участках вне селитебной зоны. Почвы фоновой территории дерново-подзолистые супесчаные, что сопоставимо с преобладающими типами почв в Калининграде.

Для расчета фоновых значений использована медиана полученных концентраций, как устойчивая к возможным случайным аномалиям мера. Эти значения применялись далее для расчета индексов загрязнения, что позволяет более объективно, по сравнению с глобальными кларками, выделить именно антропогенный вклад в накопление тяжелых металлов в почвах Калининграда.

Визуализация данных в виде диаграмм «ящик с усами» для преобладающих загрязнителей на рис. 1 наглядно дополняет статистический анализ. Компактный межквартильный

размах с наличием значительных выбросов иллюстрирует локальный и интенсивный характер загрязнения для свинца и мышьяка.

В случае цинка медиана располагается в повышенной области, а длинный верхний «ус» с выбросами свидетельствует о том, что его накопление имеет повышенный уровень для большинства проб. Диаграмма по не-

фтепродуктам, обладающая самым широким «ящиком», подтверждает высокий общий разброс данных при отсутствии резких выбросов, что согласуется с выводом о рассредоточенных источниках поступления, в частности от передвижных источников выбросов. Это позволяет охарактеризовать их уровень как «повышенно фоновый».

Таблица 1. Концентрации загрязняющих веществ в почвах Калининграда (мг/кг)

Table 1. Concentrations of pollutants in the soils of Kaliningrad (mg/kg)

Пункт мониторинга	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V	pH _{сол} (KCl)	Нефтепродукты (суммарно)
<i>Весна 2025</i>												
1	66	10	5	81	–	16	–	529	63	44	6.4	281.6
2	96	22	7	94	–	21	–	401	69	51	6.0	295.5
3	126	12	6	80	–	21	–	454	88	67	6.3	189.9
4	107	44	8	156	23	22	–	468	76	56	6.1	351.3
5	115	12	6	124	–	16	–	524	73	50	6.2	340.9
6	154	123	18	303	–	31	6	1429	78	54	6.7	39.6
7	128	58	11	378	–	23	–	469	69	39	6.8	47.2
8	105	16	–	52	–	11	–	298	54	35	6.5	195.6
9	130	16	5	76	–	14	–	371	63	47	6.7	98.2
10	79	17	–	35	–	8	–	199	59	20	5.9	73.5
<i>Осень 2025</i>												
1	115	118	–	96	–	14	5	649	63	40	6.8	397.5
2	133	15	6	86	–	13	–	539	63	27	6.8	335.1
3	80	14	5	76	–	17	–	788	74	57	7.1	135.1
4	145	70	10	222	–	19	6	512	87	57	7.2	141.4
5	79	47	10	234	–	26	–	411	72	57	6.7	335.3
6	89	–	5	96	–	14	–	999	58	24	7.5	361.8
7	151	34	7	474	–	23	–	454	72	41	6.9	276.7
8	96	34	8	228	–	20	–	1024	60	42	6.9	277.9
9	109	15	5	67	–	17	–	308	60	51	6.3	114.8
10	92	23	–	62	–	10	–	197	53	19	6.1	108.2
Кларк	359.2	45.6	10	115.8	30.1	28	14.4	715.2	55	78.9		
Локальный фон	92.0	10.5	5.0	58.0	5.0	10.5	1.0	578.0	59.0	30.0	6.5	127.8
Среднее арифметическое	109.8	35.4	6.8	151.0	5.9	17.8	2.1	551.2	67.7	43.9	6.6	219.9
Медиана	108.0	19.5	6.0	95.0	5.0	17.0	1.0	468.5	66.0	45.5	6.7	236.2
Стандартное отклонение	25.5	33.7	3.5	119.3	4.0	5.7	1.8	302.9	9.9	13.5	0.4	117.7
Коэффициент вариации, %	23.2	95.3	51.1	79.0	68.2	32.0	85.9	55.0	14.6	30.7	6.5	53.5
Минимум	66	8	3	35	5	8	1	197	53	19	5.9	39.6
Максимум	154	123	18	474	23	31	6	1429	88	67	7.5	397.5
Асимметрия	0.2	1.8	1.9	1.5	4.5	0.4	1.5	1.6	0.6	–0.5	0.2	–0.1

Примечание. Прочерк – ниже предела обнаружения; выделены значения менее нижнего предела количественного определения.

Note. Dash indicates values below the LOD; values less than the LLOQ are highlighted.

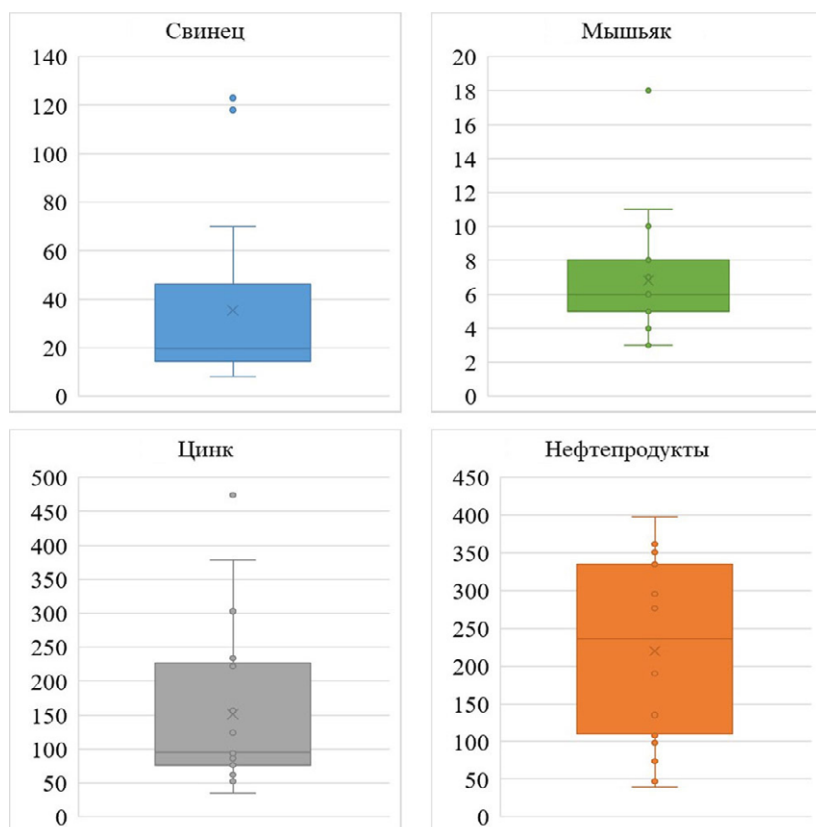


Рис. 1. Диаграммы размаха по наиболее преобладающим загрязнителям (мг/кг).

Fig. 1. Box plot for the most prevailing pollutants (mg/kg).

Расчет и интерпретация геохимических индексов загрязнения почв

Отметим, что для дальнейших расчетов индексов принимали половину величины предела обнаружения в тех образцах, где содержание определяемого элемента находилось ниже ПО.

Анализ индекса геоаккумуляции (Igeo) и единичного индекса загрязнения (PI), представленных в табл. 2, подтверждает существен-

ную зависимость результатов оценки от выбора нормативной величины. При использовании глобальных кларков в качестве фона средние значения Igeo для всех элементов находятся ниже нуля, что формально соответствует категории незагрязненных почв. Значения PI, рассчитанные относительно кларков, в большинстве случаев также не превышают единицы.

Если заменить глобальные кларки локальными фоновыми показателями городских почв, выводы будут несколько иными. Средние значения Igeo приобретают положительные значения для свинца и цинка ($0 < Igeo < 1$ – загрязнение от слабого до среднего), а для никеля и кобальта значения индекса пограничны между отсутствием загрязнения и слабым уровнем. Динамика индекса PI при использовании локального фона проявляется более четко: его средние значения для всех элементов, кроме марганца, превышают единицу, а для свинца (3.37) и цинка (2.60) достигают уровней, характеризующих значительное загрязнение.

Таким образом, применение глобальных кларков приводит к занижению оценки техногенной нагрузки. Использование же локального фона демонстрирует устойчивое загрязнение

Таблица 2. Значения Igeo и PI в почвах Калининграда по разным нормативам

Table 2. Igeo and PI values in the soils of Kaliningrad according to different standards

Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	V
<i>Geoaccumulation Index (Igeo)</i>									
-0.70	-0.43	-0.39	-0.17	-0.92	-0.40	-1.14	-0.34	-0.09	-0.45
-0.11	0.21	-0.09	0.13	-0.14	0.03	0.02	-0.25	-0.12	-0.03
<i>Single Pollution Index (PI)</i>									
0.31	0.78	0.68	1.30	0.20	0.64	0.14	0.77	1.23	0.56
1.19	3.37	1.36	2.60	1.18	1.70	2.05	0.95	1.15	1.46

Примечание. Верхняя строка – среднее по кларкам, нижняя – среднее по фону.

Note. The top row is the average by clarkes, and the bottom row is the average by background.

почв города тяжелыми металлами и представляется методически более обоснованным для оценки антропогенного воздействия в городских геосистемах.

Расчет коэффициентов накопления (EF) (рис. 2) подтверждает преобладание антропогенных источников в накоплении тяжелых металлов в городских почвах. Аналогично Igeo, при использовании глобальных кларков в качестве фона все элементы демонстрируют минимальный уровень накопления ($EF < 2$). Однако при сравнении с локальными фоновыми концентрациями средние значения EF повышаются, а для свинца (3.65) и цинка (3.25) достигают категории среднего уровня накопления ($2 < EF < 5$). Существенное увеличение значений коэффициентов накопления относительно локального фона показывает, что концентрации свинца и цинка обусловлены техногенными поступлениями, а не естественными геохимическими условиями.

Результаты расчета комплексных индексов загрязнения (табл. 3) позволяют провести интегральную оценку загрязнения почв на различных участках. Анализ данных показывает пространственную неоднородность загрязнения городской территории. Индекс загрязнения NPI варьирует от «слабого» (1.50–1.73 на пунктах № 2, 3, 10) до «сильного» (4.37–5.45 на пунктах

№ 1, 4, 6, 7), что свидетельствует о значительной дифференциации антропогенной нагрузки.

Индекс PLI, отражающий совокупную аккумуляцию тяжелых металлов, превышает единицу на всех пунктах, кроме № 10, что указывает на практически повсеместную деградацию почв по этому показателю. При этом классификация по индексу Zc в большинстве случаев соответствует категории «допустимый» ($Zc < 16$), за исключением участков № 4, 6 и 7, где состояние оценивается как «умеренно опасное» ($16 < Zc < 32$).

Несмотря на различия в абсолютных значениях индексов, результаты свидетельствуют о наличии устойчивого многокомпонентного загрязнения почв на большей части исследованной территории.

Выявленный уровень загрязнения почв свинцом и цинком согласуется с ранее установленными для промышленных зон Калининграда превышениями ПДК [1, 3]. Однако, в отличие от работ, опирающихся на глобальные кларки или ПДК [2, 3, 4], применение показателей локального геохимического фона (г. Светлогорск) в качестве нормативных позволило нам избежать занижения оценки и доказать значительное техногенное накопление Pb и Zn ($PI > 2.0$), которое при использовании кларков оставалось скрытым.

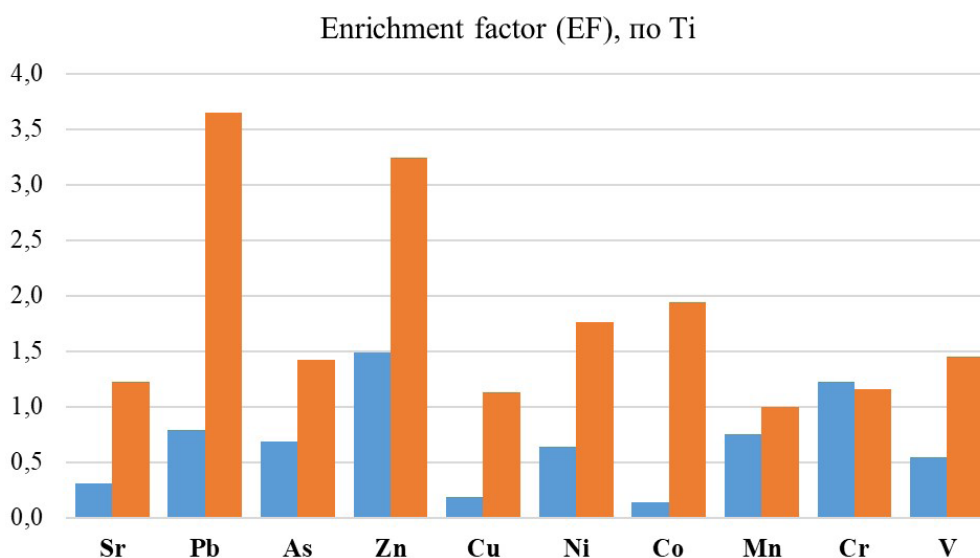


Рис. 2. Диаграмма сравнения средних значений EF по каждому элементу при расчете по кларкам (синие фигуры) и по фону (красные фигуры).

Fig. 2. Comparison chart of the average EF values for each element when calculated using clarkes (blue figures) and background (red figures).

Таблица 3. Значения комплексных индексов в почвах Калининграда**Table 3.** Values of complex indices in the soils of Kaliningrad

Пункт мониторинга	NPI		PLI		Zc	
	Значение	Категория загрязнения [8]	Значение	Категория загрязнения [6]	Значение	Уровень загрязнения
1	4.74	Сильное	1.36	Химическая деградация почв	13.39	Допустимый
2	1.55	Слабое	1.22	То же	7.41	«
3	1.73	«	1.26	«	7.07	«
4	4.37	Сильное	2.09	«	17.80	Умеренно опасный
5	2.61	Среднее	1.44	«	11.28	Допустимый
6	5.08	Сильное	1.98	«	18.65	Умеренно опасный
7	5.45	«	1.78	«	16.34	То же
8	2.18	Среднее	1.32	«	8.25	Допустимый
9	2.20	«	1.21	«	7.16	«
10	1.50	Слабое	0.85	Отсутствие деградации	4.94	«

Анализ индексов и статистических распределений позволил установить характер поступления поллютантов, подтвердив точечный, «аномальный» характер накопления Pb, Zn, As, Cu от локальных источников, что дополняет данные об антропогенной трансформации почв в рекреационных зонах [4].

Пространственное распространение и зоны поликомпонентного загрязнения

Пространственное распределение комплексных индексов загрязнения NPI и Zc (рис. 3) демонстрирует четкую географическую приуроченность наиболее загрязненных территорий. Анализ картографических данных выявил формирование двух основных очагов загрязнения. Наиболее выраженный очаг с максимальными значениями обоих индексов сосредоточен в юго-западной части города, где расположены промышленная зона и портовая инфраструктура на р. Преголя. Второй очаг повышенного загрязнения фиксируется в северо-восточной части города, где расположен ряд автотранспортных предприятий и мусоросортировочная станция. Такая локализация

очагов загрязнения убедительно связывает уровень загрязнения почв с зонами интенсивной хозяйственной деятельности, подтверждая промышленное и транспортное происхождение основных загрязняющих веществ.

Анализ пространственного распределения преобладающих загрязнителей (рис. 4) позволил выделить зоны геохимических аномалий [13–16] – зоны поликомпонентного загрязнения почв. При построении изолиний для свинца и никеля использованы уровни 32 и 20 мг/кг соответственно, т.е. ОДК для супесчаных почв. Для мышьяка и цинка применены повышенные пороговые значения – 5 и 110 мг/кг. Данное методическое решение обусловлено повсеместным превышением установленных нормативов ОДК для супесчаных почв (2 мг/кг для мышьяка и 55 мг/кг для цинка). По результатам почвенной рекогносцировки и лабораторного контроля для всех отобранных образцов характерен супесчаный состав, что связано главным образом с интенсивным освоением городской территории и антропогенным нарушением почвенного покрова, в том числе строительными работами, прокладкой инженерных сетей и подсыпками грунта.

Выделенные зоны поликомпонентного загрязнения формируют две выраженные области аномалий на территории города. Первая расположена в районе пункта № 7, в юго-западной части вблизи портовой и промышленной инфраструктуры. Вторая аномалия выявлена в северо-восточной части города и включает пункты № 4 и 6. Совпадение пространственного положения этих аномалий с зонами повышенных значений комплексных индексов загрязнения (рис. 3) подтверждает достоверность выявленных закономерностей

и указывает на устойчивый характер техногенного воздействия в этих районах.

С помощью геоинформационного картографирования и комплексных индексов (NPI, Zc) впервые четко локализованы два основных очага загрязнения: юго-западный (портово-промышленный) и северо-восточный (связанный с автотранспортными предприятиями). Это уточняет и детализирует общие выводы о приуроченности загрязнения к зонам активной хозяйственной деятельности [2, 3].

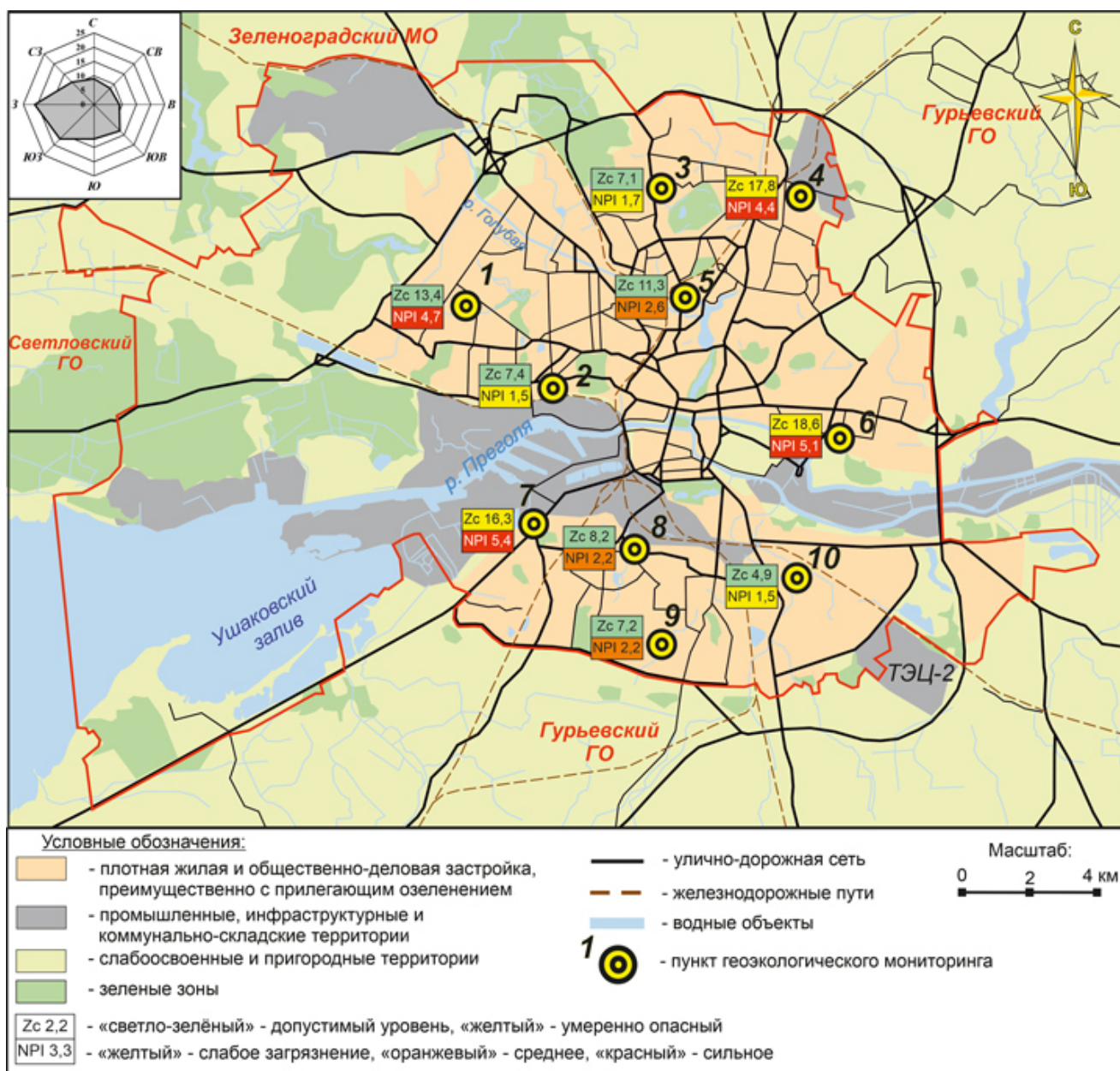


Рис. 3. Картограмма распределения индексов загрязнения почв в Калининграде.

Fig. 3. Distribution map of the soil pollution indices in Kaliningrad.

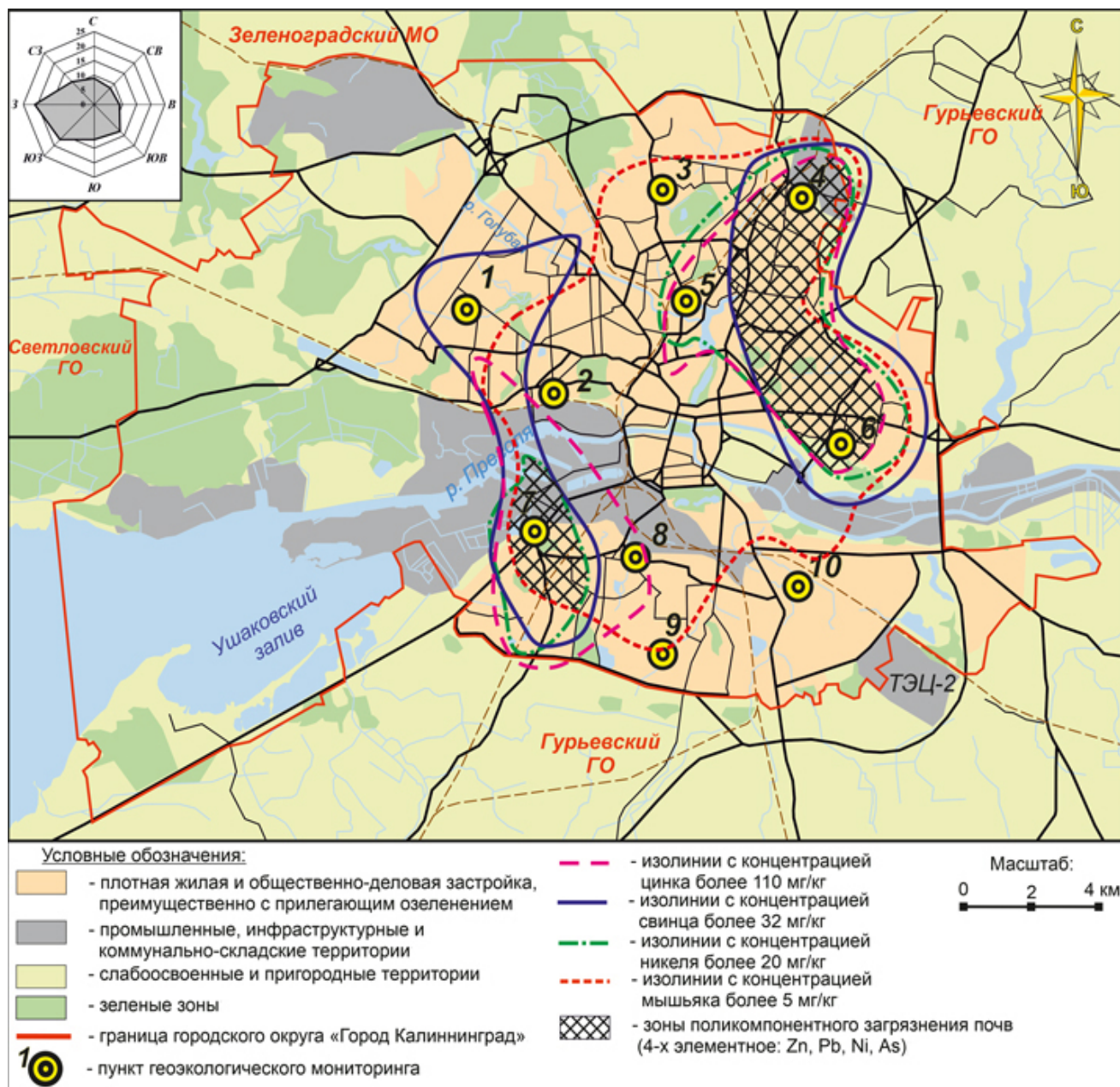


Рис. 4. Картограмма распространения поликомпонентного загрязнения почв в Калининграде.

Fig. 4. Spatial distribution map of the polycomponent soil pollution in Kaliningrad.

Заключение

1. Комплексное применение статистических методов и системы индексов позволило дифференцировать характер загрязнения. Высокие коэффициенты вариации (>50 %) и положительная асимметрия распределения концентраций для Pb, As, Zn, Cu, Co статистически доказывают точечный характер загрязнения этими элементами, связанный с локальными источниками. В то же время для нефтепро-

дуктов установлен «повышенно-фоновый» уровень с высоким разбросом, но без резких выбросов, что указывает на рассредоточенные источники поступления.

2. Расчет индексов (I_{geo} , PI , EF , Z_c) относительно глобальных кларков приводит к занижению уровня загрязнения и некорректной классификации почв как «незагрязненных». Расчет индексов относительно локального фона, установленного для региона, выявил значительное загрязнение свинцом и цинком,

достигающее уровня «значительного» ($PI > 2.0$) и «среднего» уровня накопления ($EF = 2-5$). Установлено, что интегральная оценка загрязнения почв существенно варьирует в зависимости от применяемого комплексного индекса. Индекс PI свидетельствует о начавшейся химической деградации почв на 90 % исследованных площадок, тогда как индекс Zc в большинстве случаев характеризует состояние как «допустимое». Это подчеркивает важность комплексного подхода с использованием нескольких взаимодополняющих индексов для адекватной диагностики и ранжирования территории по уровню экологической опасности.

3. Выявлены и пространственно локализованы зоны поликомпонентного загрязнения почв. Установлено, что наиболее высокие уровни загрязнения формируют два выраженных очага, приуроченных к зонам интенсивной хозяйственной деятельности: юго-западный (в районе портовой и промышленной инфраструктуры) и северо-восточный. Совпадение аномалий по отдельным элементам (Pb , Zn , As , Ni) с зонами высоких значений комплексных индексов (NPI , Zc) подтверждает устойчивый характер техногенного воздействия в этих районах.

Список литературы

1. Станченко Л.Ю. Распределение тяжелых металлов в почвах и растительности городских экосистем Калининградской области. *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*. 2009,1:81–86. EDN JXVHZL
2. Станченко Л.Ю. Эколого-геохимическая оценка и типизация урбоэкосистем Калининграда и Светлогорска. *Естественные и технические науки*. 2008, 6(38):221–224. EDN JXQQNH
3. Мосина Л.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н., Масленников П.И. Содержание тяжелых металлов в почвах ландшафтов различного функционального назначения г. Калининграда. *Известия ТСХА*. 2017,5:5–16.
4. Анциферова О.А., Мурачева Л.С. К характеристике почв городских парков Калининграда. *Вестник Российского государственного университета им. И. Канта*. 2009,7:83–90.
5. Müller G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. 1969,2:108–118.
6. Forstner U., Ahlf W., Calmano W., Kersten M., Schorer J. Assessment of metal mobility in sludges and sol-

id wastes. In: *Metal Speciation in the Environment*. Springer, 1990, p. 1–41. (ASIG; 23).

7. Жарикова Е.А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021,332(1):164–173. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/3009>
8. Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W. Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index. *Helgoland Marine Research*. 1980,33:566–575.
9. Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination: A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018,40:2395–2420.
10. Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – A systematic review. *International Journal Environmental Research and Public Health*. 2020,17:3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>
11. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. *Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв сельтебных ландшафтов*. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013, 380 с.
12. Пиковский Ю.И. *Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде*. М.: Изд-во МГУ, 1993, 206 с.
13. Перельман А.И., Касимов Н.С. *Геохимия ландшафта*. М.: Астрель-2000, 1999, 768 с.
14. Янин Е.П. Химический состав и эколого-геохимические особенности городских почв: Аналитический обзор. *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*. 2020,2:40–73. <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2020-02-3>
15. Майорова Л.П., Кошельков А.М. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком почв урбанизированных территорий (на примере г. Хабаровска). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2025,70(2):216–240. doi:10.21638/spbu07.2025.201
16. Корляков И.Д., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Тяжелые металлы и металлоиды в почвенном покрове города Улан-Удэ. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2019,3(35):120–137. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pinqdc>

References

1. Stanchenko L.Yu. [Distribution of heavy metals in soils and vegetation of urban ecosystems in the Kaliningrad region]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*. 2009,1:81–86. (In Russ.).

2. Stanchenko L.Yu. [Ecological and geochemical assessment and typification of urban ecosystems in Kaliningrad and Svetlogorsk]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and Technical Sciences*. 2008,6(38):221–224. (In Russ.).
3. Mosina L.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N., Maslennikov P.I. [Heavy metal content in soils of landscapes with different functional purposes in Kaliningrad]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017,5:5–16. (In Russ.).
4. Antsiferova O.A., Muracheva L.S. [On the characteristics of urban park soils in Kaliningrad]. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo universiteta im. I. Kanta*, 2009,7:83–90. (In Russ.).
5. Müller G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. *GeoJournal*. 1969,2:108–118.
6. Forstner U., Ahlf W., Calmano W., Kersten M., Schöner J. Assessment of metal mobility in sludges and solid wastes. In: *Metal Speciation in the Environment*. Springer, 1990, p. 1–41. (ASIG; 23). doi:10.1007/978-3-642-74206-4_1
7. Zharikova E.A. Assessment of heavy metals content and environmental risk in urban soils. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021,332(1):164–173. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/1/3009>
8. Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W. Problems in the assessment of heavy metals in estuaries and the formation pollution index. *Helgoland Marine Research*. 1980,33:566–575.
9. Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination: A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018,40:2395–2420.
10. Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019. A systematic review. *International Journal Environmental Research and Public Health*. 2020,17:3099. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093099>
11. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. [Chemical elements in geochemical systems. Clarkes of soils in residential landscapes]. Rostov-on-Don: Publ. YuFU, 2013, 380 p. (In Russ.).
12. Pikovskii Yu.I. [Natural and technogenic hydrocarbon flows in the environment]. Moscow: Publ. MSU, 1993, 206 p. (In Russ.).
13. Perel'man A.I., Kasimov N.S. [Landscape geochemistry]. Moscow: Astreya-2000, 1999, 768 p. (In Russ.).
14. Yanin E.P. [Chemical composition and ecological-geochemical features of urban soils. An analytical review]. *Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnikh resursov = Environmental and Natural Resource Problems*. 2020,2:40–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.36535/0235-5019-2020-02-3>
15. Mayorova L.P., Koshel'kov A.M. [Assessment of contamination by heavy metals and arsenic in soils of urbanized areas (case study of Khabarovsk)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle = Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2025,70(2):216–240. (In Russ.). doi:10.21638/spbu07.2025.201
16. Korlyakov I.D., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. [Heavy metals and metalloids in the soil cover of Ulan-Ude]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Development*. 2019,3(35):120–137. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pinqdc>

Об авторах

✉ **Архипов Егор Александрович**, аспирант Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, egor.arhipov2000@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0007-8946-2648>

Зотов Сергей Игоревич, доктор географических наук, профессор Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, zotov.prof@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-6509-7398>

Королева Юлия Владимировна, кандидат географических наук, доцент Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, yu.koroleff@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7612-4454>

Колягина Мария Игоревна, студент Высшей школы живых систем, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, mikoljagina@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0001-2922-4433>

About the Authors

✉ **Arhipov, Egor A.**, Postgraduate Student of the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, egor.arhipov2000@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0007-8946-2648>

Zotov, Sergey I., Doctor of Geography, Professor at the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, zotov.prof@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-6509-7398>

Koroleva, Yulia V., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor at the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, yu.koroleff@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-7612-4454>

Kolyagina, Maria I., Student of the Higher School of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, mikoljagina@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0001-2922-4433>

Поступила 20.01.2026

Принята к публикации 11.02.2026

Received 20 January 2026

Accepted 11 February 2026