

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТЧЕТ

Наименование грантового проекта: «Потенциально токсичные вещества в почвах и дорожной пыли промышленных городов Азово-Черноморского побережья (Продолжение)».

Грантополучатель: Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Географический факультет).

ОГРН: 1037700258694

ИНН 7729082090

КПП 772945003

Юридический адрес: 119234, г.Москва, ул. Ленинские горы, д.1.

Фактический адрес: 119234, г.Москва, ул. Ленинские горы, д.1.

Декан факультета – академик РАН С.А.Добролюбов.

Отчет о реализации проекта за период с «20» июня 2023 г. по «19» июня 2024 г., осуществленного за счет средств, полученных от Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» в рамках гранта по Договору 01/2023-И о предоставлении гранта от «22» июня 2023 г.

Научная новизна проекта (согласно ТЗ проекта):

В последние годы побережье Черного и Азовского морей испытывает существенное антропогенное воздействие, обусловленное высоким уровнем урбанизации, повышенным рекреационным использованием и сельскохозяйственной деятельностью, что вызывает необходимость изучения экологического состояния приморских городов в регионе. К числу наиболее крупных по площади и численности населения приморских городов Крыма и Восточного Приазовья относят Керчь и Таганрог, которые являются промышленными центрами. Таганрог – один из основных торговых портов Азовского моря, производственный и курортный центр, входящий в сотню крупнейших городов России (Урбаника, 2019). В период наиболее интенсивной индустриализации основными отраслями промышленности города являлись черная металлургия и машиностроение. В настоящее время Таганрог входит в число наиболее загрязненных городов Ростовской области, для которого характерен ряд экологических проблем: загрязнение подземных вод, высокое содержание углеводородов и диоксидов азота в атмосферном воздухе, свинца и кадмия в почвах (Экологический вестник Дона, 2021). Высокие запасы железных руд и флюсовых известняков на Восточном побережье Крымского полуострова определили функционирование в Керчи предприятий по выплавке чугуна и металлообработки. Основу промышленности города составляют металлургия, судостроение и судоремонт. К числу важнейших источников загрязнения обоих городов относится автотранспорт, в том числе транзитный. Керчь и Таганрог являются транспортными узлами, где широко развит железнодорожный, автомобильный, морской и воздушный транспорт, в совокупности поставляющий в атмосферный воздух более половины выбросов от их суммарного объема (Доклад..., 2019). Строительство Крымского моста через Керченский пролив в два раза увеличило поток отдыхающих, из которых около 60% используют личный транспорт. Таганрог из-за расположения в наиболее развитой сельскохозяйственной части юга России является одним из крупнейших промышленно-транспортных узлов, выполняя функцию главного транспортного морского узла с зерновыми перевалочными терминалами. Значительный вклад в загрязнение обоих городов также вносят предприятия теплоэнергетического комплекса, пищевой промышленности, строительных материалов, свалки и твердые отходы, коммунальные, бытовые и промышленные стоки, которые сбрасываются в Черное и Азовское море. Несмотря на то, что в последние десятилетия значительная часть предприятий и производственных площадок в Керчи и Таганроге закрыты, они сохраняют свое значение в качестве промышленных центров Азово-Черноморского побережья.

Во многих городах в результате воздействия промышленности и автотранспорта происходит увеличение концентраций взвешенных частиц (PM – particulate matter) в атмосферном воздухе, различающихся по генезису, размеру и химическому составу. Мелкодисперсные частицы с диаметром менее 10 мкм (PM10, цифровой индекс показывает

максимальный диаметр анализируемых частиц), которые состоят из наиболее тонких фракций ила (диаметром 0,001 мм и менее), мелкой и средней пыли (0,01 мм и менее), представляют повышенный интерес из-за высокой сорбционной емкости по отношению ко многим поллютантам и повышенной миграционной активности. Эти частицы способны задерживаться в воздухе продолжительное время и переноситься на дальние расстояния (Seinfeld, Pandis, 2006), представляя серьезную угрозу для здоровья населения (Tager, 2005; Фонова, 2017; Ревич, 2018). При выпадении из атмосферы микрочастицы накапливаются в почвах и дорожной пыли, что существенно ухудшает экологическое состояние наземных и аквальных ландшафтов. С другой стороны, они могут выдвигаться из почв и дорожной пыли, которые в этом случае выступают в качестве источников вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы.

В урбанизированных районах почвы поглощают различные поллютанты в течение длительного времени, что позволяет использовать их в качестве геохимического индикатора многолетнего загрязнения не только почвенного покрова, но и всей городской среды (Экогеохимия..., 1995; Касимов и др., 2014). Дорожная пыль является информативным объектом эколого-геохимического мониторинга городов, химический состав которой более динамичен по сравнению с почвами и отражает сезонное поступление поллютантов (Acosta et al., 2009; Власов и др., 2015; Trujillo-Gonzalez et al., 2016; Jayarathne et al., 2017; Yang et al., 2017; Kasimov et al., 2020; Vlasov et al., 2021). Изучение химического состава почв, дорожной пыли и их микрочастиц PM₁₀ важно с экологической точки зрения из-за обогащения многими поллютантами, в том числе тяжелыми металлами, металлоидами (ТММ) и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), которые подлежат обязательному нормированию и контролю как в России (СанПиН 2.1.3684-21, 2021), так и в международной практике (BBodSchV, 2020; Appendix A, 2022; CEQGs ..., 2022).

Несмотря на то, что анализ гранулометрических фракций (G-анализ) почв и дорожной пыли показал свою эффективность для оценки вклада частиц определенной размерности в загрязнение урбанизированных территорий (Ajmone-Marsan et al., 2008; Amato et al., 2011; Luo et al., 2011; Kong et al., 2012; Padoan et al., 2017; Lanzerstorfer, 2018; Zhang et al., 2019; Bezberdaya et al., 2022; Vlasov et al., 2021), исследований накопления поллютантов в микрочастицах почв и дорожной пыли в мире проводится недостаточно. В России такие работы единичны (Власов и др., 2015; Селезнев, 2018; Bezberdaya et al., 2022; Vlasov et al., 2021, 2023). Чаще всего приводятся сведения о содержании поллютантов преимущественно в общей массе пробы без выделения отдельных гранулометрических фракций, то есть без изучения фракционной структуры поллютантов. В этой связи чрезвычайно важно изучить особенности накопления и источников ТММ и ПАУ в почвах, дорожной пыли и их микрочастицах PM₁₀, а также провести интегральную эколого-геохимическую оценку состава микрочастиц и их вклада в загрязнение городов. Города Керчь и Таганрог различаются специализацией источников загрязнения, численностью населения, природными и ландшафтными условиями, влияющими на формирование техногенных геохимических аномалий. Сравнительная оценка состояния городов даст возможность оценить вклад и значение антропогенных источников потенциально токсичных веществ в загрязнение городских почв и дорожной пыли. Для надежной оценки состояния окружающей среды и ее опасности для горожан и туристов будет проведена количественная оценка экологического риска, связанного с накоплением потенциально-токсичных веществ в микрочастицах компонентов окружающей среды.

Проект является продолжением исследований, проводимых в Керчи и Таганроге в 2021-2022 гг. В августе-сентябре 2021 г. членами научного коллектива в рамках экспедиции Русского географического общества проводились полевые работы на территории Керчи и Таганрога, во время которых были отобраны пробы почв и дорожной пыли, что позволило в первом приближении оценить распределение ТММ и ПАУ в этих компонентах. Эколого-геохимическое опробование почв и дорожной пыли осуществлялось на основе методических рекомендаций «Urban topsoil geochemical mapping manual» (Demetriades, Birke, 2015). Всего отобрано около 100 проб почв и 50 проб дорожной пыли – в Керчи и 50 проб почв и пыли – в Таганроге. В рамках предложенного проекта из отобранных в 2021 г. проб почв и дорожной пыли будут выделены наиболее мелкие и опасные частицы PM₁₀.

Социальная и/или экономическая значимость проекта (согласно ТЗ проекта):

В процессе выполнения работ по проекту ход его реализации будет освещаться в доступных СМИ, а также на сайте Русского географического общества. Предполагаются публикации в научных и научно-популярных изданиях, выступления с докладами по результатам исследований в рамках проекта на научных конференциях и форумах.

Впервые в рамках проекта будет получена информация об уровнях накопления и распределения потенциально токсичных веществ в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли гг. Керчи и Таганрога, что позволит провести детальную оценку качества городской среды.

Реализация проекта поможет совершенствованию и развитию научно-обоснованного контроля экологического состояния окружающей среды приморских городов и разработке мер, направленных на улучшение условий проживания городского населения и отдыхающих.

В работах по проекту запланировано участие студентов, аспирантов и молодых ученых, что будет способствовать популяризации географических знаний.

Цель (цели) проекта (согласно ТЗ проекта):

Комплексная эколого-геохимическая оценка состояния промышленных городов Азово-Черноморского побережья (Керчь, Таганрог) на основе анализа загрязнения микрочастиц почв и дорожной пыли тяжелыми металлами, металлоидами (ТММ) и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ).

Задачи проекта (согласно ТЗ проекта):

1. Определение уровней накопления ТММ и ПАУ в микрочастицах PM10 дорожной пыли и почв Керчи и Таганрога с учетом функционального зонирования территорий и крупности дорог.
2. Сопреженный геохимический анализ состава микрочастиц PM10 в системе «дорожная пыль – почва» с определением парагенетических ассоциаций элементов (парагенезисов).
3. Оценка вклада микрочастиц PM10 в общее загрязнение почв и дорожной пыли.
4. Выявление природных и антропогенных источников поллютантов с помощью статистических методов, оценка вклада каждого источника в общее загрязнение города.
5. Оценка экологического риска, связанного с накоплением поллютантов в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли.
6. Проведение интегральной сравнительной эколого-геохимической оценки загрязнения Керчи и Таганрога.

I. Мероприятия и работы, выполненные в рамках проекта:

Лабораторный						
Плановый срок реализации:	20.06.2023–19.12.2023					
Фактический срок реализации:	20.06.2023–18.12.2023					
Место:	г. Москва, г. Ростов-на-Дону					
Работы в рамках этапа:	1. Выделение микрочастиц PM10 в образцах городских почв, фоновых почв и дорожной пыли методом центрифугирования.					
	2. Анализ содержания ТММ в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога методом ICP-MS, ICP-AES.					
	3. Определение содержания ПАУ в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога.					
	<table> <tr> <td>Ответственные лица:</td><td>Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, С.Н.Сушкова</td></tr> <tr> <td>Участники:</td><td>Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю. Константинова</td></tr> <tr> <td>Партнеры:</td><td>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ВИМС), Аналитический сертификационный испытательный центр</td></tr> </table>	Ответственные лица:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, С.Н.Сушкова	Участники:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю. Константинова	Партнеры:
Ответственные лица:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, С.Н.Сушкова					
Участники:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю. Константинова					
Партнеры:	Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ВИМС), Аналитический сертификационный испытательный центр					

		– АСИЦ.
	Результаты работ:	
	Даты работ или мероприятий:	
Задачи проекта, решенные в ходе работ или мероприятий этапа:	1. Получены пробы микрочастиц PM10 почв и дорожной пыли, которые были выделены из всех отобранных образцов, для дальнейшего анализа содержаний в них ТММ и ПАУ. 2. Проведен анализ содержания тяжелых металлов и металлоидов в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога методом ICP-MS (ICP-AES). 3. Проведен анализ содержания полициклических ароматических углеводородов в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога на высокоэффективном гибридном масс-спектрометре с ВЭЖХ системой.	
Примечания:		
Интерпретация результатов		
Плановый срок реализации:	20.12.2023–19.04.2024	
Фактический срок реализации:	19.12.2023–18.04.2024	
Место:	г. Москва, г. Ростов-на-Дону	
Работы в рамках этапа:	1. Анализ уровней накопления и особенностей пространственного распределения ТММ и ПАУ в микрочастицах PM10 дорожной пыли и почв Керчи и Таганрога с помощью геохимических и санитарно-гигиенических показателей. 2. Сопряженный анализ состава микрочастиц PM10 в системе «дорожная пыль – почва» с определением парагенетических ассоциаций элементов. 3. Анализ гранулометрического фракционирования ТММ и ПАУ в почвах и дорожной пыли Керчи и Таганрога. 4. Выявление источников поллютантов с помощью статистических методов. 5. Интегральная сравнительная эколого-геохимическая оценка загрязнения Керчи и Таганрога. 6. Оценка экологического риска, связанного с накоплением поллютантов в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли, опасных для здоровья населения.	
	Ответственные лица:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, Т.М.Минкина
	Участники:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, О.В. Черницова, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю. Константинова
	Партнеры:	
	Результаты работ:	
	Даты работ или мероприятий:	
Задачи проекта, решенные в ходе работ или мероприятий этапа:	1. Проведена характеристика и оценка загрязнения микрочастиц PM10 дорожной пыли и почв Керчи и Таганрога. Составлены эколого-геохимические карты распределения загрязнителей на территории Керчи и Таганрога. 2. Определены парагенетические ассоциации и парагенезисы поллютантов, одновременно поступающие в почву, дорожную пыль и микрочастицы PM10 почв и пыли от единого источника. 3. Проведена оценка вклада микрочастиц PM10 в общее загрязнение почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога. 4. Определены природные и антропогенные источники поступления	

	поллютантов. 5. Проведена сравнительная характеристика загрязнения Керчи и Таганрога. Составлены эколого-геохимические портреты двух городов. 6. Проведена оценка экологического риска, связанного с загрязнением микрочастиц PM10, для здоровья населения.										
Примечания:											
Завершающий											
Плановый срок реализации:	20.04.2024–19.06.2024										
Фактический срок реализации:	19.04.2024–18.06.2024										
Место:	г. Москва, г. Ростов-на-Дону.										
Работы в рамках этапа:	1. Подготовка научных публикаций. 2. Подготовка научного отчета. 3. Подготовка информационного отчета. 4. Подготовка презентации для РГО. <table border="1"> <tr> <td>Ответственные лица:</td><td>Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, Т.М.Минкина</td></tr> <tr> <td>Участники:</td><td>Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, О.В.Черницова, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю.Константинова</td></tr> <tr> <td>Партнеры:</td><td></td></tr> <tr> <td>Результаты работ:</td><td></td></tr> <tr> <td>Даты работ или мероприятий:</td><td></td></tr> </table>	Ответственные лица:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, Т.М.Минкина	Участники:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, О.В.Черницова, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю.Константинова	Партнеры:		Результаты работ:		Даты работ или мероприятий:	
Ответственные лица:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, Т.М.Минкина										
Участники:	Л.А.Безбердая, М.Ю.Лычагин, А.Н.Ткаченко, О.В.Черницова, А.Ю.Тришин, Д.В.Котов, А.С.Хребтенко, Т.М.Минкина, Д.Г.Невидомская, С.Н.Сушкова, Е.Ю.Константинова										
Партнеры:											
Результаты работ:											
Даты работ или мероприятий:											
Задачи проекта, решенные в ходе работ или мероприятий этапа:	1. Подготовлена к печати 1 научная статья со ссылкой на проект. 2. Подготовлен научный отчет. 3. Подготовлен информационный отчет. 4. Подготовлена презентация проекта для РГО.										
Примечания:											

II. Анализ результатов осуществления проекта:

II.1. Анализ соответствия проекта уставным Целям и Задачам Русского географического общества:

Проект полностью соответствует уставным целям и задачам Русского географического общества. Проводилась работа по популяризации географии, природоохранной, образовательной, исследовательской и экологической деятельности для реализации потенциала страны, привлечению молодежи к научному творчеству в области географии и смежных отраслей знаний. Выполнялись следующие уставные задачи РГО: получение, анализ и распространение достоверных географических и экологических сведений в России; содействие развитию географии и смежных наук о природе и обществе, научному творчеству, распространению и внедрению в практику достижений отечественной науки; содействие в улучшении качества географического и экологического образования. Лабораторные и камеральные работы проводились при участии молодых ученых, аспирантов, студентов МГУ имени М.В.Ломоносова и Южного федерального университета.

II.2. Анализ хода реализации и достижения целей проекта:

Методы и подходы:

В пробах почв и дорожной пыли выделены микрочастицы PM10, изучен их химический состав. Эколого-геохимическая оценка загрязнения микрочастиц PM10 почв и дорожной пыли проведена на основе данных о содержании наиболее опасных органических загрязнителей –

ПАУ, а также широкого спектра ТММ, благодаря их определению на сверхточном оборудовании сертифицированной международной лаборатории ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ВИМС) методами масс-спектропии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS, ICP-AES). ПАУ определялись в лаборатории Южного федерального университета на высокоэффективном гибридном масс-спектрометре на базе тройного квадрупольного с линейной ионной ловушкой LC/MS/MS (3200 modelQTrap, ABSciex, Singapore, 2015) с ВЭЖХ системой с диодноматричным детектированием (Agilent Model 1260, США, 2015).

Обработка полученных данных проведена с использованием комплекса геохимических и санитарно-гигиенических показателей. Для выявления уровней загрязнения микрочастиц PM10 почв и дорожной пыли в различных функциональных зонах и на разных типах дорог рассчитаны коэффициенты (K_c) и кларки (K_K) концентрации путем сравнения содержаний химических элементов с фоновыми уровнями и кларками верхней части земной коры. В отношении органических поллютантов для определения загрязнения микрочастиц почв и пыли в качестве эталона будут использованы данные о среднем содержании ПАУ в почвах умеренного пояса (Wilcke, 2000). Суммарное загрязнение компонентов ландшафтов будет охарактеризовано с помощью суммарного показателя загрязнения (Z_c). При оценке степени экологической опасности загрязнения (K_o) содержания поллютантов будут сравниваться с их предельными допустимыми (ПДК) или ориентировочными допустимыми концентрациями (ОДК), разработанными для почв в целом. Также будут использованы и другие геохимические показатели (например, коэффициенты обогащения, соотношения химических элементов, суммарные показатели загрязнения геохимическими ассоциациями и т.д.).

На основе полученных данных охарактеризованы уровни накопления и пространственное распределение потенциально токсичных веществ в микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли. Изучены пространственные тренды загрязнения городской среды Керчи и Таганрога и особенности распределения поллютантов в различных функциональных зонах. Выявлены парагенезисы ТММ, поступающие от общих источников и одновременно накапливающиеся в обоих компонентах ландшафта. Определены источники поступления поллютантов в почвы и дорожную пыль с использованием метода главных компонент (РСА). Проведена сравнительная эколого-геохимическая оценка загрязнения Керчи и Таганрога. Проведена оценка опасности загрязнения микрочастиц для здоровья взрослых и детей на основе расчетов экологических рисков, учитывая различные пути поступления загрязненных поллютантами частиц в организмы (US EPA, 1989, 2002). Все полученные материалы объединены в геоинформационную систему, обеспечивающую сбор, обработку и хранение пространственных данных, что позволило создать различные тематические карты, характеризующие загрязнение микрочастиц почв и дорожной пыли ТММ и ПАУ.

Научные мероприятия:

Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2024», Москва, Россия, 18.04.2024 г. Котов Д.В. Загрязнение почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога тяжёлыми металлами и металлоидами (устный доклад).

Степень реализации рабочего плана:

Рабочий план проекта полностью выполнен.

Трудности:

Трудностей в ходе исследовательских работ по проекту не возникло.

Достаточность ресурсов:

Ресурсов, запланированных для реализации проекта, было достаточно.

II.3. Анализ эффективности проекта:

В результате реализации проекта получен научный, экологический и образовательный эффект. Получены новые данные об экологическом состоянии двух приморских городов России

на основе анализа загрязнения наиболее тонких и опасных микрочастиц PM10 почв и дорожной пыли, проведена оценка их экологического состояния с использованием современных методов исследования. В работах по проекту участвовали студенты, аспиранты и молодые ученые МГУ и ЮФУ, что, безусловно, способствовало популяризации географических знаний. Реализация проекта в целом поможет совершенствованию и развитию научно-обоснованного контроля экологического состояния окружающей среды приморских городов и разработке мер, направленных на улучшение условий проживания городского населения и отдыхающих.

II.4. Выводы:

Научные результаты:

1. По результатам анализа содержаний тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) определена геохимическая специализация наиболее опасных для здоровья человека микрочастиц PM10, выделенных из образцов городских почв и дорожной пыли г. Таганрога и г. Керчи. В число приоритетных ПАУ в частицах PM10 почв и пыли двух городов входят дибенз(a,h)антрацен (DBA), бенз(k)флуорантен (BkF), бенз(b)флуорантен (BbF), бенз(a)антрацен (BaA), бенз(a)пирен (BaP), бенз(g,h,i)перилен (BghiP). По мере увеличения суммарного содержания ПАУ в мелкодисперсных фракциях почв и пыли возрастает доля наиболее опасных высокомолекулярных соединений – FLT, PYR, BbF и BghiP. В PM10 почв Керчи относительно фоновых территорий наиболее сильно накапливается As-Sb-Cd-Pb ассоциация, что говорит о сильном влиянии бывшей металлургической промышленности и автотранспорта. Частицы PM10 почв Таганрога аккумулируют Cd-Zn-Pb-W ассоциацию, что связано с выбросами автотранспорта и местной промышленности. Частицы PM10 дорожной пыли Керчи обогащены Sb-Sr-Cd-Pb-As, а в Таганроге – W-Zn-Cd ассоциацией.

2. Анализ пространственного распределения загрязняющих веществ показал, что содержание ТММ и ПАУ в PM10 почв и пыли городов зависит от приуроченности к функциональным зонам и типам дорог. Значительное содержание всех изученных ПАУ во фракции PM10 почв и пыли Таганрога приурочено к крупному предприятию черной металлургии «Тагмет» и дорожной сети с высоким трафиком автотранспорта. Наиболее загрязнённые ТММ функциональные зоны в Керчи – жилые со среднеэтажной застройкой, в Таганроге – промышленные зоны. В микрочастицах PM10 пыли высокие концентрации ТММ приурочены к дорогам с большой автомобильной нагрузкой в Керчи и малым дворовым дорогам – в Таганроге.

3. Для почв, дорожной пыли и их фракции PM10 в Таганроге характерен W-Cd-Zn-Pb-Sn-Sb, а в Керчи – Zn-Sb-Cd-Pb единый техногенный парагенезис. Сходный уровень содержания ТММ во фракциях PM10 дорожной пыли и городских почв по доминирующему количеству элементов указывает на общность генезиса элементного состава тонкодисперсных фракций исследуемых объектов. Среди органических поллютантов для системы «почвы – PM10 почв – дорожная пыль – PM10 дорожной пыли» в Керчи образовался парагенезис PYR-ANT-BaP-NAP, а в Таганроге – DBA-BbF-BkF-BaA-BaP-BghiP-FLT-PYR-ANT.

4. Суммарное загрязнение ТММ частиц PM10 почв в Керчи и Таганроге характеризуется неопасным уровнем. Опасный и очень опасный уровень суммарного загрязнения частиц PM10 почв Таганрога ТММ и ПАУ приурочены к промышленно-складским зонам центрального, северного и северо-восточного районов города и расположены вблизи предприятий металлургии и металлообработки. Суммарное загрязнение PM10 дорожной пыли изменяется от низких, неопасных до высоких, опасных уровней преимущественно на малых дорогах.

5. На основе моделирования APCs / MLR выявлены источники поступления поллютантов. В Керчи основным фактором загрязнения частиц PM10 почв являются отходы Камыш-Бурунского железорудного комбината. В Таганроге большинство ТММ поступает с выбросами предприятий машиностроения. Среди источников поступления ТММ в почвы и пыль обоих городов выделяется автотранспорт, металлургия и почвообразующие породы.

6. Микрочастицы PM10 почв и дорожной пыли в Керчи и Таганроге являются главным носителем поллютантов. Относительно общего содержания в PM10 почв и дорожной пыли до 2-4 раз активнее накапливаются поллютанты. Тенденция увеличения концентраций многих загрязнителей в микрочастицах почв и пыли выявлена практически во всех точках опробования.

7. Потенциальное поступление ТММ и ПАУ в организм человека вместе с фракцией PM10 почв и дорожной пыли вызывает средние общетоксические риски для детей и низкие риски для взрослых в Таганроге. Канцерогенный риск соответствует низкому уровню в пределах приемлемого риска, подлежащего постоянному контролю. В почвах и дорожной пыли Керчи общетоксикологические риски также имеют большую опасность для детей и находятся на невысоком уровне. Канцерогенный риск соответствует среднему уровню. Наиболее опасным соединением, который способствует возникновению раковых заболеваний является бенз(а)пирен.

8. Сравнительная эколого-геохимическая оценка загрязнения микрочастиц PM10 почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога показала сходные спектры накапливающихся элементов, однако уровень и интенсивность загрязнения отличается. Промышленное воздействие в Керчи проявилось в более сильном многолетнем загрязнении микрочастиц PM10 почв по сравнению с Таганрогом. Наиболее высокие уровни накопления поллютантов в микрочастицах PM10 дорожной пыли выявлены в Таганроге, что указывает на приоритетную роль автотранспорта в современном загрязнении города.

Материальные результаты:

Подготовлена научная статья в журнале: Котов Д.В., Безбердая Л.А., Касимов Н.С. Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в почвах, дорожной пыли и их фракции PM10 в Керчи и Таганроге // Почвоведение. 2024.

Новые знания и технологии:

В рамках проекта решена важная для геохимии ландшафтов задача – определен фракционный состав ТММ в городских почвах и дорожной пыли, то есть изучено содержание элементов в наиболее мелких и экологически опасных микрочастицах PM10 почв и дорожной пыли. На основе анализа микрочастиц выполнена комплексная эколого-геохимическая оценка загрязнения рекреационно-промышленных городов Азово-Черноморского побережья – Керчи и Таганрога неорганическими (тяжелые металлы и металлоиды) и органическими (полициклические ароматические углеводороды) поллютантами. Сравнение геохимической специализации микрочастиц PM10 почв и пыли позволило получить достоверную и более детальную оценку загрязнения исследованных городов.

Практическое использование:

Полученные в рамках проекта результаты способствуют развитию научно-обоснованного контроля экологического состояния урбанизированных территорий и разработке мер, направленных на улучшение условий проживания городского населения и туристов. Показана необходимость проведения экологического мониторинга состояния окружающей среды городов с учетом анализа химического состава наиболее тонких и опасных микрочастиц. Материалы используются в ряде учебных курсов кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ.

III. Освещение деятельности по проекту в СМИ:

№	СМИ / сайт / портал	Ссылка	Заголовок	Дата
1	Ломоносов-2024	https://lomonosov.msu.ru/nus/event/t/9000/page/3925	Победители коференции «Ломоносов-2024» в подсекции «Экология и природопользование»	26.04.2024

IV. Научные публикации по проекту:

Статья «Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции PM10 в Керчи и Таганроге».

V. Приложения:

1. Научный отчет.

2. Электронная презентация проекта.
3. Печатная презентация проекта.
4. Научная статья, подготовленная к печати в журнал.

VI. Считаете ли Вы возможным и необходимым в дальнейшем самостоятельно продолжать работу в поддержанном Русским географическим обществом направлении?

Начатую работу возможно и необходимо продолжать в выбранном направлении.

VII. Пожелания:

Отсутствуют.

Подтверждаем, что все указанные в данном отчете сведения нами проверены и являются верными.