

Загрязнение почв приморских городов Крыма тяжелыми металлами и нефтепродуктами

А. В. Бараненко¹, Е. И. Голубева¹, Е. С. Каширина^{2*}

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

² *ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН,
Севастополь, Россия*

* *e-mail: e_katerina.05@mail.ru*

Аннотация

На примере Крыма рассмотрены особенности загрязнения почв в небольших приморских городах с курортной специализацией. Специфика загрязнения почв городов связана с активным использованием автотранспорта, работой предприятий инфраструктуры и развитием сельского хозяйства на прилегающих территориях. Ведущее место среди загрязняющих веществ занимают тяжелые металлы и нефтепродукты. Цель работы – оценить уровень загрязнения почв городов Южного берега Крыма тяжелыми металлами и нефтепродуктами на примере Ялты, Алушты и Судака. Методика исследования включала отбор проб почвы в разных функциональных зонах городов и за их пределами. Пробы для определения фоновых значений отбирали в отдалении от автотрасс в лесной зоне. Содержание тяжелых металлов в почве определяли рентгенофлуоресцентным методом, нефтепродуктов – люминесцентно-битуминологическим методом. В почвах селитебных зон трех рассмотренных городов отмечается превышение концентраций свинца (Pb) и цинка (Zn). Максимальные превышения фоновых значений тяжелых металлов зафиксированы в Ялте (в 3.5–4 раза). Кроме того, в почвах курортных городов Южного берега Крыма активно аккумулируются медь (Cu), стронций (Sr), марганец (Mn), ванадий (V). В почвах пригородных районов Южного берега Крыма возле автодорог накапливаются Pb, Zn, Cu, Sr, Mn, V. Содержание нефтепродуктов в почвах ожидаемо выше вдоль крупных загородных автотрасс по сравнению с городской чертой. Главным источником загрязняющих веществ является автотранспорт. Его влияние возрастает в летний сезон с притоком на Южный берег Крыма отдыхающих, численность которых в 2021 г. достигала 3.85 млн человек. Другим источником загрязнения выступают объекты теплоэнергетики и печное отопление малоэтажных зданий. Суммарный показатель загрязнения *Zc* свидетельствует о низком уровне загрязнения почв исследуемых городов, однако концентрации некоторых загрязняющих веществ превышают фоновые. Результаты исследования могут быть использованы в системе экологического мониторинга, при формировании региональной экологической политики в курортных городах.

Ключевые слова: экологические проблемы, курортные города, загрязнение почвы тяжелыми металлами, тяжелые металлы и металлоиды, нефтепродукты, побережье Черного моря

© Бараненко А. В., Голубева Е. И., Каширина Е. С., 2026



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М. В. Ломоносова «Географический подход к оптимизации природопользования в моделях устойчивого развития» и государственного задания ФИЦ ИнБЮМ (№ гос. регистрации 124030100030-0).

Для цитирования: Бараненко А. В., Голубева Е. И., Каширина Е. С. Загрязнение почв приморских городов Крыма тяжелыми металлами и нефтепродуктами // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2026. № 1. С. 114–128. EDN BNZOQJ.

Heavy Metal and Petroleum Product Pollution of Soils in Crimean Coastal Towns

A. V. Baranenko¹, E. I. Golubeva¹, E. S. Kashirina^{2*}

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

² *A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia*

* *e-mail: e_katerina.05@mail.ru*

Abstract

The paper considers the peculiarities of soil pollution in small seaside resort towns using Crimea as a case study. The specifics of soil pollution in resort towns are related to the active use of motor vehicles, the operation of infrastructure enterprises and the development of agriculture in adjacent areas. Heavy metals and petroleum products are among major pollutants. The purpose of the work is to assess the level of soil pollution in the coastal towns of the Southern Coast of Crimea with heavy metals and petroleum products using the example of Yalta, Alushta and Sudak. The study methodology included soil sampling in different functional zones of the towns and beyond their boundaries. Samples for determining background levels were collected at a distance from highways in forested areas. The content of heavy metals in the soil was determined by the X-ray fluorescence method, and petroleum products were determined by the luminescent-bituminological method. In the soils of residential areas of the three studied towns, elevated concentrations of lead (Pb) and zinc (Zn) were recorded. The highest exceedances of background levels for heavy metals were recorded in Yalta (3.5–4 times). In addition, copper (Cu), strontium (Sr), manganese (Mn) and vanadium (V) actively accumulated in the soils of resort towns of the Southern Coast of Crimea. Pb, Zn, Cu, Sr, Mn and V accumulated in the soils of suburban areas of the Southern Coast of Crimea near highways. The content of petroleum products in soils was, as expected, higher along major suburban highways than within town boundaries. The main source of pollutants was motor vehicles. Their impact increased in the summer season with the inflow of vacationers to the Southern Coast of Crimea, whose number reached 3.85 million people in 2021. Another source of pollution was heat and power facilities, including coal and wood stoves in low-rise residential buildings. The total pollution index (Z_c) indicates a low level of soil pollution in the studied towns; however, the concentrations of some pollutants exceeded background levels. The results of the study can be used in the environmental monitoring system and in the formulation of regional environmental policy in resort towns.

Keywords: environmental problems, resort towns, soil pollution with heavy metals, heavy metals and metalloids, petroleum products, Black Sea coast

Acknowledgments: The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University “Geographical approach to optimizing environmental management in sustainable development models” and IBSS state research assignment (No. 124030100030-0).

For citation: Baranenko, A.V., Golubeva, E.I. and Kashirina, E.S., 2026. Heavy Metal and Petroleum Product Pollution of Soils in Crimean Coastal Towns. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 114–128.

Введение

Урбанизация способствует росту спроса на рекреационную деятельность и туризм у населения, что повышает антропогенную нагрузку на природные экосистемы. Особенно актуальна эта проблема для Крымского п-ова, отличающегося высокой концентрацией ценных и уязвимых ландшафтов. Крым является одним из крупных туристических центров нашей страны, привлекательность которого основана на уникальных природных условиях. В летний период для курортных городов Южного берега Крыма (ЮБК) характерен большой приток рекреантов, что ведет к увеличению антропогенного воздействия на природную среду. Так, в 2021 г. количество туристов, посетивших Крым, составило 9.39 млн человек, из которых 41 % (3.85 млн) отдыхали на ЮБК¹). При этом ЮБК отличается своеобразием природы с характерными субсредиземноморскими экосистемами, большим числом редких и охраняемых растений и животных, высокой долей особо охраняемых природных территорий (более 220 объектов с общей площадью более 250 тыс. га) [1]. Таким образом, интенсивное хозяйственное использование противоречит необходимости сохранения природной среды, что определяет актуальность оценки антропогенного воздействия, в частности загрязнения почв.

На загрязнение курортных городов отдельными химическими элементами может влиять множество факторов. Например, исследование содержания Cd на курортах показало, что элемент попадает в окружающую среду (в воздух, почвы, водные объекты) при строительстве отелей, со сточными водами объектов туристской инфраструктуры, с выхлопами автотранспорта [2].

Повышение содержания некоторых химических элементов в почвах курортных городов может быть связано с литологическим составом горных пород территории. Например, в почвах курортных городов Канарских о-вов в естественной среде повышено содержание Co, Cr, Ga, Mn, Mo, Ni, Ti, V, что обусловлено преобладанием базальтовых вулканических туфов и лавовых потоков. Содержание же Ag, Ba, Ge, Li, Pb, Sn, Sr в почвах понижено, что связано с отложением значительного количества переносимых ветром легких частиц [3]. Высокими показателями содержания отдельных химических элементов отличаются почвы курортов Кавказских Минеральных Вод, расположенных в сложных геологических условиях Минераловодского поднятия. В почвах Кисловодска, Железноводска, Ессентуков, Пятигорска отмечается повышенная концентрация Pb, Cd, Ni. Природным фоном является концентрация не только тяжелых металлов, но и радионуклидов в районе курортных городов Кавказских Минеральных Вод [4, 5].

¹) Доклад «О состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2021 году». URL: https://meco.rk.gov.ru/uploads/txteditor/meco/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpPrPviN_1.pdf (дата обращения: 14.04.2023).

Источником загрязнения почв курортных городов может быть сельское хозяйство, однако его реальный вклад не всегда является значимым. Например, в районе культивирования бананов на Канарских о-вах действительно отмечено несколько повышенное содержание фосфора в почве, что объясняется внесением минеральных удобрений. Тем не менее в целом это мало отразилось на изменении концентраций химических элементов в почвах курортов [3]. Значительная роль в загрязнении городов, в том числе курортных, принадлежит автотранспорту. Например, в крупном курортном городе Дехрадун (Индия) в дорожной пыли отмечены повышенные концентрации Zn, Cu, Pb, Cd, As [6]. В других курортных городах наблюдается сходная тенденция [7, 8]. Специфика загрязнения почв курортных городов связана с активным использованием автотранспорта, работой предприятий электро- и теплоэнергетики и развитием сельского хозяйства. В курортных городах Крыма (Ялта, Алушта и Судак) приоритетными загрязнителями почв являются тяжелые металлы и металлоиды (ТММ) и нефтепродукты.

Выбранные в качестве модельных курортные города располагаются на ЮБК, имеют выход к морской акватории, обладают рядом сходных природных и социально-экономических особенностей: они находятся в нижней части крутых склонов в горно-лесной зоне с широколиственными и хвойными сообществами. Доминирующими почвами на ЮБК являются буроземы (бурые горные лесные, *Dystric Cambisols*) и коричневые почвы (*Eutric Cambisols*) [9]. Промышленная специализация городов также однотипная: она включает объекты теплоэнергетики, предприятия по производству строительных материалов, предприятия пищевой промышленности, виноградники.

Несмотря на отсутствие крупных промышленных источников загрязнения почв в курортных городах, повышенное содержание ТММ может отмечаться на сельскохозяйственных угодьях, в частности на виноградниках. Поступление ТММ в почвы виноградников обусловлено также использованием пестицидов. Ведущее место среди токсикантов, применяемых на виноградниках, занимает Cu. По данным глобального обзора [10], среднее содержание Cu в почвах виноградников составляет 63 мг/кг.

Для Крымского п-ова содержание Cu в почвах изучено для различных типов агроландшафтов и колеблется в широких пределах. Валовое содержание Cu в коричневых почвах виноградников ЮБК достигает 140 мг/кг, что объясняется привнесением элемента с фунгицидами [11]. Необходимо отметить, что содержание Cu в карбонатных почвах ЮБК выше, чем в выщелоченных, – 48 и 22 мг/кг соответственно [12]. Кроме Cu, в почвы сельскохозяйственных угодий ЮБК поступают Ni, Cr, Pb, V, Fe, Zn, As, Ba. Содержание Ni, Cr, Pb, V, Zn, As в почвах под виноградниками превышает ПДК, содержание Fe – ориентировочно допустимые концентрации, а содержание Ba – пороговые значения, приведенные в литературных источниках [12].

Цель исследования – оценить уровень загрязнения почв приморских городов ЮБК тяжелыми металлами и нефтепродуктами на примере городов Ялты, Алушты и Судака.

Материалы и методы

Объектами исследования являются почвы курортных городов ЮБК – Ялты, Алушты и Судака. Во время полевых работ летом 2022 г. отобраны пробы для геохимических исследований. Для сравнения уровней загрязнения почв изучены городские и пригородные территории: склоны южных (профиль по маршруту 1) и восточных (профиль по маршруту 2) экспозиций (рис. 1). Точки наблюдения на склонах, прилегающих к городам, выбирали приблизительно через равные интервалы высот. Для более точной оценки во всех городах выбран интервал высот от уровня моря до 600 м из-за разности амплитуд

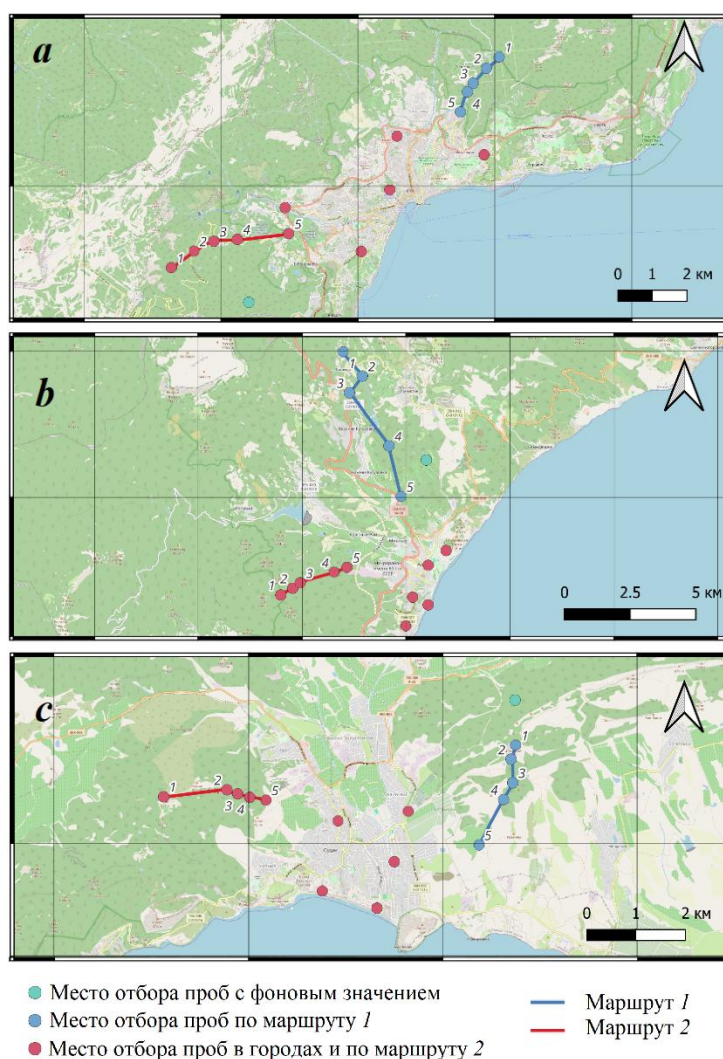


Рис. 1. Расположение маршрутов и точек отбора проб: в Ялте (a); Алуште (b); Судаке (c)

Fig. 1. Location of routes and sampling points in Yalta (a); Alushta (b); Sudak (c)

горных массивов (максимальные отметки высот в Судаче составляют около 500 м). За фоновые значения содержания в почвах ТММ принято их содержание в почвах Ялтинского заповедника, расположенного в отдалении от источников загрязнения в горно-лесной зоне.

Пробы почвы отобраны методом конверта с верхнего гумусового горизонта площадью 1 м². Пробы высушены при температуре 40 °С в течение 12 ч и просеяны через сито с размером ячеек 1 и 0.25 мм, затем протерты в агатовой ступке до пылеватой структуры.

В пробах определено содержание 11 ТММ – Pb, Zn, Cu, Cr, Sr, Mn, V, Fe, As, Cd, Ni. Определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа с пробоподготовкой по стандартной методике М-049-ПДО/18 ФР.1.31.2018.32143. Для каждой пробы выполнено два параллельных измерения с помощью портативного рентгенофлуоресцентного анализатора *Olympus Innov-X SDD 25 Delta Professional*.

Анализ содержания нефтепродуктов в почвах проводился люминесцентно-битуминологическим методом на оборудовании «Флюорат-02»^{2), 3)}.

Коэффициент концентрации рассчитан как отношение содержания химического элемента в почве к его содержанию в фоновых условиях.

Суммарный коэффициент загрязнения Z_c рассчитан как сумма коэффициентов концентрации Cc_i для тех элементов, у которых $Cc_i > 1$, за вычетом $(n - 1)$ по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Cc_i - (n - 1),$$

где n – число определяемых суммируемых веществ при $Cc_i > 1$; Cc_i – коэффициент концентрации i -го химического элемента [13, с. 38].

Уровень загрязнения при значении Z_c в интервале 0–16 считается низким (неопасным); 16–32 – средним (умеренно опасным); в диапазоне 32–128 – соответствует высокому (опасному) уровню; более 128 – очень высокому (чрезвычайно опасному) [13].

Для оценки уровня загрязнения почвы нефтепродуктами принята классификация по их концентрации⁴⁾: менее 1000 мг/кг – допустимый уровень загрязнения; 1000–2000 мг/кг – низкий; 2000–3000 мг/кг – средний; 3000–5000 мг/кг – высокий; более 5000 мг/кг – очень высокий.

Картосхемы построены в программной среде со свободным доступом *QGIS*.

²⁾ Руководство по методике люминесцентно-битуминологических исследований / под ред. Т. Э. Барановой [и др.]. Ленинград : Недра, 1966. 112 с.

³⁾ ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» : утв. ФГУ «ЦЭКА» 18.03.2003. URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4293799/4293799929.pdf> (дата обращения: 10.04.2023).

⁴⁾ Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами : [письмо Минприроды России от 27.12.1993 № 04-25/61-5678] : утв. Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г. URL: <https://legalacts.ru/doc/pismo-minprirody-rossii-ot-27121993-n-04-2561-5678/> (дата обращения: 10.04.2023).

Результаты и обсуждение

В составе поверхностных горизонтов почв Ялты наблюдаются повышенные концентрации Pb, Zn, Cu, на отдельных точках превышающие фоновые значения в 7.0, 5.0 и 2.5 раза соответственно. Средний коэффициент концентрации Pb, Zn, Cu в городе составляет 4.0, 3.5 и 1.7 соответственно (табл. 1). Существенных превышений фона в почвах исследуемых горных склонов не отмечается. Поступление этих элементов в почвы Ялты в первую очередь связано с эксплуатацией транспортных средств, в частности личного автотранспорта. Это подтверждается пробами, отобранными летом, когда интенсивный приток отдыхающих на личном транспорте приводит к росту концентраций данных элементов, особенно Pb, который является типичным индикатором (топоморфным элементом) загрязнения автотранспортом.

Приоритетными загрязнителями для Ялты являются Zn, Pb, Cu (в порядке убывания значимости), на которые приходится до 60 % массы определяемых

Т а б л и ц а 1. Содержание ТММ и нефтепродуктов в почве г. Ялты и сопредельных территорий

Table 1. Contents of heavy metals, metalloids and petroleum products in soils of Yalta and adjacent areas

Вещество / Substance	C_f , мг/кг / C_f , mg/kg	Город / Town		Маршрут 1 / Route 1		Маршрут 2 / Route 2	
		K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c
Pb	24.0	95.6	4.0	23.7	1.0	24.8	1.0
Zn	72.0	249.0	3.5	76.3	1.1	76.3	1.1
Cu	30.0	52.0	1.7	22.0	0.7	24.3	0.8
Cr	54.0	69.4	1.3	48.7	0.9	60.3	1.1
Sr	165.0	207.0	1.3	165.3	1.0	117.1	0.7
Mn	462.0	574.4	1.2	375.0	0.8	537.7	1.2
V	49.0	58.9	1.2	40.7	0.8	56.7	1.2
Fe	22 302.0	26 135.8	1.2	19 623.7	0.9	21 758.0	1.0
As	13.3	12.8	1.0	12.8	1.0	10.7	0.8
Cd	26.0	24.3	0.9	27.0	1.0	Н/д / N/d	Н/д / N/d
Ni	73.0	57.2	0.8	46.7	0.6	50.7	0.7
НП / PP	780	586.0	0.8	1675	2.1	1987.0	2.5

Примечание: C_f – фоновое содержание химического элемента; K_{cp} – среднее содержание химического элемента или медианное содержание нефтепродуктов; C_c – коэффициент концентрации; НП – нефтепродукты; Н/д – нет данных. Жирным выделено значимое превышение фонового содержания химического элемента или медианного содержания нефтепродуктов.

Note: C_f – background concentration; C_{avg} – average concentration or median concentration of petroleum products; C_c – concentration coefficient; PP – petroleum products; N/d – no data. Figures in bold show a significant exceedance over the background concentration of a chemical element or the median concentration of petroleum products.

химических элементов, а для пригородной территории Ялтинского заповедника – Zn, Cr, Pb, V с общей массовой долей до 50 %.

Помимо этого, две пробы почв были отобраны вблизи городского промышленного района в северо-западной части Ялты (район Дарсан), где также могут быть источники Pb и Zn. Элементы поступают в почву в результате сжигания угля в частных домах, а также работы теплостанций. Высокий уровень загрязнения почвы в районе Дарсан согласуется с данными, приведенными в литературе [14].

Рассчитанный суммарный коэффициент загрязнения почв Zc равен 6.47, что в целом свидетельствует об общем низком уровне загрязнения территории.

Анализ отобранных образцов почвы на содержание нефтепродуктов показал, что в Ялте оно изменяется от 35 до 4450 мг/кг. Наибольшие концентрации отмечены на горных склонах вблизи автодорог и автомобильных стоянок. Уровень концентрации нефтепродуктов вдоль автотрассы характеризуется как высокий. На маршруте 1 верхняя точка наблюдения располагалась вблизи автомобильной стоянки у кордона «Грушевая поляна» (въезд на территорию Национального парка «Крымский»). По другому исследуемому склону проходит дорога, ведущая на гору Ай-Петри, – часто посещаемое место. Здесь также располагаются автостоянки, что определяет наблюдаемое среднее и высокое содержание нефтепродуктов (рис. 2).

В урбанизированной центральной части Ялты в двух точках содержание нефтепродуктов несколько выше допустимого и выше медианного значения (1100 и 1275 мг/кг). Остальные районы отбора проб характеризуются допустимыми уровнями содержания нефтепродуктов в почвах. В новых районах города

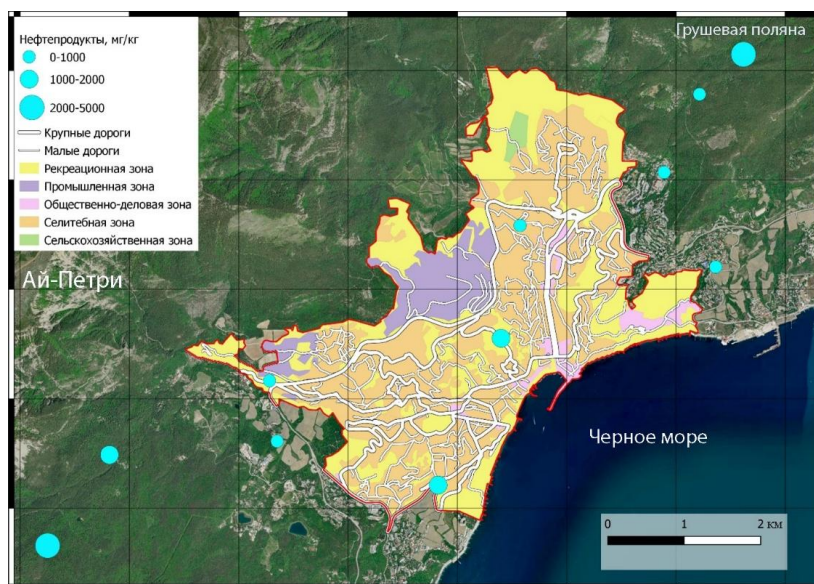


Рис. 2. Содержание нефтепродуктов в почвах Ялты и прилегающих горных ландшафтов

Fig. 2. Petroleum product content in the soils of Yalta and adjacent mountain landscapes

и горно-лесной местности зафиксирован допустимый уровень загрязнения почв нефтепродуктами (120–850 мг/кг). Только в одной точке на автотрассе содержание нефтепродуктов в почвах незначительно превышает медианное значение – на 10 %.

В почвах и дорожной пыли г. Алушты накапливаются Zn, Sb, Pb, Cu, Cd и бенз(а)пирен, что связано с использованием автотранспорта [15, 16]. О ведущей роли автотранспорта в загрязнении почв свидетельствует сезонность концентраций химических элементов – в летний туристский сезон концентрации возрастают. При этом суммарное загрязнение почв и дорожной пыли тяжелыми металлами находится на низком уровне [17].

Сжигание топлива на предприятиях тепловой энергетики и в печах для отопления частных домов также является источником поступления в почвы загрязняющих веществ. В холодный период года в почвах Алушты наблюдается рост содержания Mo и Bi, поступающих при работе отопительных систем [17].

Т а б л и ц а 2. Содержание ТММ и нефтепродуктов в почвах г. Алушты и сопредельных территорий

T a b l e 2. Contents of heavy metals, metalloids and petroleum products in soils of Alush-ta and adjacent areas

Веще-ство / Sub-stance	C_f , мг/кг / C_f , mg/kg	Город / Town		Маршрут 1 / Route 1		Маршрут 2 / Route 2	
		K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c
Pb	40.0	63.6	1.6	69.3	1.7	44.3	1.1
Zn	159.0	225.2	1.4	248.3	1.6	108.7	0.7
Sr	134.0	184.4	1.4	200.3	1.5	128.0	1.0
Cr	68.0	75.2	1.1	38.3	0.6	85.7	1.3
Cu	55.0	60.2	1.1	156.0	2.8	44.3	0.8
Cd	22.0	23.0	1.0	22.0	1.0	24.0	1.1
Mn	674.0	634.6	0.9	675.3	1.0	828.7	1.2
Ni	65.0	60.8	0.9	36.3	0.6	75.7	1.2
As	17.0	15.6	0.9	8.4	0.5	15.2	0.9
V	77.0	67.8	0.9	43.0	0.6	87.0	1.1
Fe	32 143.0	26 832.0	0.8	20 165.0	0.6	35 311.0	1.1
НП / PP	310.0	254.1	0.8	2783.3	9.0	185.0	0.6

Примечание: C_f – фоновое содержание химического элемента; K_{cp} – среднее содержание химического элемента или медианное содержание нефтепродуктов; C_c – коэффициент концентрации; НП – нефтепродукты. Жирным выделено значимое превышение фонового содержания химического элемента или медианного содержания нефтепродуктов.

Note: C_f – background concentration; C_{avg} – average concentration or median concentration of petroleum products; C_c – concentration coefficient; PP – petroleum products. Figures in bold show a significant exceedance over the background concentration of a chemical element or the median concentration of petroleum products.

Источником Pb являются выбросы от сжигания угля [18]. Печное отопление приводит к значительному накоплению поллютантов в районах малоэтажной жилой застройки Ялты, где отмечены аномалии содержания Pb, Zn, Sb, Sr и Sn [19].

На территории Алушты в отдельных точках в почвах превышение фоновых концентраций Pb, Zn, Sr, Cu достигает четырехкратного уровня. Средние коэффициенты концентрации Pb, Zn, Sr, Cu для почв как города, так и маршрута 1 не превышают 2.8 (табл. 2).

Наличие Pb, Zn, Sr в почвах горных склонов маршрута 1 объясняется расположением вблизи точек наблюдения поселков Лаванда, Верхняя и Нижняя Кутузовка. Через последние два поселка проходит оживленная автотрасса Алушта – Симферополь. Кроме того, на маршруте 1 отмечено большое содержание Cu, что может быть связано с использованием медного купороса для опрыскивания виноградников.

Приоритетными загрязнителями для городской территории г. Алушты являются Sr, Zn, Pb (в порядке убывания значимости), на которые приходится до 40 % массы определяемых химических элементов.

Приоритетные химические элементы, обнаруженные в почвах пригородной территории горно-лесной зоны на маршруте 1 – Cu, Zn, Pb, Sr. В пробах почв, отобранных на маршруте 2, приоритетные химические элементы не выделяются.

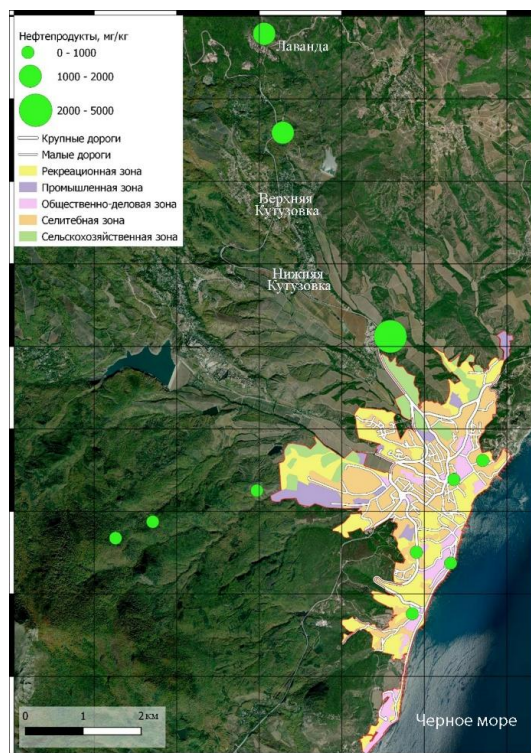


Рис. 3. Содержание нефтепродуктов в почвах Алушты и прилегающих горных ландшафтов

Fig. 3. Petroleum product content in the soils of Alushta and adjacent mountain landscapes

Суммарный коэффициент загрязнения почв Z_c в Алуште и ее пригородах равен 4.48, что свидетельствует о низком уровне загрязнения.

На территории г. Алушты как в урбанизированной, так и в горно-лесной зоне отмечен допустимый уровень загрязнения почв нефтепродуктами, кроме участков вдоль автотрассы Алушта – Симферополь (маршрут 1) (рис. 3). Для Алушты наибольшие значения концентраций нефтепродуктов (4750 мг/кг) представлены на маршруте 1, вблизи нагруженной трассы Алушта – Симферополь и прилегающих поселков Лаванда, Верхняя и Нижняя Кутузовка.

В других точках автотрассы содержание нефтепродуктов в почвах составляет 1600 и 2000 мг/кг (низкий уровень). Медианное содержание нефтепродуктов в почвах вдоль автотрассы превышает фоновое в девять раз. Объясняется это большим количеством транспорта, проходящего через район. Концентрация нефтепродуктов на точках маршрута 2, отличающегося менее интенсивным трафиком, значительно меньше (5–350 мг/кг). На урбанизированной территории содержание нефтепродуктов находится в пределах допустимого (20–630 мг/кг), но в одной точке превышает фоновое значение в два раза.

В почвах Судака отмечается превышение фоновых значений пяти элементов (Mn, Cu, Zn, Pb, V) (табл. 3). Повышенное содержание Mn и Cu,

Т а б л и ц а 3. Содержание ТММ и нефтепродуктов в почвах г. Судака и сопредельных территорий

T a b l e 3. Contents of heavy metals, metalloids and petroleum products in soils of Sudak and adjacent areas

Вещество / Substance	C_f , мг/кг / C_f , mg/kg	Город / Town		Маршрут 1 / Route 1		Маршрут 2 / Route 2	
		K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c	K_{cp} , мг/кг / C_{avg} , mg/kg	C_c / C_c
Mn	193.0	532.2	2.8	517.0	2.7	617.7	3.2
Cu	17.0	40.4	2.4	39.0	2.3	30.3	1.8
Zn	53.0	118.2	2.2	97.3	1.8	76.3	1.4
Pb	16.0	30.2	1.9	29.3	1.8	26.7	1.7
V	40.0	58.4	1.5	66.7	1.7	54.7	1.4
Ni	55.0	65.4	1.2	71.3	1.3	66.3	1.2
Fe	24 206.0	26 387.6	1.1	28 824.3	1.2	20 722.7	0.9
As	11.6	12.0	1.0	12.9	1.1	12.6	1.1
Cr	65.0	60.0	0.9	72.7	1.1	56.3	0.9
Sr	227.0	204.2	0.9	201.3	0.9	159.0	0.7
НП / PP	35.0	243.4	7.0	251.7	7.1	33.0	0.9

Примечание: C_f – фоновое содержание химического элемента; K_{cp} – среднее содержание химического элемента или медианное содержание нефтепродуктов; C_c – коэффициент концентрации; НП – нефтепродукты. Жирным выделено значимое превышение фонового содержания химического элемента или медианного содержания нефтепродуктов.

Note: C_f – background concentration; C_{avg} – average concentration or median concentration of petroleum products; C_c – concentration coefficient; PP – petroleum products. Figures in bold show a significant exceedance over the background content of a chemical element or the median content of petroleum products.

вероятно, связано с сельскохозяйственной деятельностью. На склоне г. Лысой, расположенной к западу от города, вблизи земель сельскохозяйственного назначения отмечается скачок концентрации Mn.

Источниками Cu, Zn, Pb в Судак, как и в других городах ЮБК, является автотранспорт и объекты теплоэнергетики. В целом концентрации элементов невысокие по сравнению с концентрациями в Ялте и Алуште. Приоритетными загрязнителями для Судака являются Mn, Cu, Zn, Pb, на которые приходится до 60 % массы определяемых химических элементов. Концентрации приоритетных элементов на пригородной и городской территории Судака различаются незначительно. На г. Лысой на маршруте 2 заметно увеличение доли Mn – до 40 %.

Пробы, отобранные на территории Судака, содержат от 5 до 1125 мг/кг нефтепродуктов, что соответствует допустимому и низкому уровню загрязнения почв. В Судак концентрации нефтепродуктов значительно ниже, чем в других рассмотренных городах. Это может быть связано с некоторой изолированностью города от основных крымских автотрасс и барьерной ролью гор, защищающих застройку от влияния северных ветров. Медианное значение концентрации нефтепродуктов в Судак очень низкое и составляет 35 мг/кг.

Максимальная концентрация нефтепродуктов (1125 мг/кг) отмечается в центре Судака между двумя главными дорогами с интенсивным внутригородским и транзитным движением (рис. 4). Уровень загрязнения в данной точке,

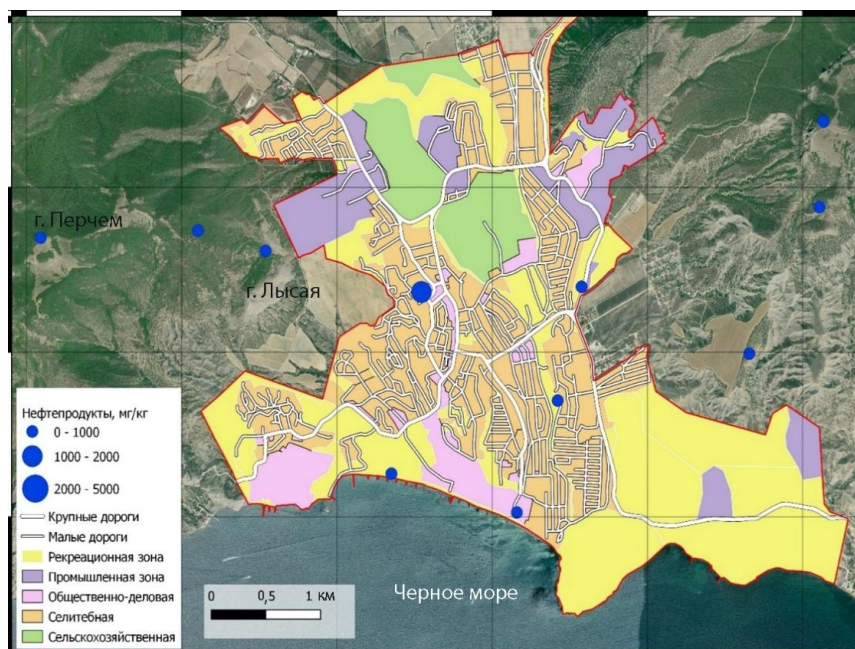


Рис. 4. Содержание нефтепродуктов в почвах Судака и прилегающих горных ландшафтов

Fig. 4. Petroleum product content in the soils of Sudak and adjacent mountain landscapes

расположенной в селитебной зоне, можно отнести к низкому. При сравнении с медианным значением заметно существенное увеличение уровня загрязнения – в городе и на маршруте 1 содержание нефтепродуктов в 7 и 7.1 раза выше фонового.

Рассчитанный суммарный коэффициент загрязнения почв Судака Z_c равен 6.93, что также говорит о низком уровне загрязнения.

Заключение

Оценка загрязнения почв трех курортных городов ЮБК – Ялты, Алушты, Судака – тяжелыми металлами и нефтепродуктами позволила сделать следующие выводы.

В почвах селитебных зон трех рассмотренных городов отмечается превышение концентраций Pb и Zn. В Ялте их максимальные концентрации превышены относительно фона в 3.5–4 раза. Кроме того, в почвах курортных городов ЮБК активно аккумулируются Cu, Sr, Mn, V. Число загрязнителей почв выше в Судаке, где накапливаются пять элементов (Mn, Cu, Zn, Pb, V).

В почвах пригородных районов ЮБК возле автодорог накапливаются Pb, Zn, Cu, Sr, Mn, V. Содержание нефтепродуктов в почвах на порядок выше вдоль крупных загородных автотрасс по сравнению с городской чертой.

Главным источником тяжелых металлов и металлоидов, а также нефтепродуктов в исследуемых городах является автотранспорт. Его влияние увеличивается в летний сезон с притоком отдыхающих – их число достигло 9.39 млн человек, при этом 41 % из них посещали ЮБК. Другим источником загрязнения выступают объекты теплоэнергетики, печи в малоэтажной застройке.

Рассчитанный суммарный показатель загрязнения Z_c для Ялты, Алушты и Судака не превышает 6.93, что свидетельствует о сравнительно низком уровне загрязнения почв исследуемых городов.

Результаты исследования могут быть использованы в экологическом мониторинге при формировании региональной экологической политики в курортных городах и решения проблемы загрязнения почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубева Е. И., Каширина Е. С., Новиков А. А. Региональная система особо охраняемых природных территорий Крыма: структура и геоэкологические проблемы // Известия Русского географического общества. 2025. Т. 157, № 1. С. 28–43. EDN LIWFPE. <https://doi.org/10.7868/S3034538325010033>
2. Mikhailenko A. V., Ruban D. A., Ermolaev V. A., van Loon A. J. (Tom). Cadmium pollution in the tourism environment: A literature review // Geosciences. 2020. Vol. 10, iss. 6. 242. <https://doi.org/10.3390/geosciences10060242>
3. Алексеенко В. А., Пузанов А. В., Алексеенко А. В., Швыдка Н. В. О некоторых эколого-геохимических особенностях почв курортов Канарских островов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (147). С. 72–83. EDN XSHINZ.
4. Помеляйко И. С. Эколого-геохимическое ранжирование селитебных зон ряда курортных и промышленных городов РФ по трем оценочным показателям загрязнения почв // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2017. № 1. С. 28–39. EDN XQRZJJ.

5. *Помеляйко И. С.* Концентрация ряда веществ 1-2 класса опасности и долгоживущих техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в природных средах городов-курортов конурбации Кавказских минеральных вод // Недропользование XXI век. 2018. № 5. С. 142–151. EDN WWDBQC.
6. *Gupta V., Bisht L., Deep A., Gautam S.* Spatial distribution, pollution levels, and risk assessment of potentially toxic metals in road dust from major tourist city, Dehradun, Uttarakhand India // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 2022. Vol. 36, iss. 10. P. 3517–3533. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02207-0>
7. *Ciarkowska K.* Assessment of heavy metal pollution risks and enzyme activity of meadow soils in urban area under tourism load: A case study from Zakopane (Poland) // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25, iss. 14. P. 13709–13718. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1589-y>
8. *Díaz Rizo O., Buzón González F., López J. O. A., Denis Alpízar O.* Heavy metal levels in dune sands from Matanzas urban resorts and Varadero beach (Cuba): Assessment of contamination and ecological risks // Marine Pollution Bulletin. 2015. Vol. 101, iss. 2. P. 961–964. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.025>
9. *Сухачева Е. Ю., Ревина Я. С.* Цифровая почвенная карта южного берега Крыма // Почвоведение. 2020. № 4. С. 389–397. EDN OQRQSG. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20040140>
10. *Neaman A., Schoffer J. T., Navarro-Villarroel C., Pelosi C. et al.* Copper contamination in agricultural soils: A review of the effects of climate, soil properties, and prolonged copper pesticide application in vineyards and orchards // Plant, Soil and Environment. 2024. Vol. 70, iss. 7. P. 407–417. <https://doi.org/10.17221/501/2023-PSE>
11. *Габечая В. В., Андреева И. В., Морев Д. В.* Эколого-геохимическая оценка накопления и миграции тяжелых металлов в почве разновозрастных виноградников интенсивного типа в условиях эродированного ландшафта Южнобережной зоны Крыма // АгроЭкоИнфо : Электронный научно-производственный журнал. 2024. № 6. 16. EDN TXNEAY. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/6/st_613.pdf (дата обращения: 20.01.2026).
12. *Лисецкий Ф. Н., Зеленская Е. Я.* Различия в содержании тяжелых металлов в почвах Южного берега Крыма (пространственно-временной анализ) // Экосистемы. 2023. № 34. С. 81–91. EDN OREEJL.
13. *Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С. и др.* Геохимия окружающей среды. Москва : Недра, 1990. 335 с.
14. *Vetrova N. M., Ivanenko T. A., Sadykova G. E., Sudjeva D. V.* On the assessment of the environmental ecological state in coastal cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID-2020) – Part 1, 26–30 September 2020, Nalchik, Russian Federation. IOP Publishing, 2020. Vol. 913, iss. 5 “Mechanics of a deformable solid”. 052035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/5/052035>
15. *Bezberdaya L., Kosheleva N., Chernitsova O., Lychagin M. et al.* Pollution level, partition and spatial distribution of benzo(a)pyrene in urban soils, road dust and their PM10 fraction of health-resorts (Alushta, Yalta) and industrial (Sebastopol) cities of Crimea // Water. 2022. Vol. 14, iss. 4. 561. <https://doi.org/10.3390/w14040561>
16. *Bezberdaya L., Chernitsova O., Lychagin M., Aseeva E. et al.* Pollution of a Black sea coastal city: potentially toxic elements in urban soils, road dust, and their PM10 fractions // Journal of Soils and Sediments. 2024. Vol. 24, iss. 10. P. 3485–3506. <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03893-9>

17. *Касимов Н. С., Безбердая Л. А., Власов Д. В., Лычагин М. Ю.* Металлы, металлоиды и бенз(а)пирен в микрочастицах почв и дорожной пыли Алушты // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1524–1538. EDN CNNRNC. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120062>
18. *Каширина Е. С., Медведков А. А., Новиков А. А.* Оценка состояния приземного атмосферного воздуха в юго-западном Крыму по данным лишеноиндикации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 8. С. 126–138. EDN EKWADQ. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/8/3229>
19. *Безбердая Л. А., Касимов Н. С.* Уровни накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах, дорожной пыли и их фракциях PM10 в Ялте // Проблемы экоинформатики. Материалы XV Международного симпозиума / под ред. Ф. А. Мкртчяна. Москва : МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2022. С. 189–193. EDN PQJРСК.

Поступила 19.09.2025 г.; одобрена после рецензирования 25.10.2025 г.; принята к публикации 18.12.2025 г.; опубликована 31.03.2026 г.

Об авторах:

Бараненко Анастасия Вячеславовна, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (199011, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1), магистр, **IstinaResearcherID (IRID): 232201591**, evpanetka@mail.ru

Голубева Елена Ильинична, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (199011, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1), доктор биологических наук, **ORCID ID: 0000-0001-9595-5974**, **Scopus Author ID: 16546135000**, **ResearcherID: L-7520-2015**, **SPIN-код: 7850-3557**, egolubeva@gmail.com

Каширина Екатерина Сергеевна, старший научный сотрудник, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (299011, Россия, г. Севастополь, пр. Нахимова, д. 2), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0002-8808-3255**, **Scopus Author ID: 57204474315**, **ResearcherID: 3668033**, **SPIN-код: 6681-0949**, e_katerina.05@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Бараненко Анастасия Вячеславовна – сбор информации для исследования, обработка, анализ и описание результатов исследования

Голубева Елена Ильинична – постановка проблемы, обсуждение результатов, коррекция текста статьи

Каширина Екатерина Сергеевна – обсуждение результатов, подготовка текста статьи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.