

Потенциально токсичные вещества в почвах и дорожной пыли промышленных городов Азово-Черноморского побережья (продолжение)

Грант Русского географического общества

Договор № 01/2023-И от 22.06.2023

Результаты исследования

Исполнитель проекта: МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Соисполнитель проекта: Южный федеральный университет

Руководитель проекта: Л.А. Безбердая, кандидат географических наук, младший научный сотрудник географического факультета МГУ

Цели и задачи

Цель 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

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. Сопряженный 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.

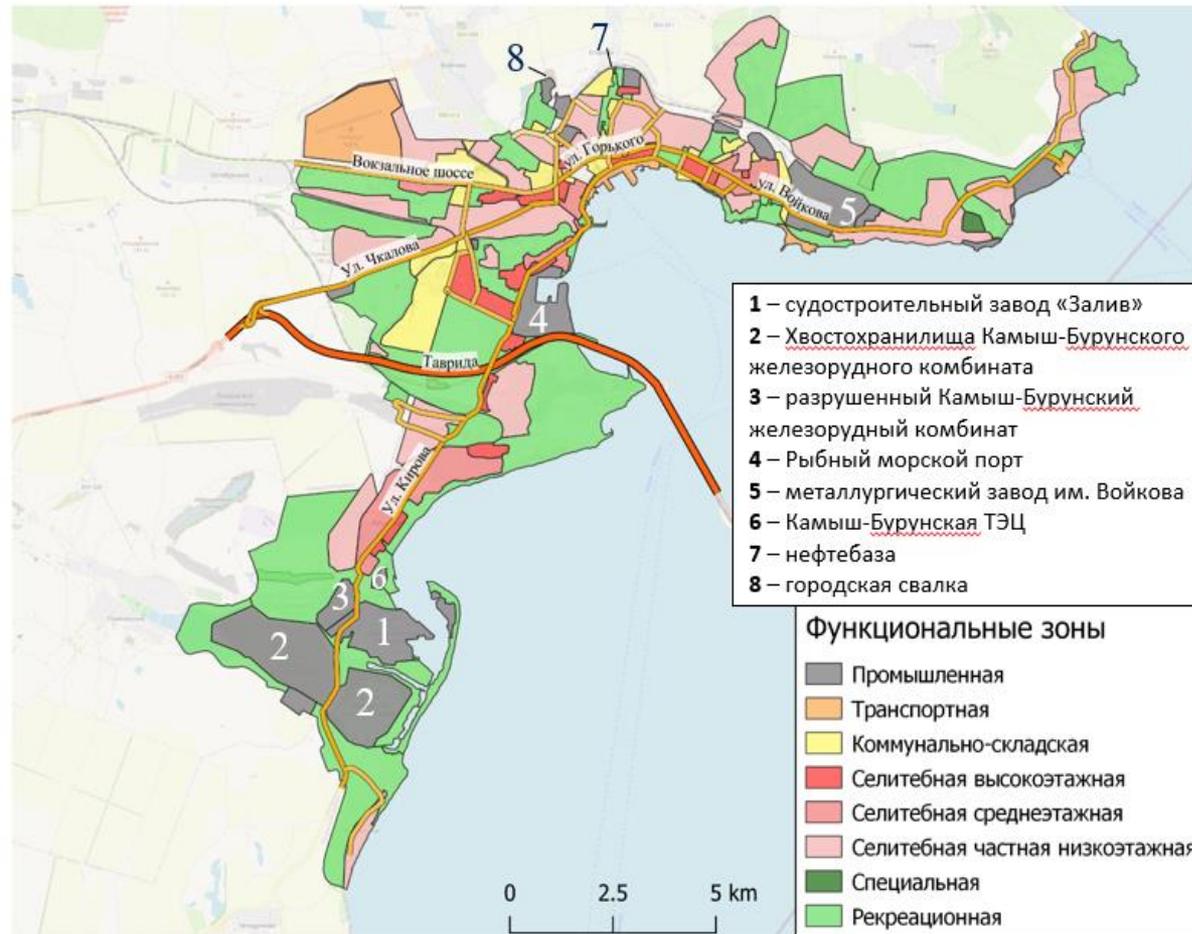
Актуальность и новизна

- 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.
- Среди приморских городов Крыма и Приазовья выделяются Керчь и Таганрог, которые являются промышленными центрами, важными морскими и торговыми портами. В Керчи располагаются предприятия судостроительной и сталелитейной промышленности, рыбного хозяйства, в Таганроге – металлургические и машиностроительные заводы, предприятия химической промышленности и авиастроения. Керчь и Таганрог – рекреационные города, на территории которых находится до 30 санаторно-курортных учреждений, привлекающих большое количество отдыхающих и туристов. Керчь и Таганрог – транспортные узлы в регионах с развитым железнодорожным, автомобильным, морским и воздушным транспортом. В совокупности транспорт составляет более половины выбросов от их суммарного объема, это важнейший источник загрязнения городов.
- Мелкодисперсные частицы с диаметром менее 10 мкм (PM10) 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, представляя серьезную угрозу для здоровья населения. 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.

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.

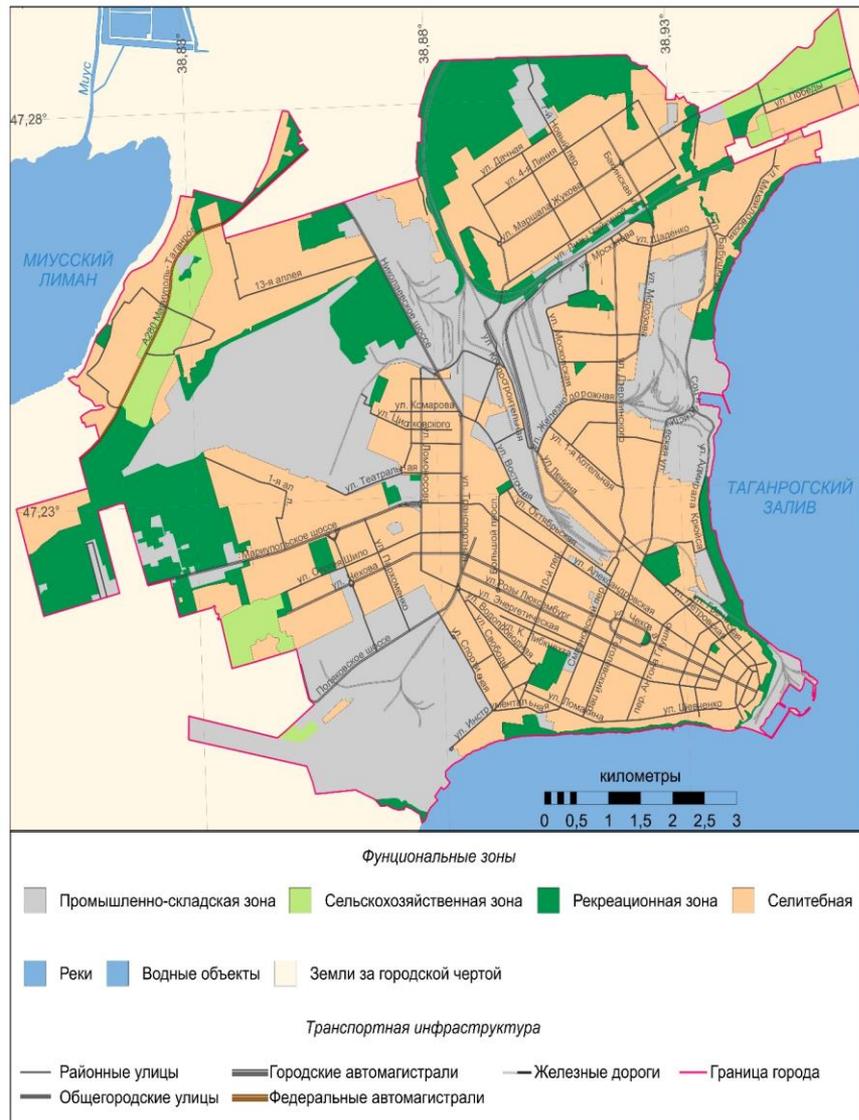
В рамках предложенного проекта из отобранных в 2021 г. проб почв и дорожной пыли будут выделены наиболее мелкие и опасные частицы PM10, проведена оценка уровней накопления в них ТММ и ПАУ, изучено пространственное распределение приоритетных поллютантов и связанных с их воздействием экологических и санитарно-эпидемиологических рисков.

Функциональное зонирование и потенциальные источники загрязнения в Керчи



Функциональные зоны. Селитебные: а – низкоэтажная, б – среднеэтажная, в – высокоэтажная; г – промышленная, д – коммунально-складская, е – транспортная, ж, з – рекреационная

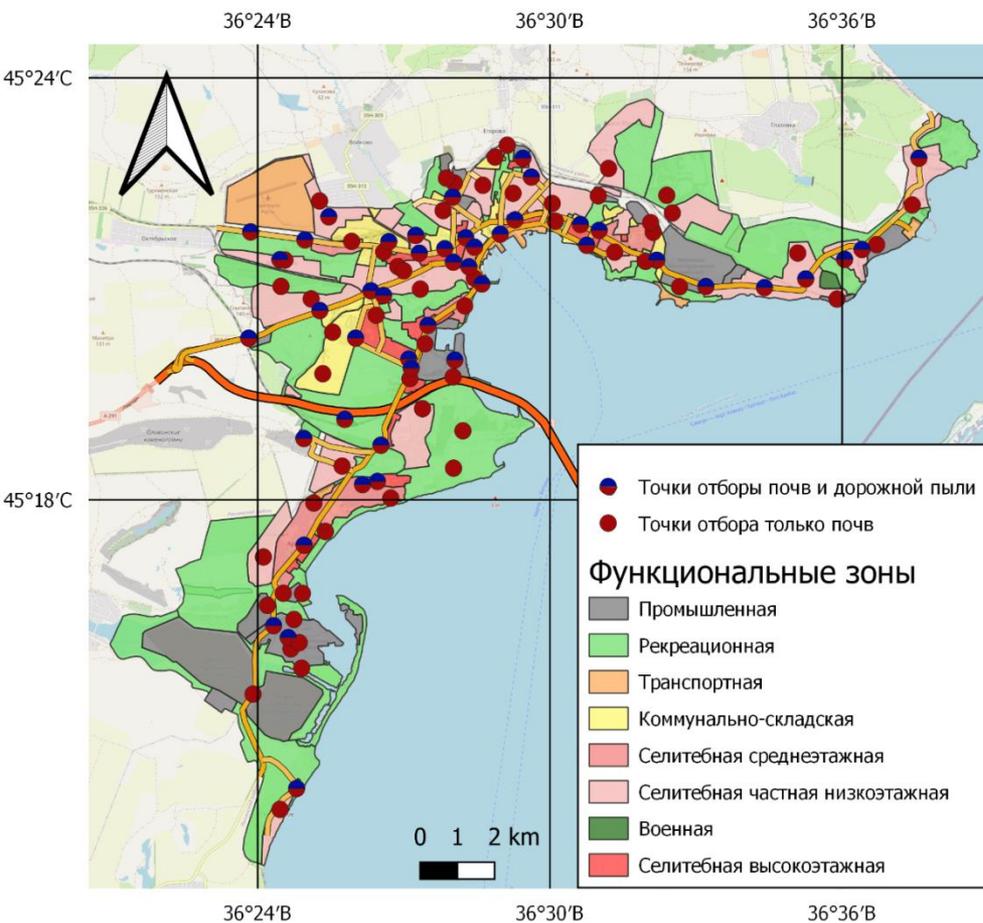
Функциональное зонирование и потенциальные источники загрязнения в Таганроге



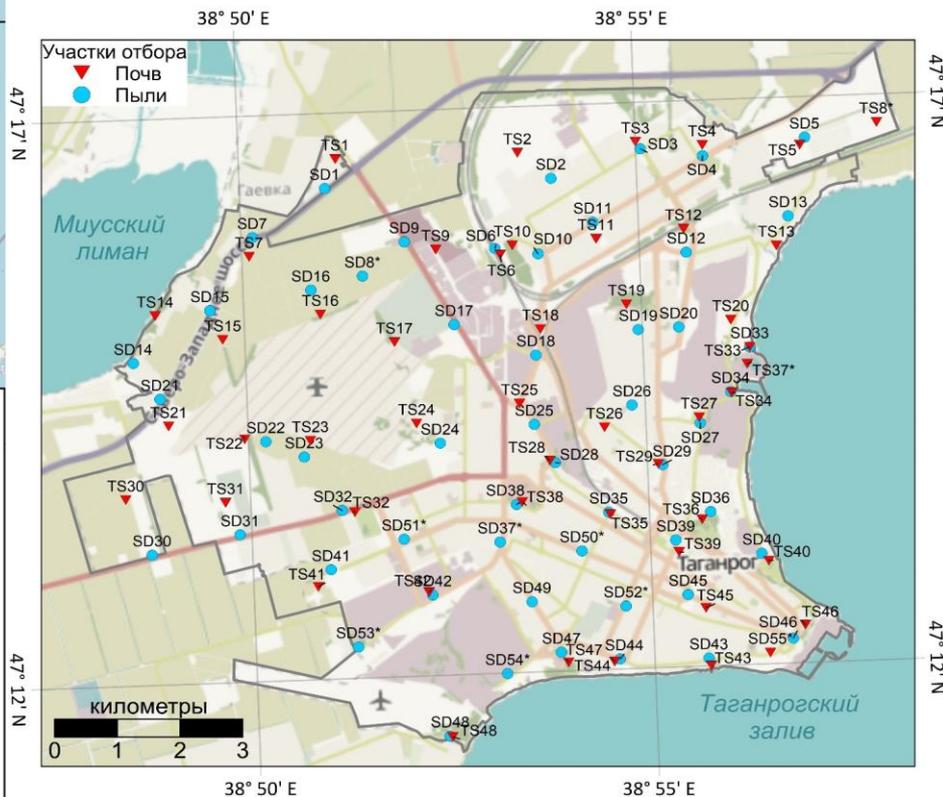
Карты фактического материала

- **Керчь:** сентябрь-октябрь 2021 г. – 99 проб городских почв, 18 проб фоновых почв, 51 проба дорожной пыли
- **Таганрог:** сентябрь-октябрь 2021 г. – 49 проб городских почв, 5 проб фоновых почв, 55 проб дорожной пыли

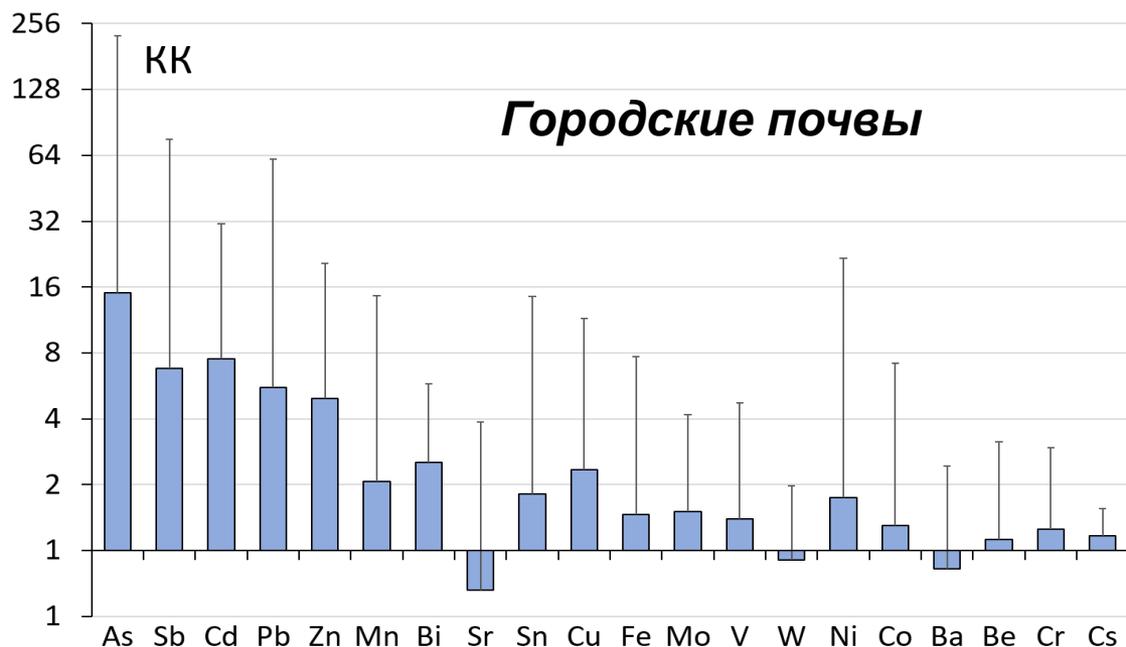
Керчь



Таганрог

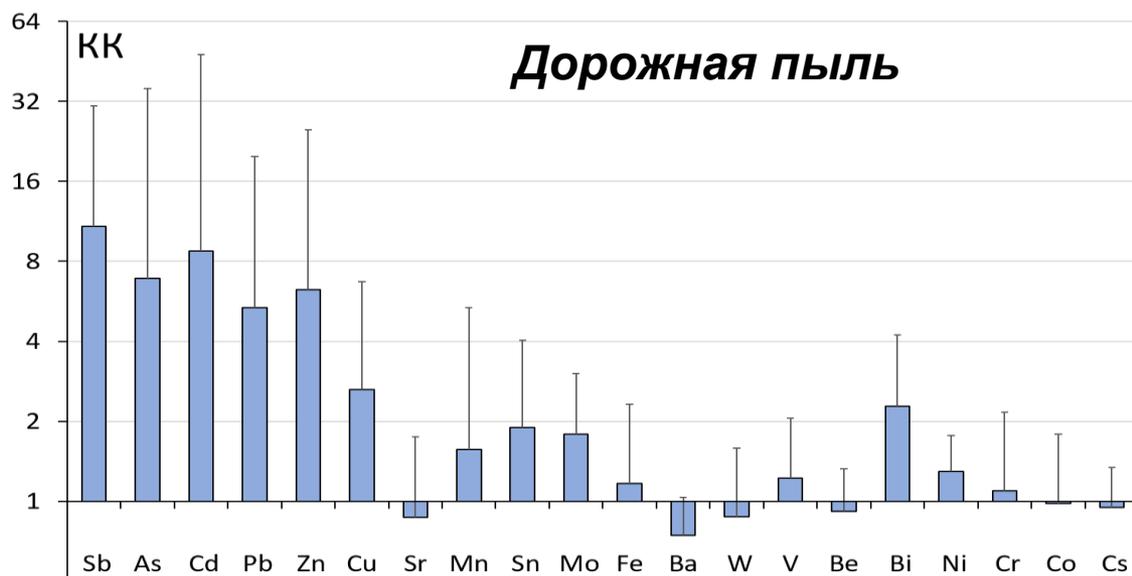


Уровни содержания ТММ в частицах РМ10 городских почв и дорожной пыли Керчи



Оценка уровней накопления ТММ в микрочастицах РМ10 городских почв и дорожной пыли Керчи проводилась путем сравнения содержаний ТММ с кларками верхней части земной коры (по Rudnick, Gao, 2014).

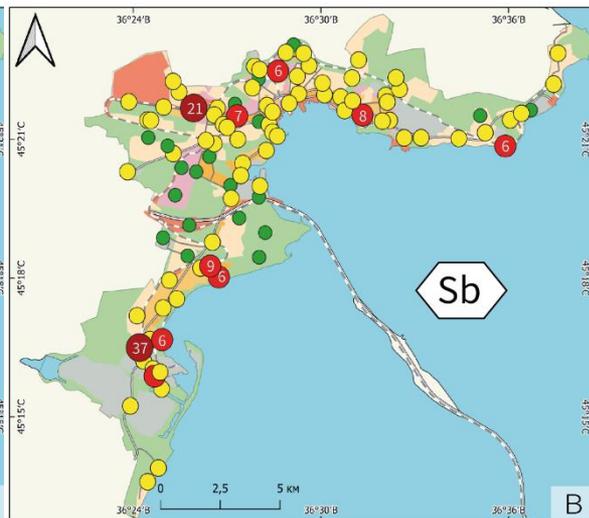
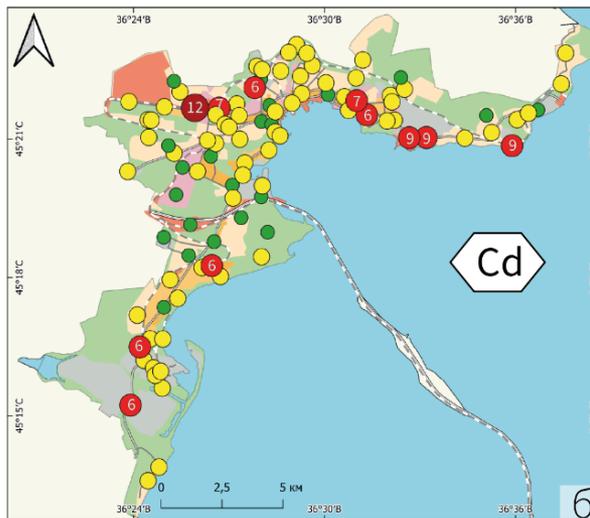
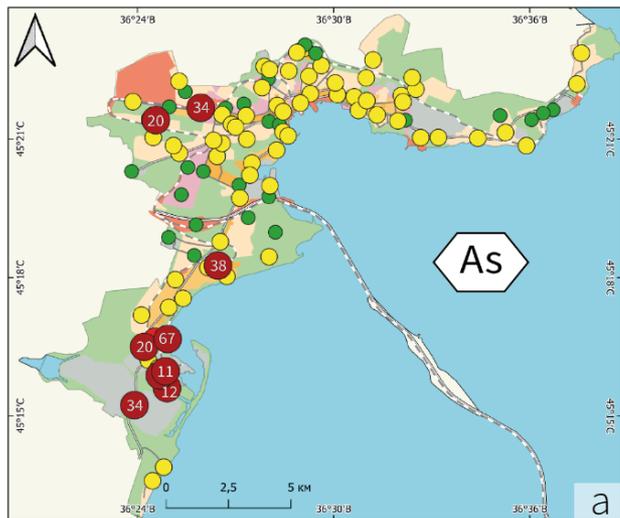
КК – кларки концентрации



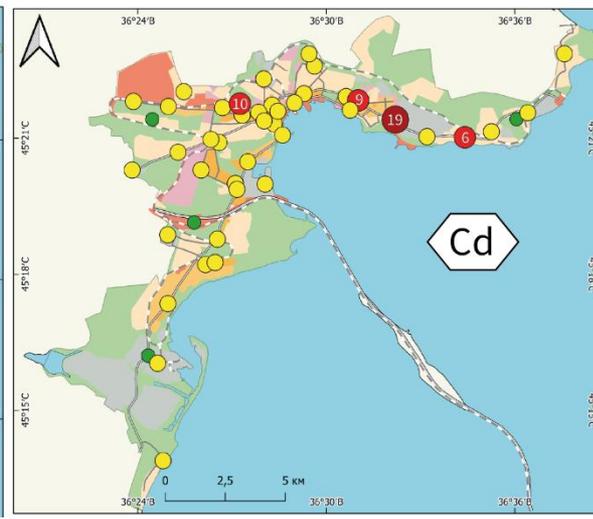
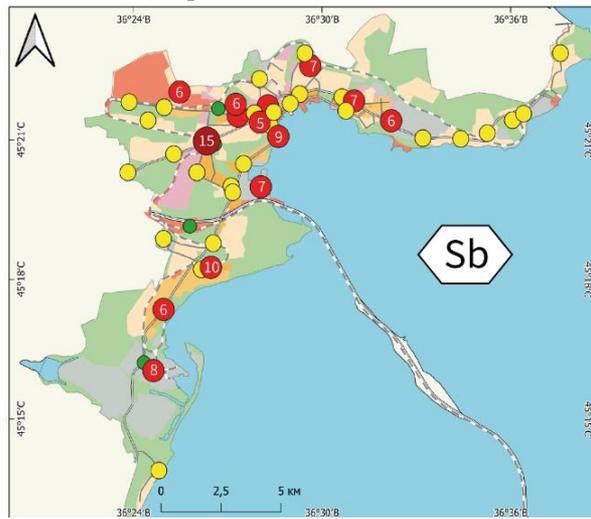
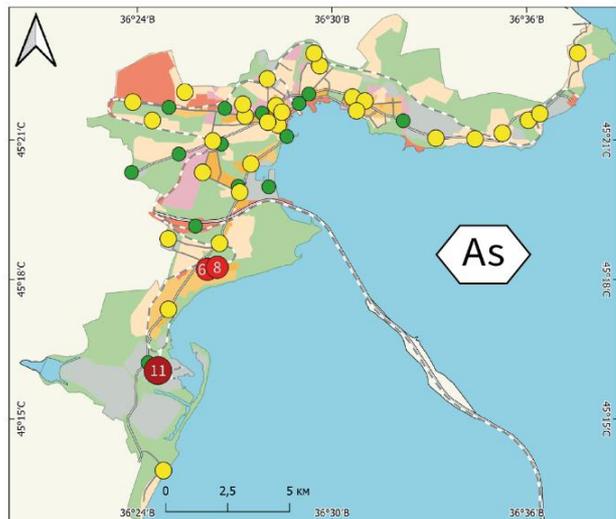
- В РМ10 почв Керчи сильно накапливаются As, Sb, Cd, Pb, Zn, Mn, Bi, Cu, в РМ10 пыли – Sb, As, Cd, Pb, Zn, Cu.
- Главная причина загрязнения – выбросы от Камыш-Бурунского металлургического комбината, действующего до 2003 года.
- Железные руды Керченского полуострова содержат в больших количествах примеси As, от которого избавляются в процессе обогащения руды. Большая часть отходов сбрасывалась в прилегающие к территории завода хвостохранилища, где содержание As превышает фоновые значения в 50-70 раз, а ПДК в 300-500 раз

Пространственное распределение поллютантов в частицах PM10 почв и дорожной пыли Керчи

Городские почвы



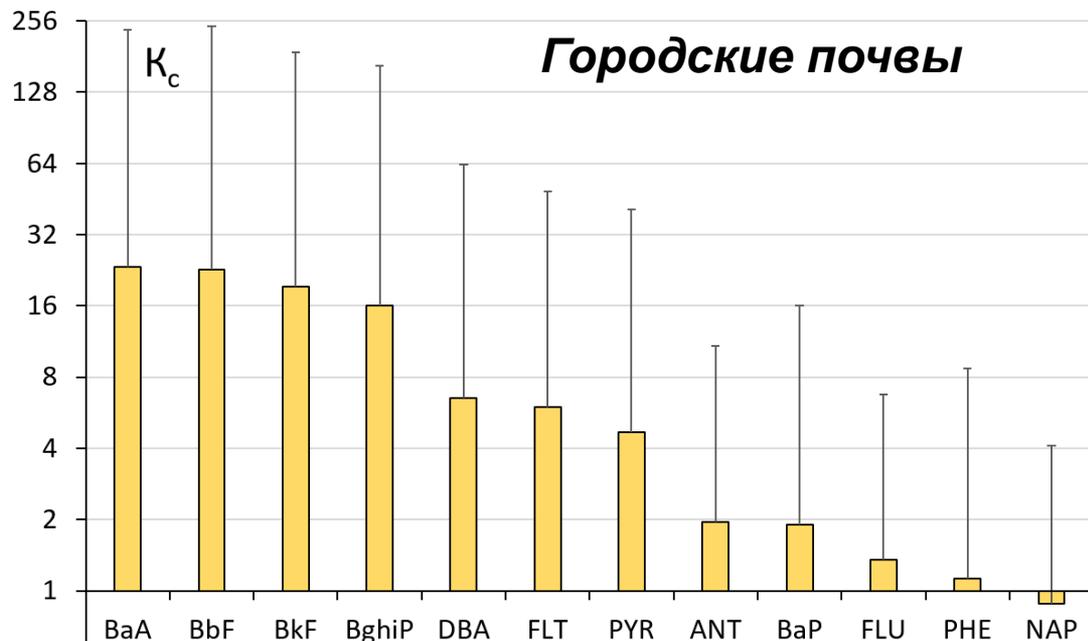
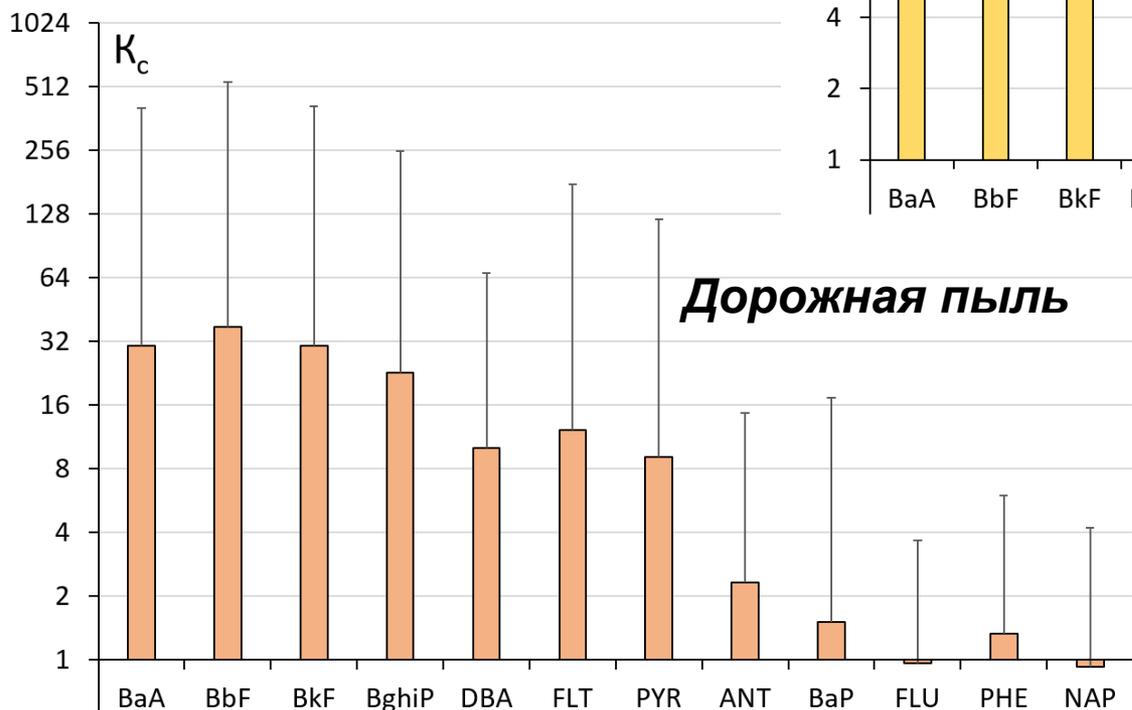
Дорожная пыль



Кс ● < 1,5 ● 1,5 - 5 ● 5 - 10 ● > 10

Уровни содержания полициклических ароматических углеводородов частицах PM10 городских почв и дорожной пыли Керчи

K_c – коэффициент концентрации

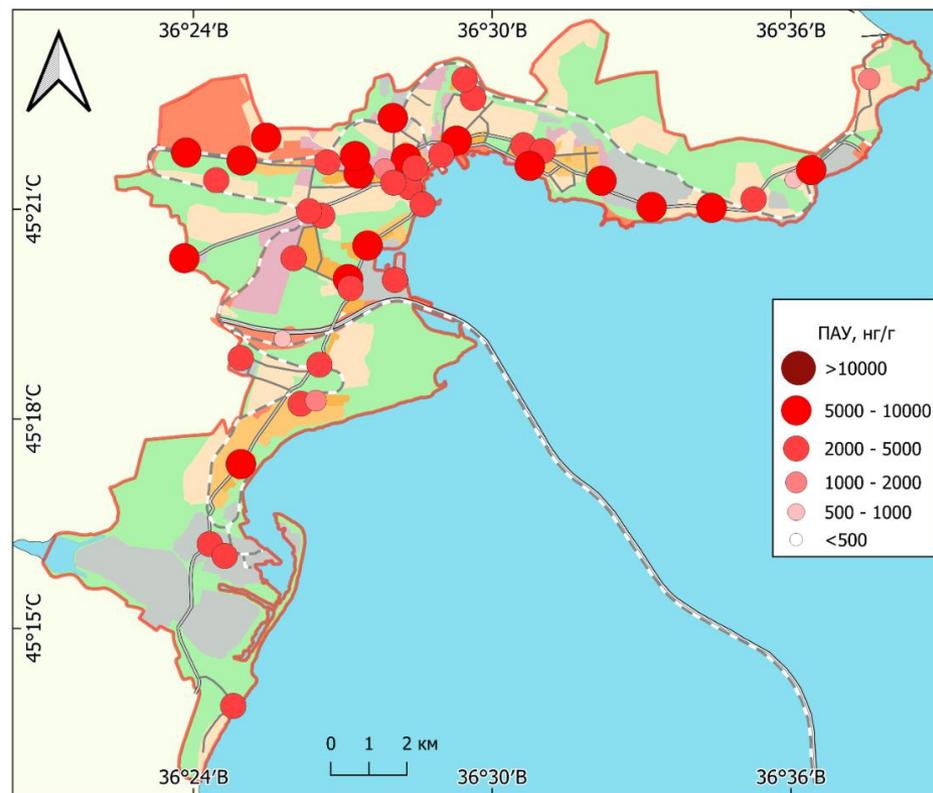
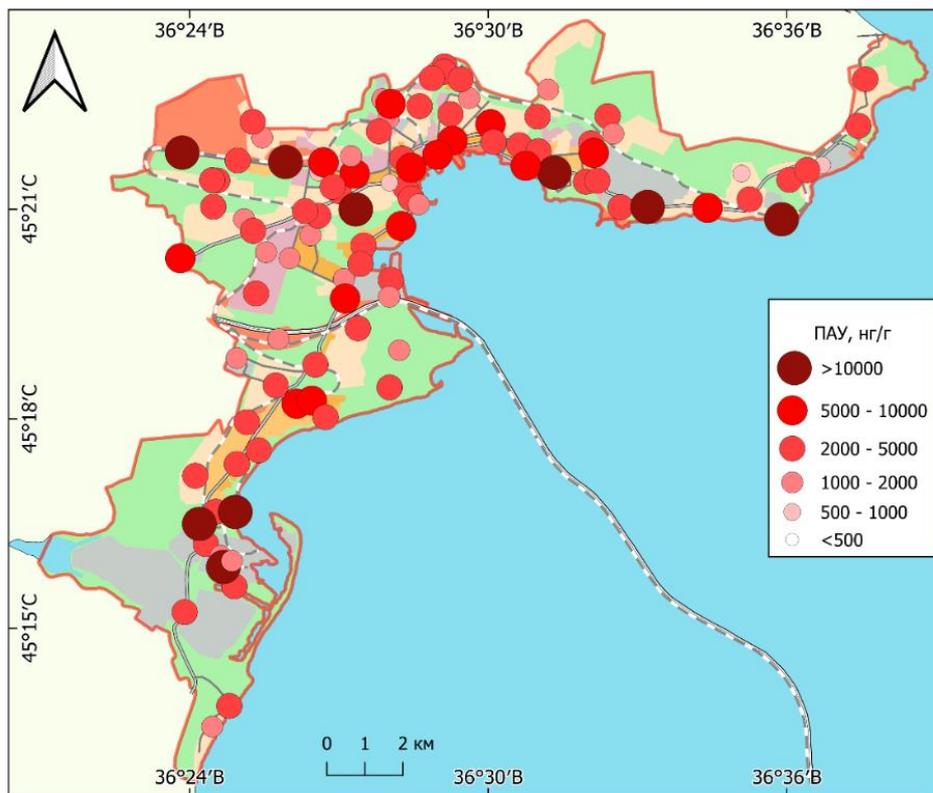


Накопление ПАУ в частицах PM10 почв и пыли оценивалось на основе сравнения с содержанием в фоновых почвах

Пространственное распределение полициклических ароматических углеводородов в частицах PM10 городских почв и дорожной пыли Керчи

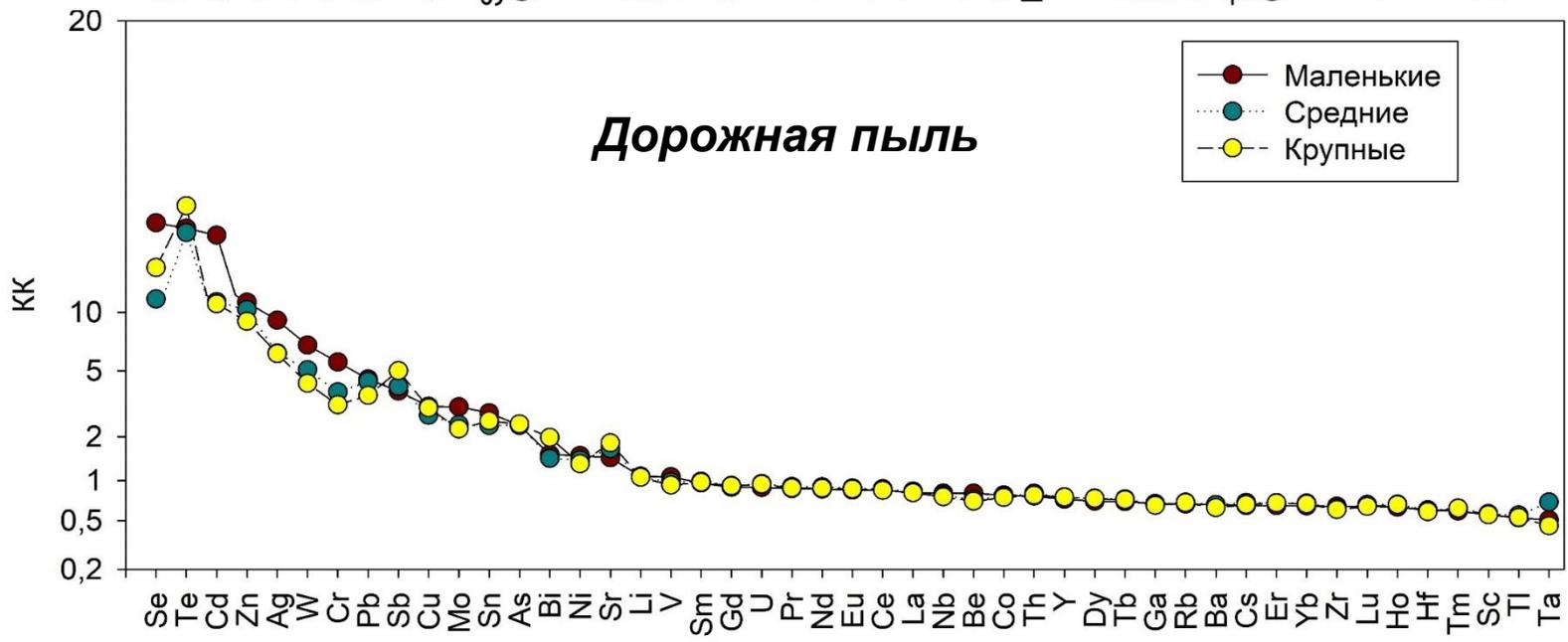
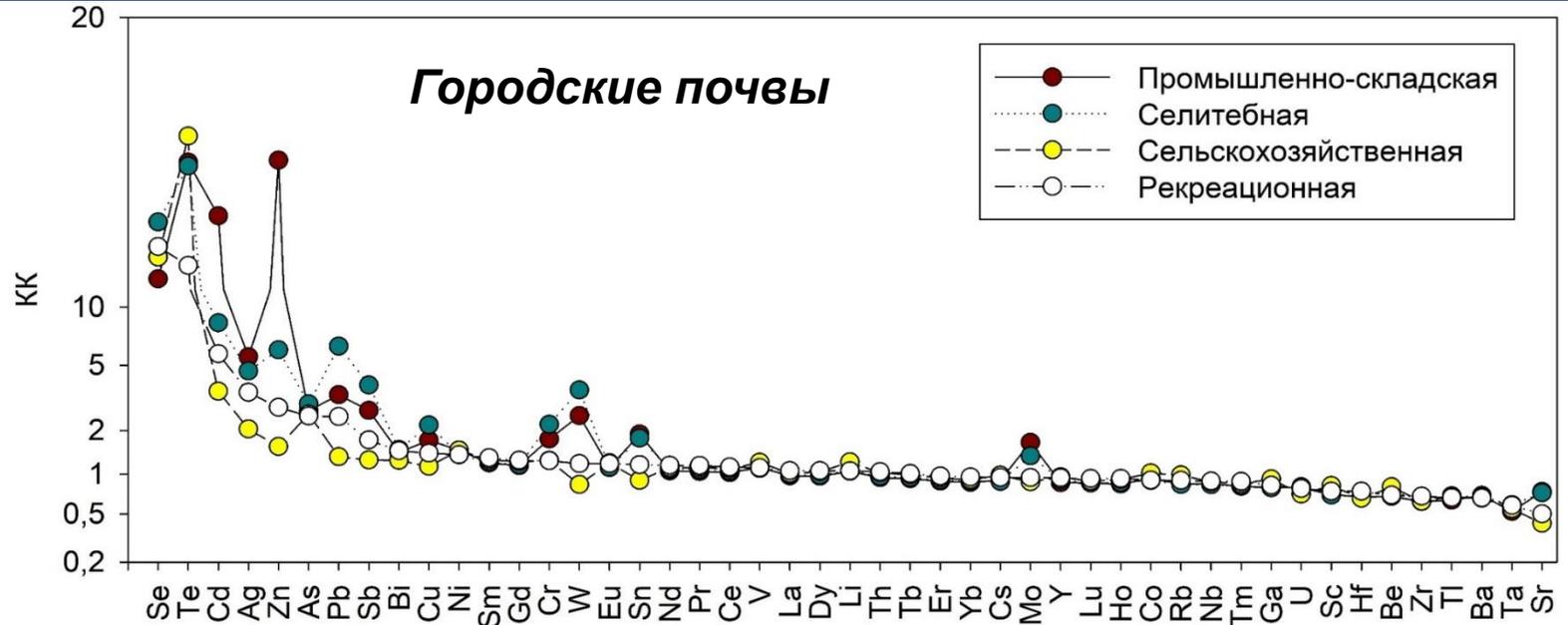
Городские почвы

Дорожная пыль



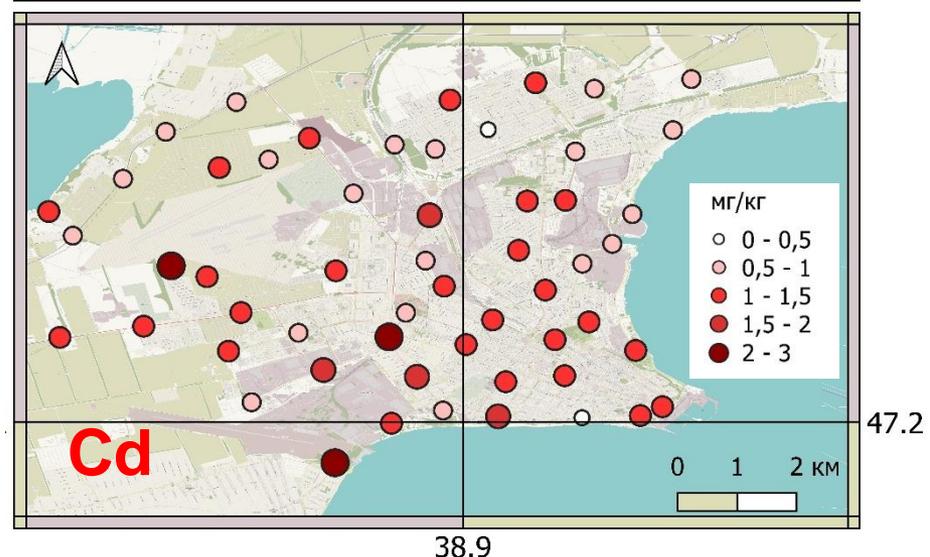
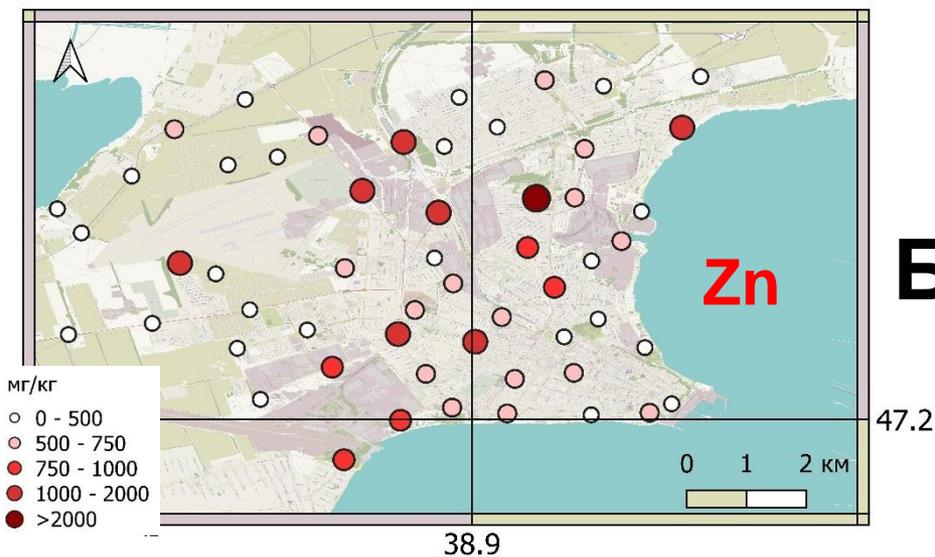
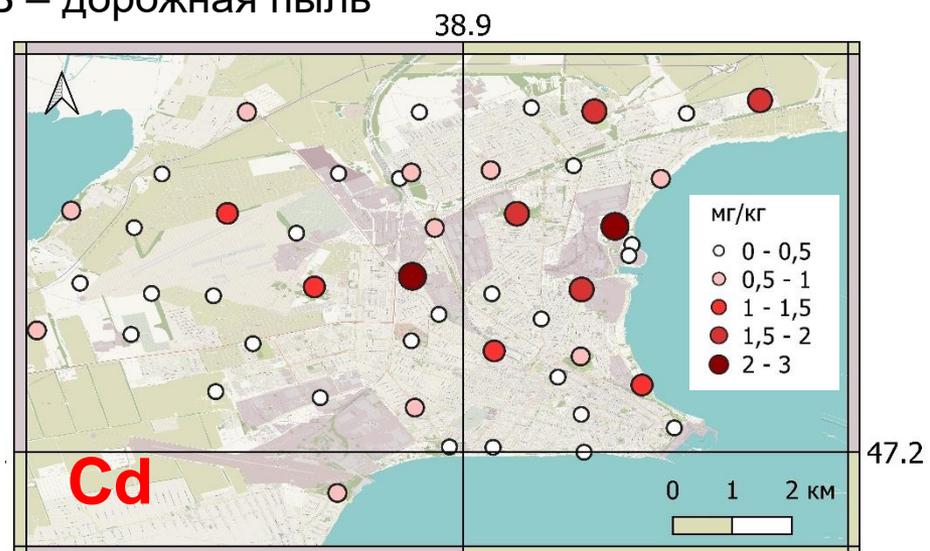
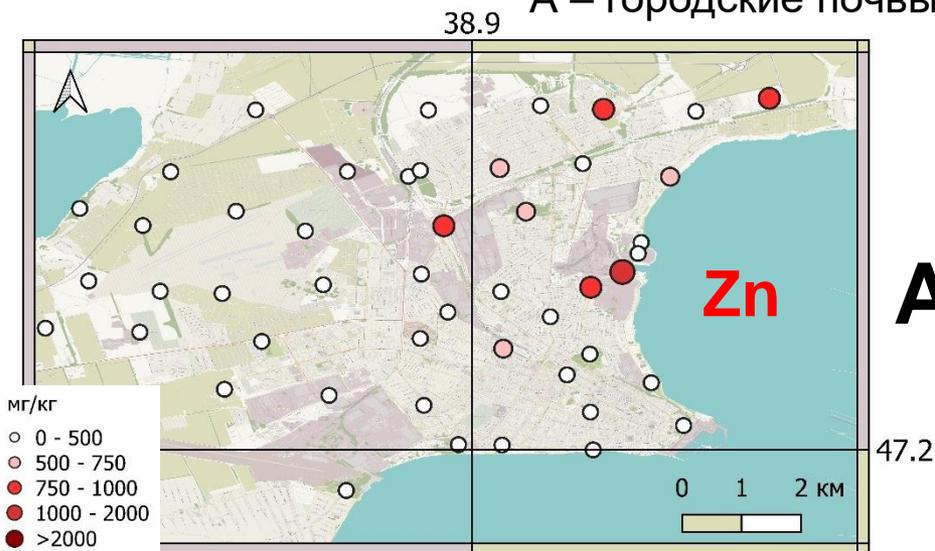
Наиболее загрязнённые ПАУ участки приурочены к промышленным зонам на юге и северо-востоке города, а также аэропорту и железнодорожному вокзалу. Локальных аномалий ПАУ в частицах PM10 пыли не обнаружено.

Уровни накопления элементов в частицах PM10 городских почвах и дорожной пыли Таганрога

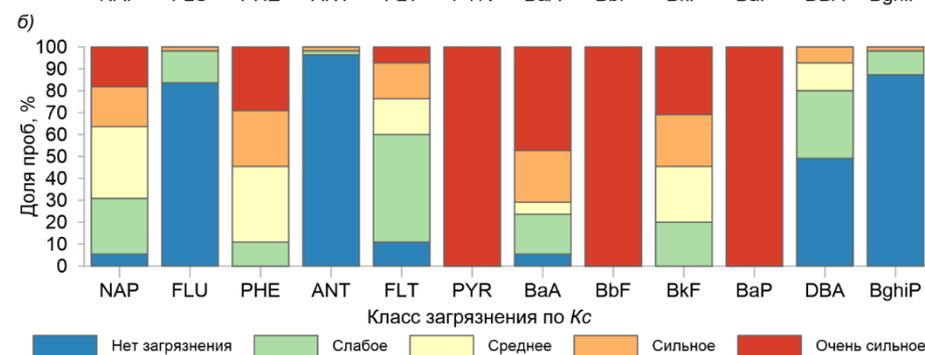
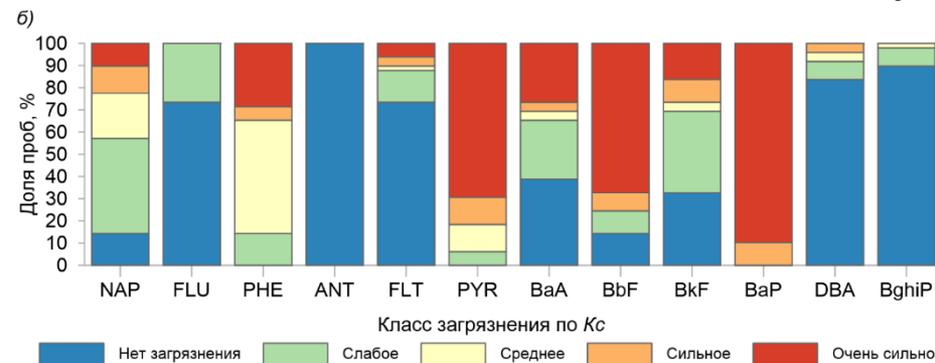
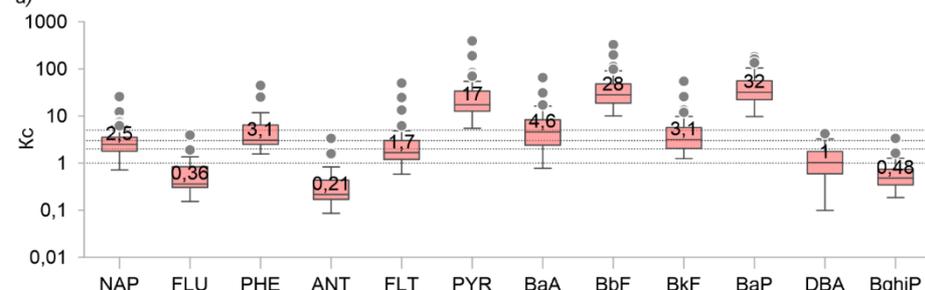
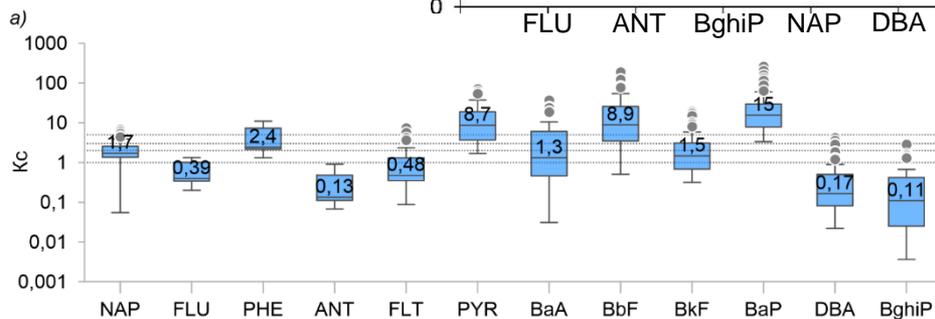
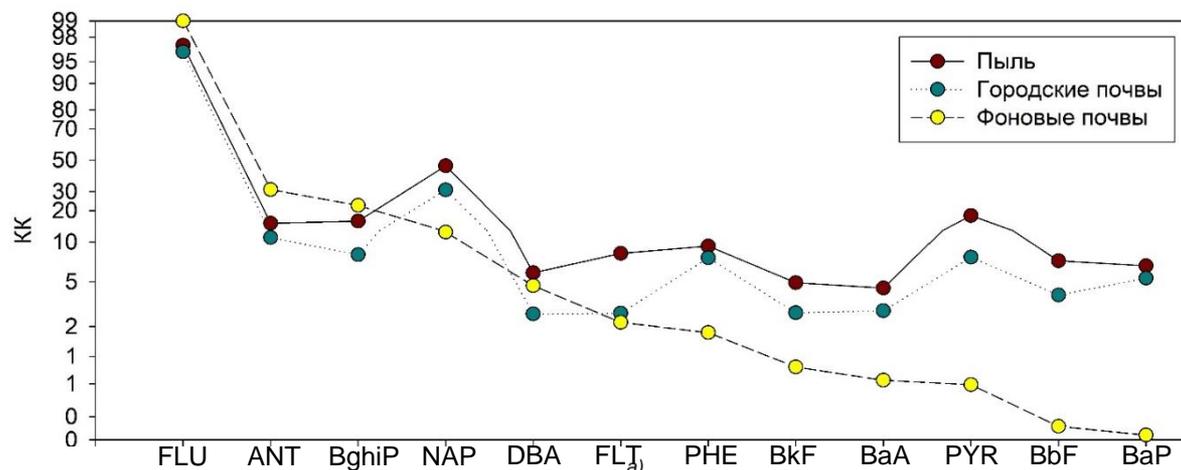


Пространственное распределение элементов в частицах PM10 городских почв и дорожной пыли Таганрога

А – городские почвы, Б – дорожная пыль



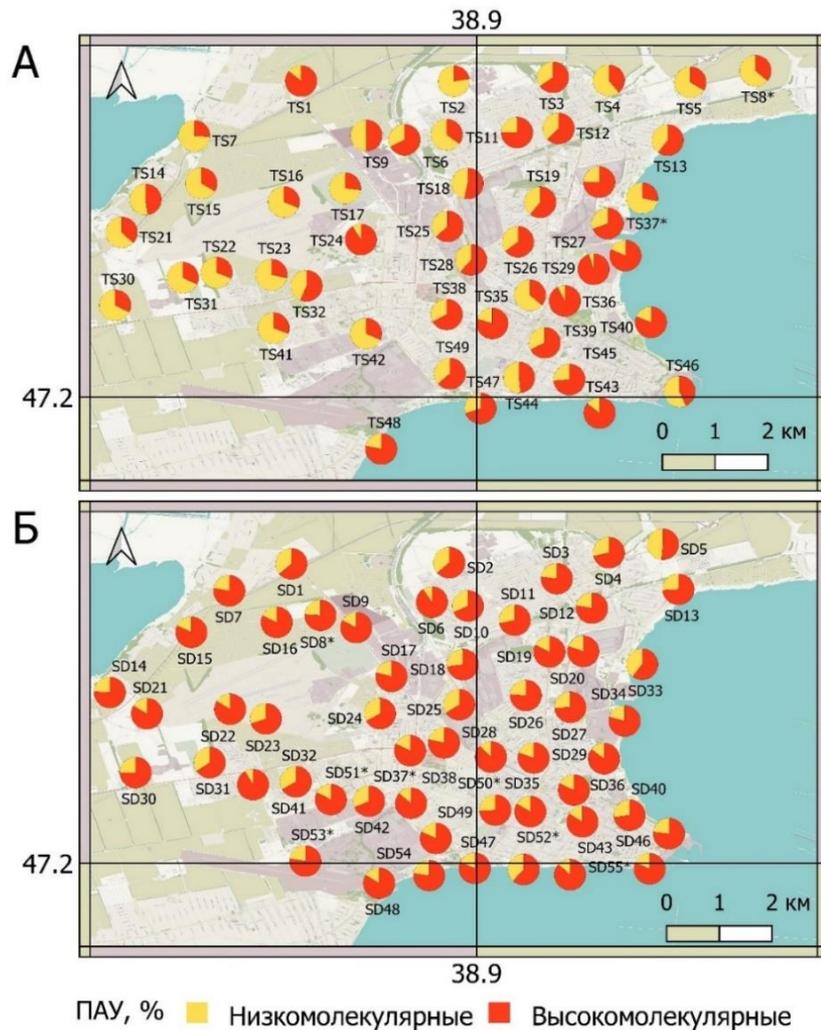
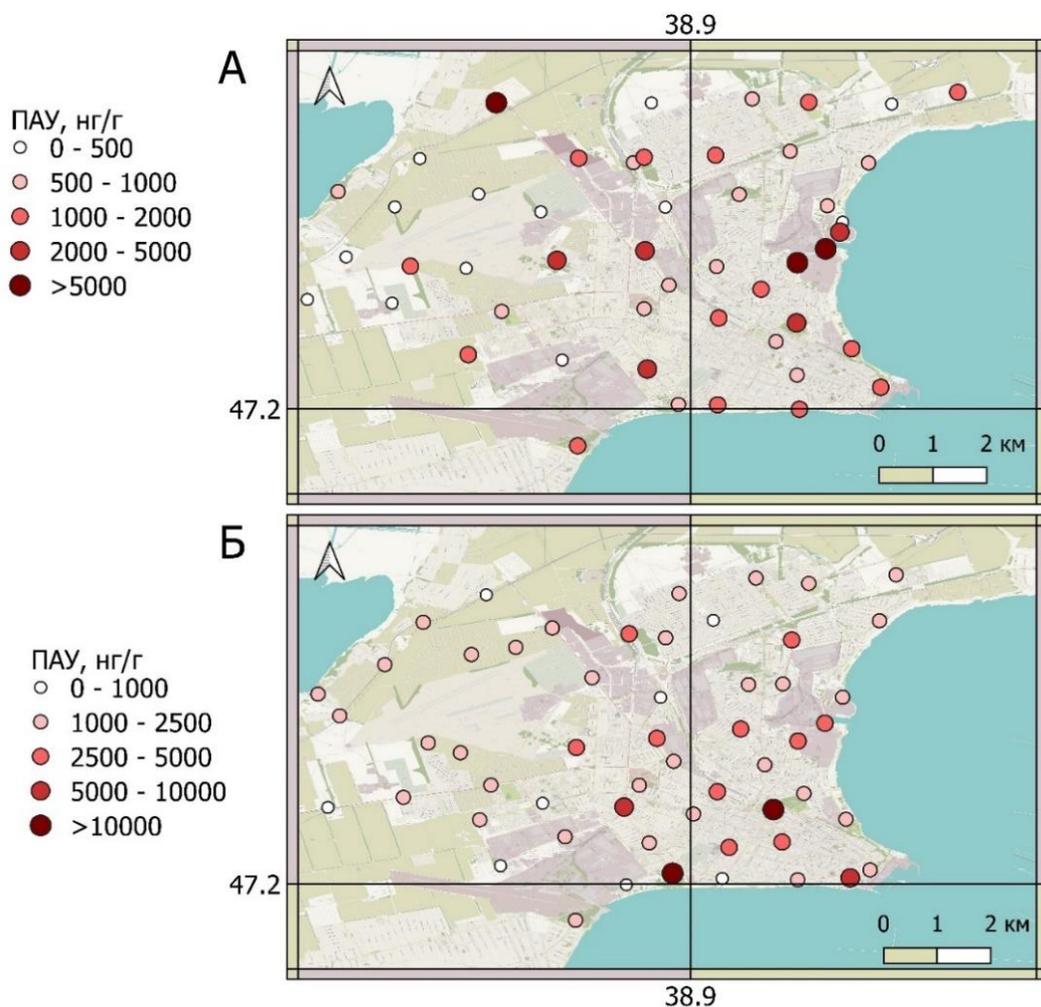
Уровни содержания полициклических ароматических углеводородов в частицах PM10 фоновых, городских почв и дорожной пыли Таганрога



NAP – нафталин, FLU – флуорен, PHE – фенантрен, ANT – антрацен, FLT – флуорантен, PYR – пирен, BaA – бенз(а)антрацен, BbF – бенз(б)флуорантен, BkF – бенз(к)флуорантен, BaP – бенз(а)пирен, DBA – дибенз(а,һ)антрацен, BghiP – бенз(ɡ,һ,і)перилен

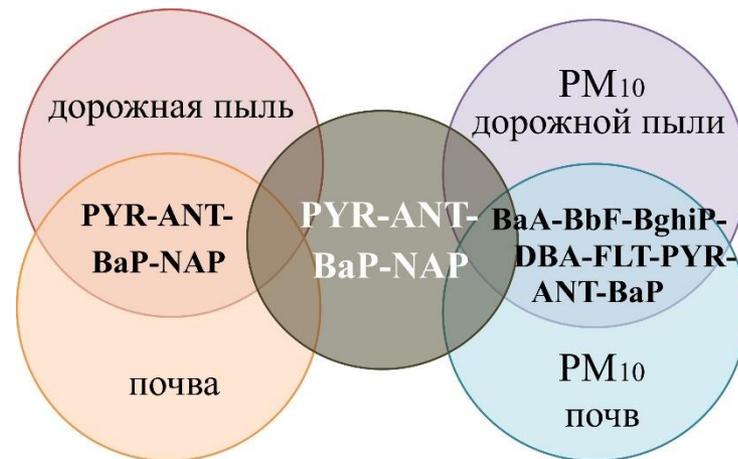
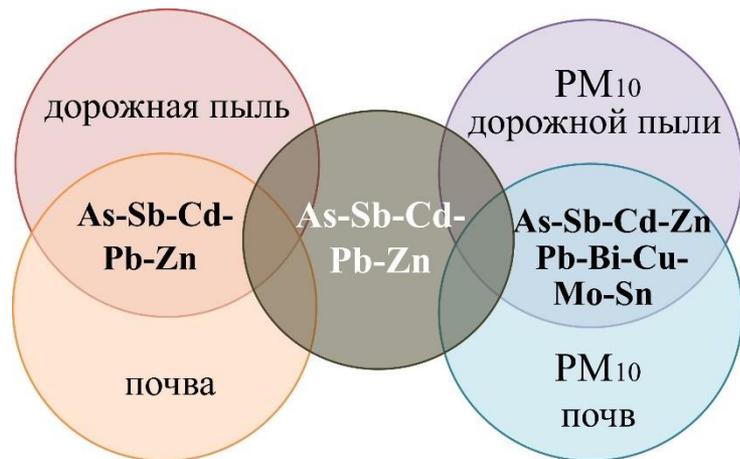
Пространственное распределение полициклических ароматических углеводородов в частицах PM10 городских почв и дорожной пыли Таганрога

А – городские почвы, Б – дорожная пыль

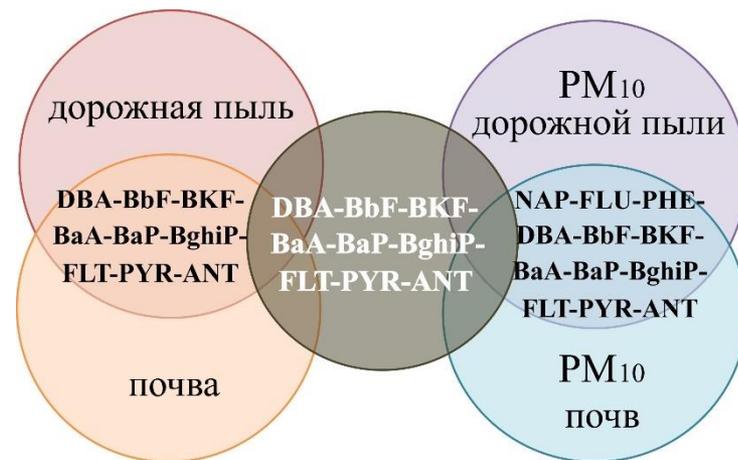
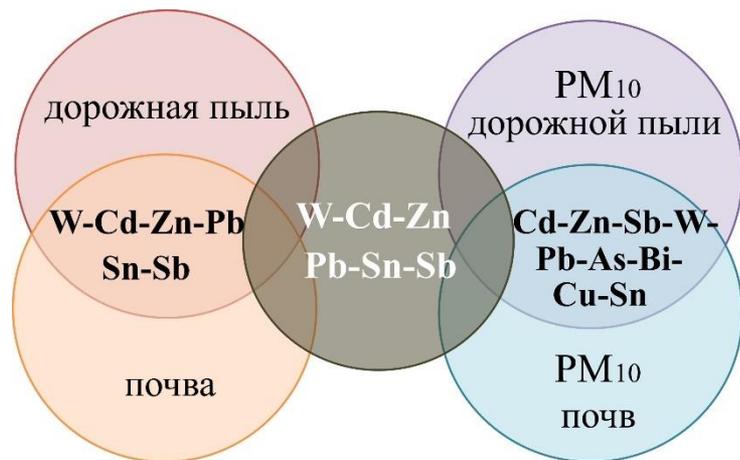


Парагенезисы ТММ в системе “почвы-PM10 почв-дорожная пыль-PM10 дорожной пыли”

Керчь

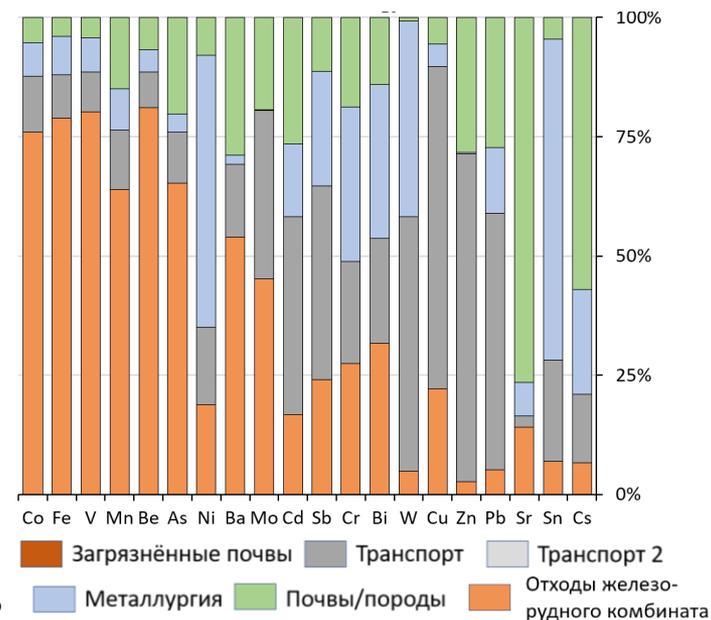
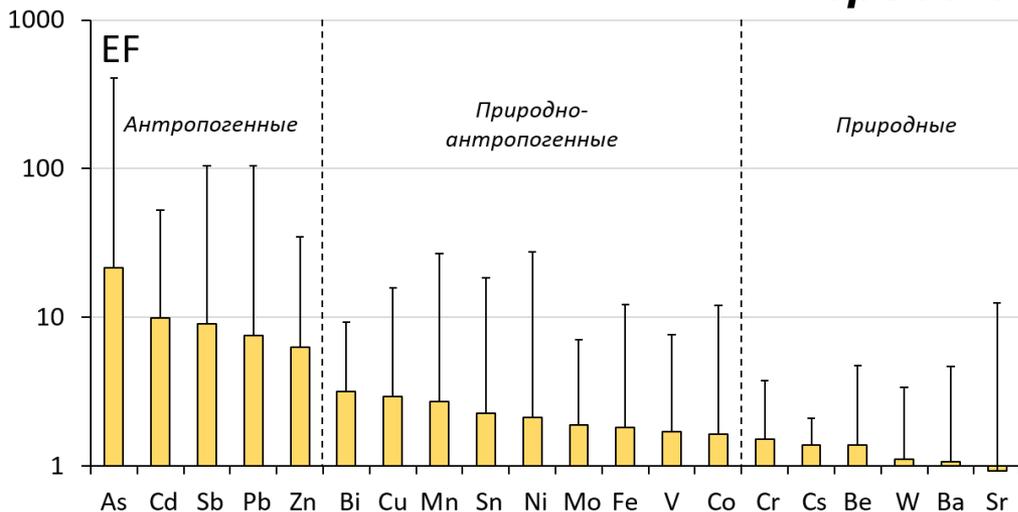


Таганрог

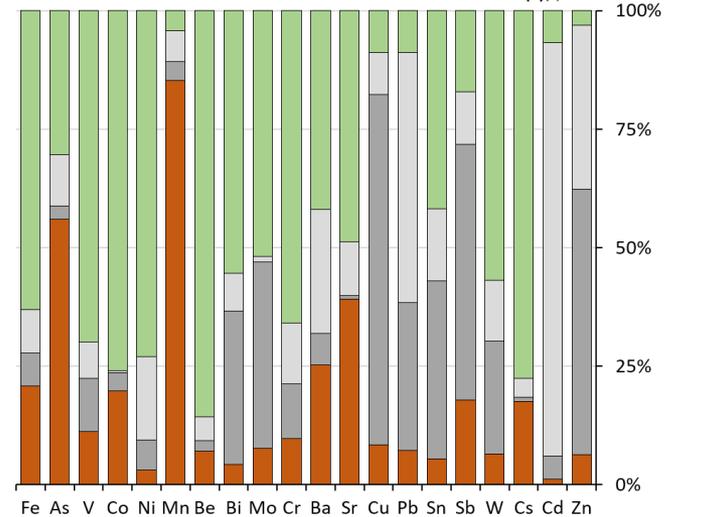
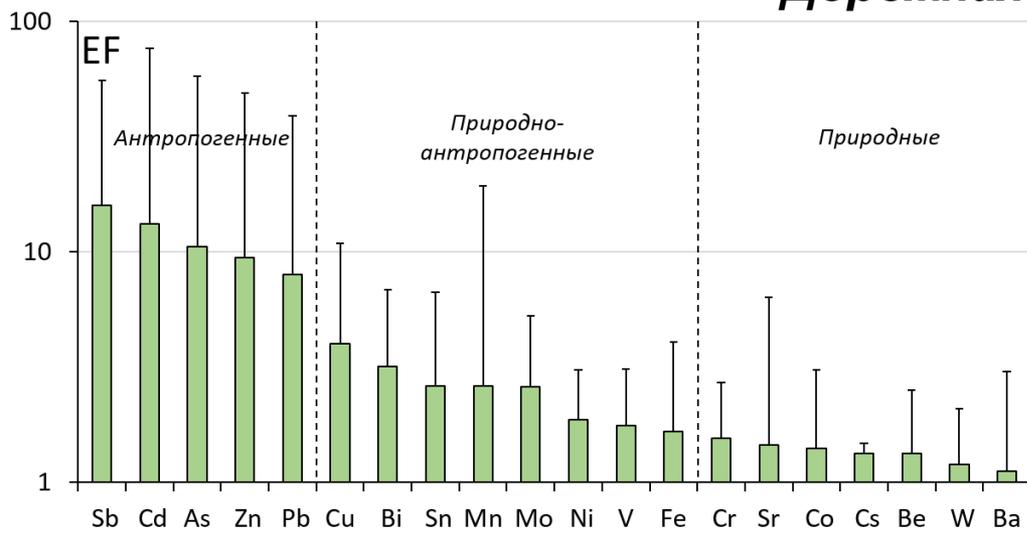


Источники поступления поллютантов в микрочастицы PM10 городских почв и дорожной пыли Керчи

Городские почвы

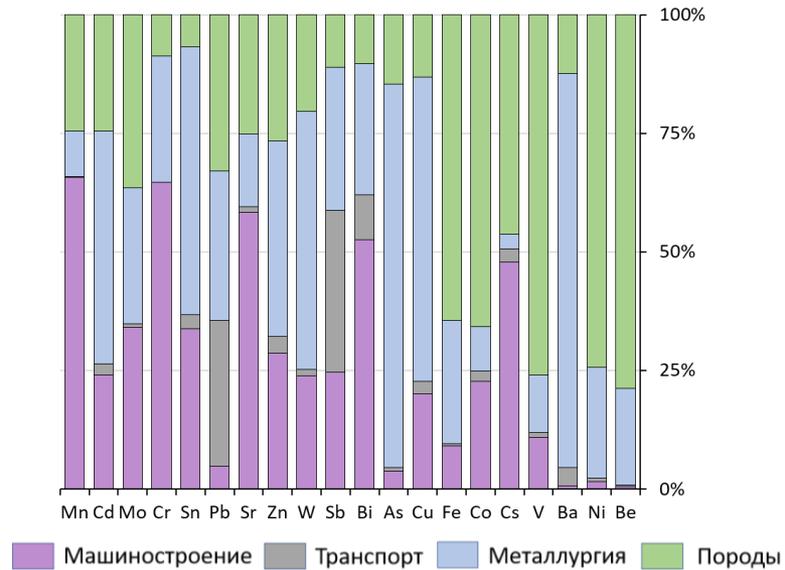
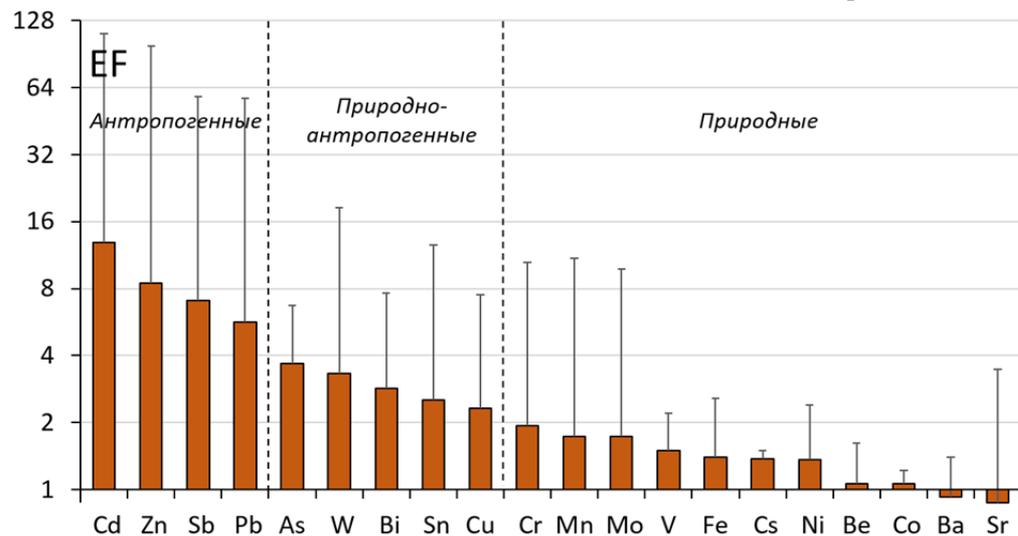


Дорожная пыль

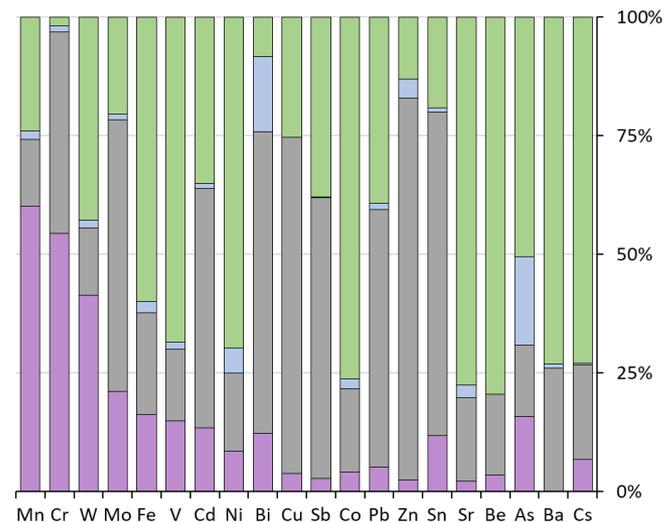
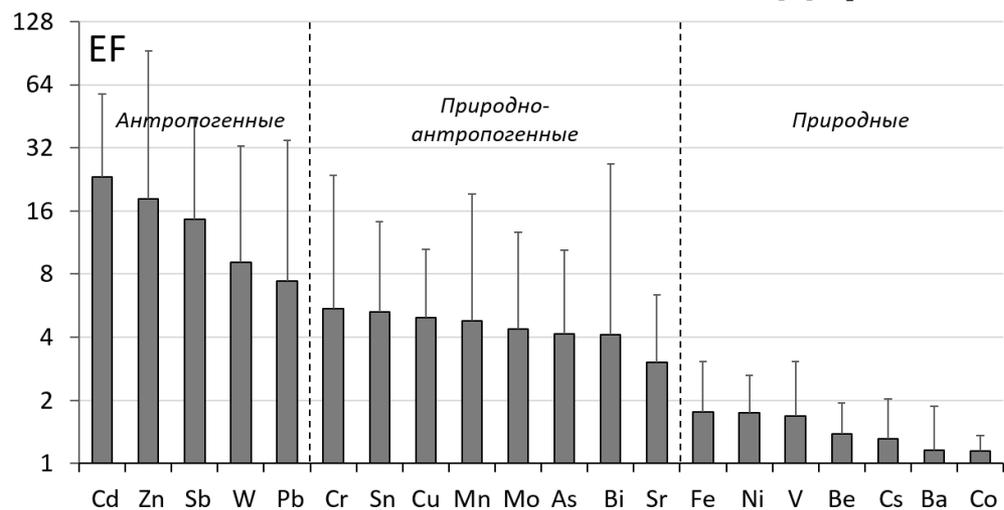


Источники поступления поллютантов в микрочастицы PM10 городских почв и дорожной пыли Таганрога

Городские почвы

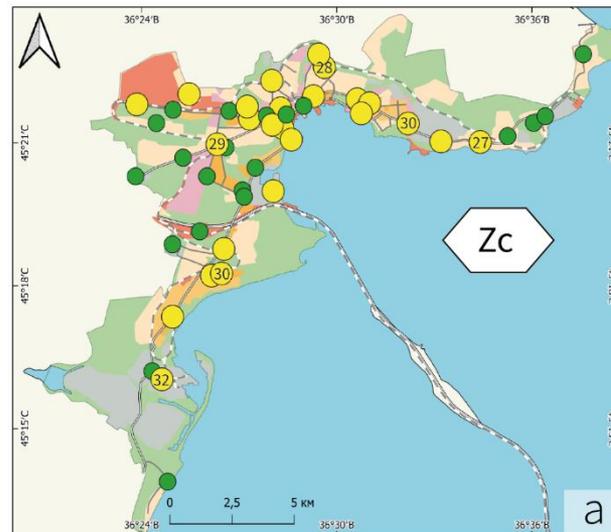
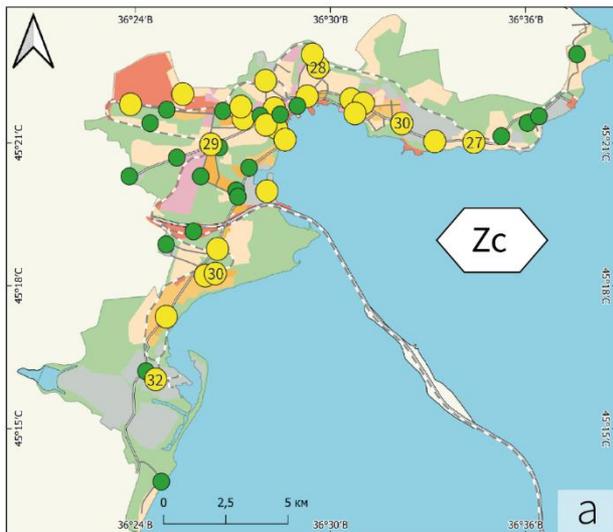


Дорожная пыль

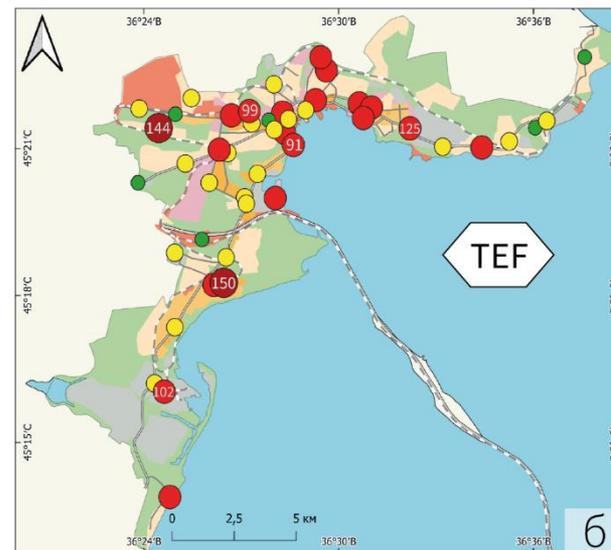
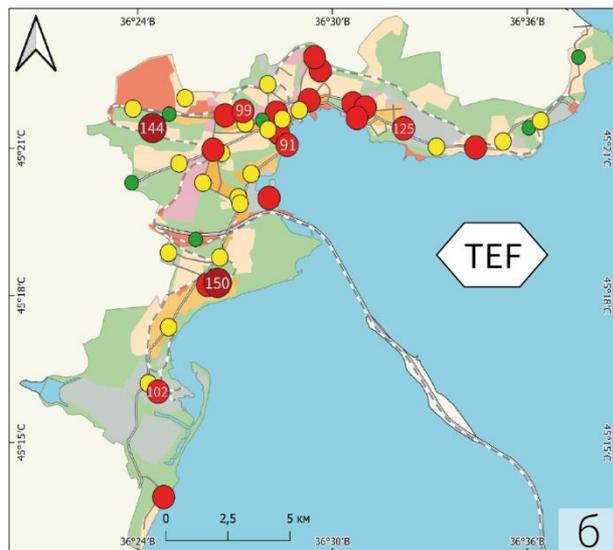


Оценка суммарного загрязнения (Z_c) и обогащения (TEF) частиц PM_{10} городских почв и дорожной пыли Керчи

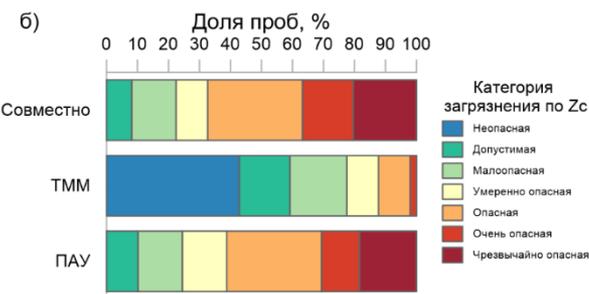
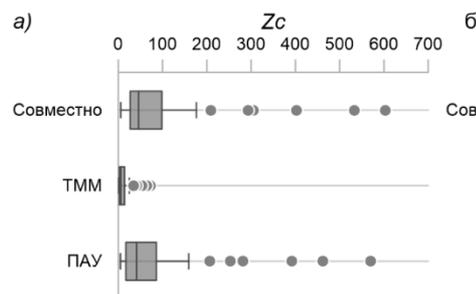
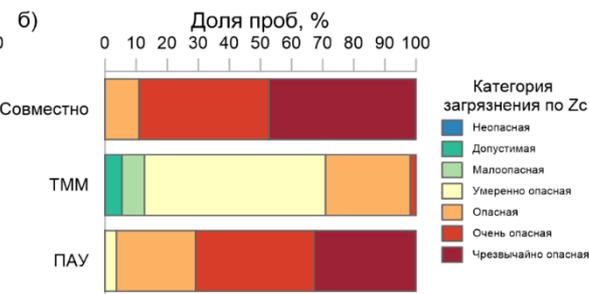
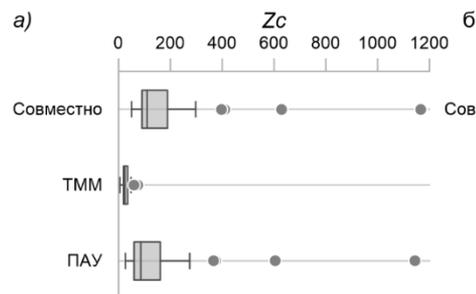
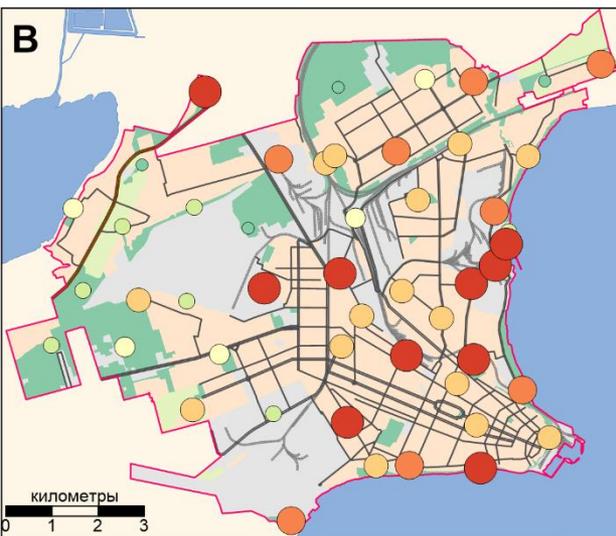
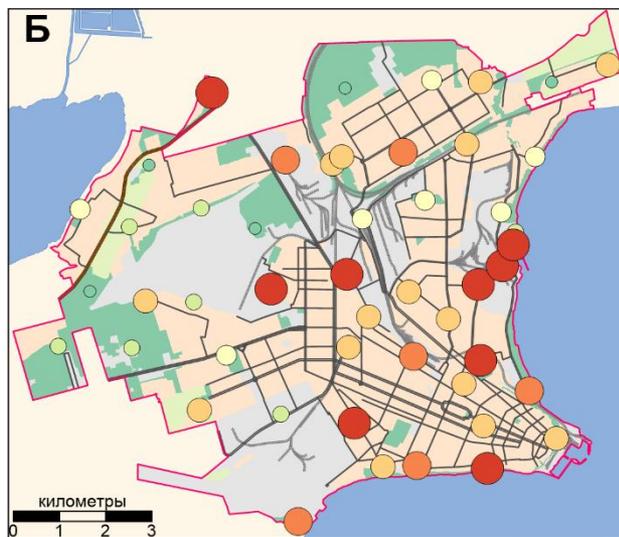
**Городские
почвы**



**Дорожная
пыль**



Пространственное распределение суммарного показателя загрязнения (Z_c) фракции PM_{10} городских почв Таганрога по: А) ТММ; Б) ПАУ и В) совместно



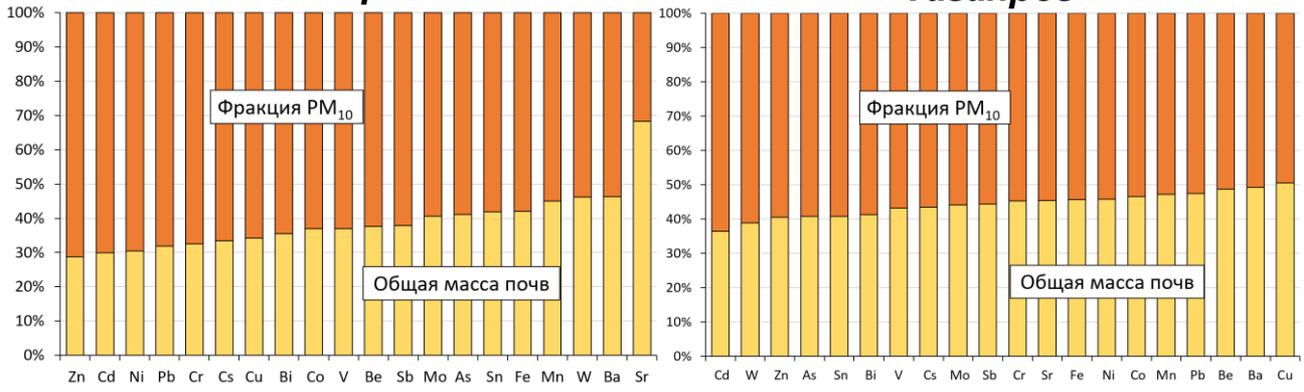
Фракционирование элементов в почвах и дорожной пыли Керчи и Таганрога

Фракционный состав элементов в почвах и пыли

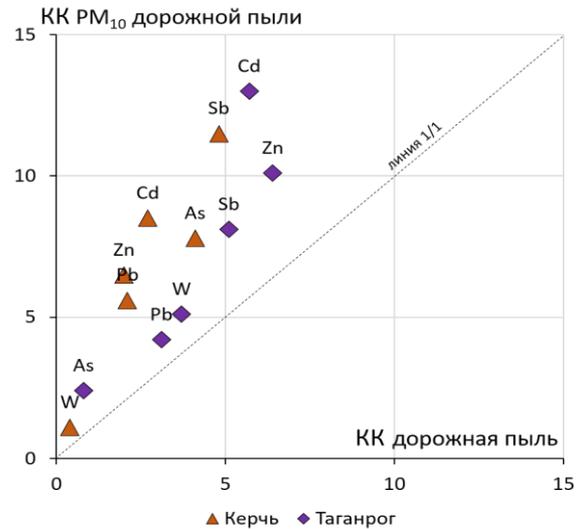
Городские почвы

Керчь

Таганрог



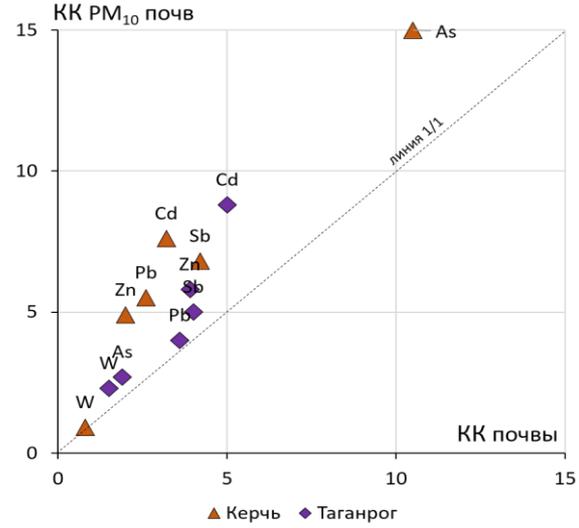
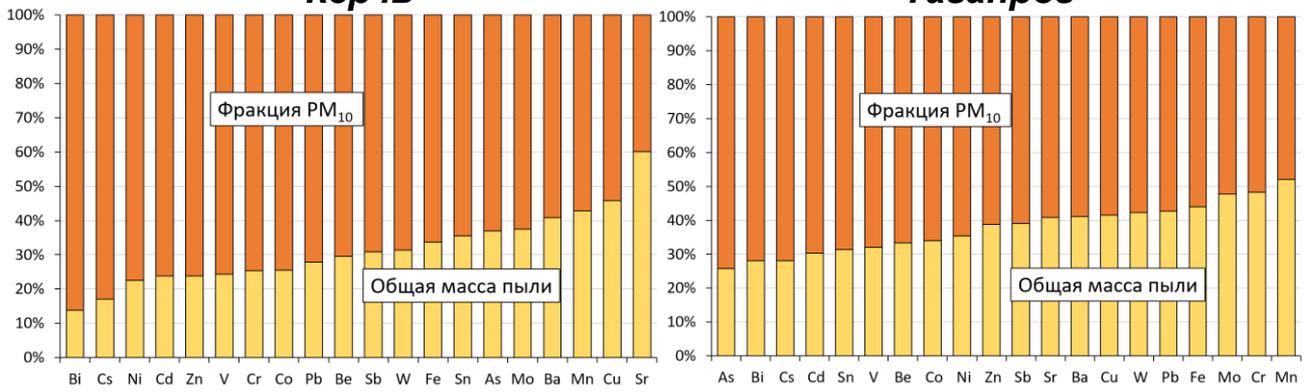
Фракционирование Cd, Zn, As, W, Pb в почвах и пыли



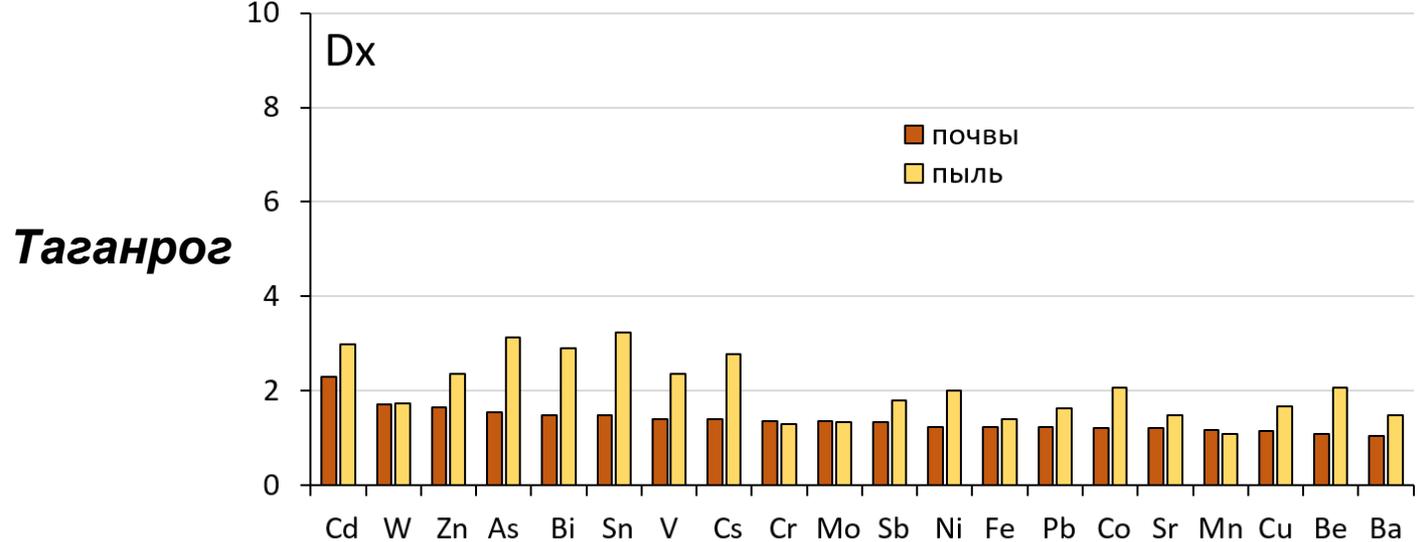
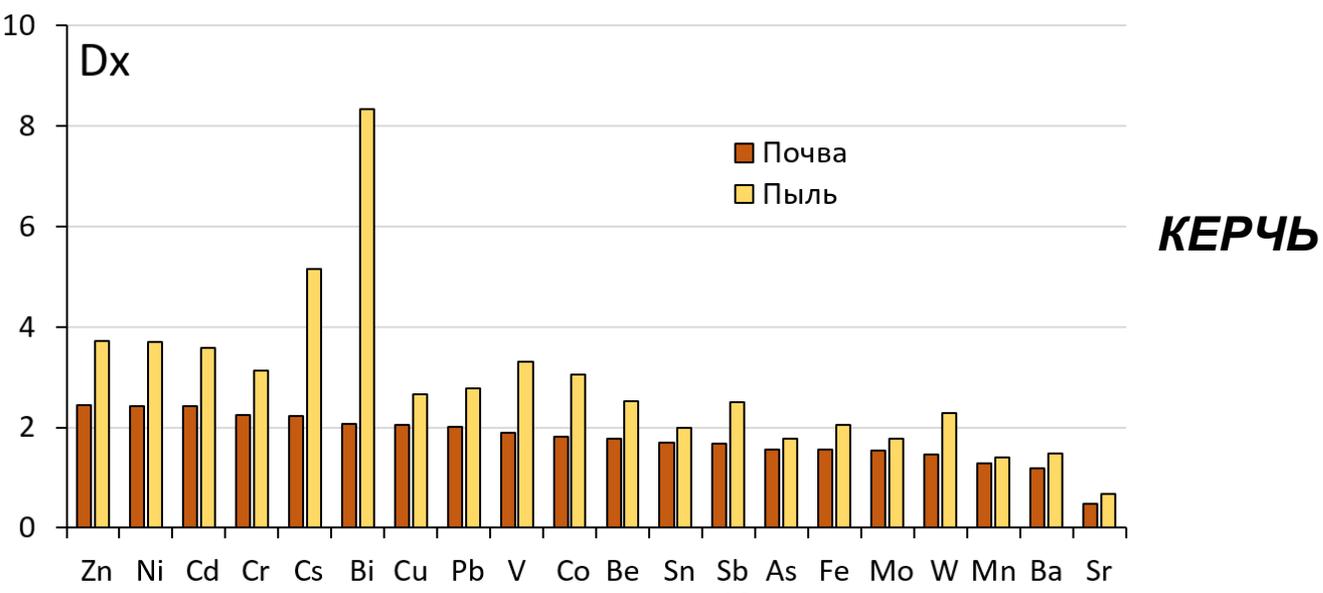
Дорожная пыль

Керчь

Таганрог



Коэффициент D_x : отношение концентраций ТММ в гранулометрической фракции PM10 почв и дорожной пыли к общему содержанию в Керчи и Таганроге

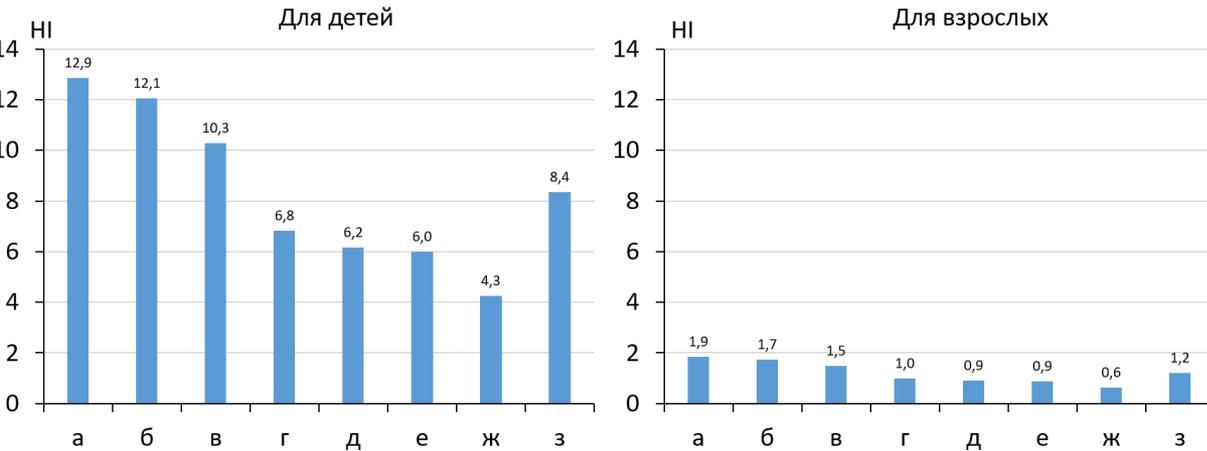


АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КЕРЧИ

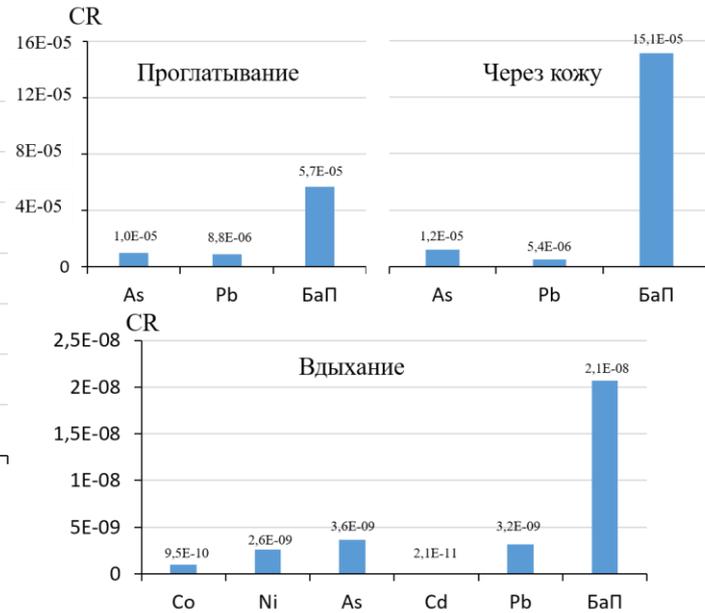
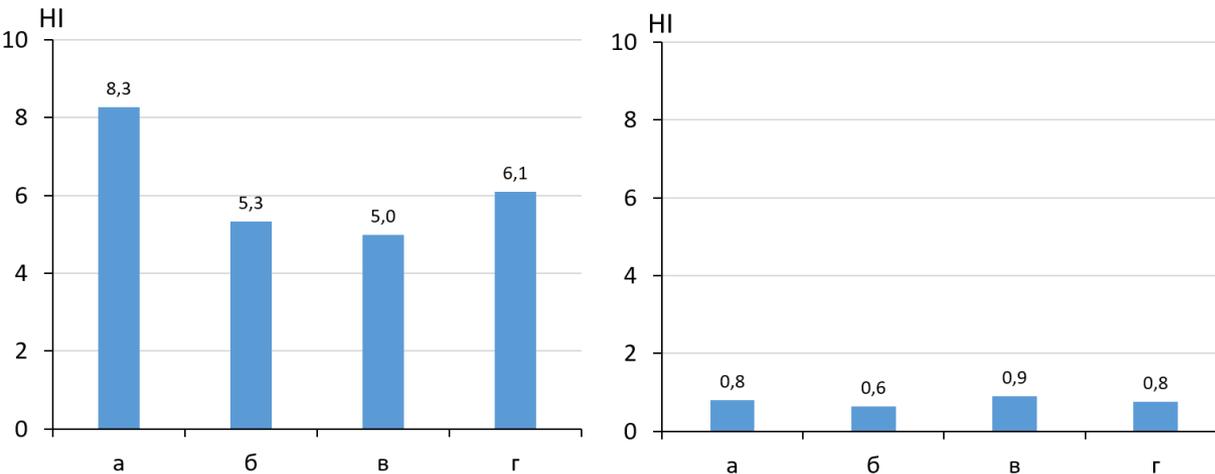
Суммарный неканцерогенный риск (НИ) PM10 почв и пыли разных функциональных зон и типов дорог для детей и взрослых

Канцерогенный риск ТММ и БаП относительно трёх путей поступления с почвенными частицами PM10

Городские почвы



Дорожная пыль



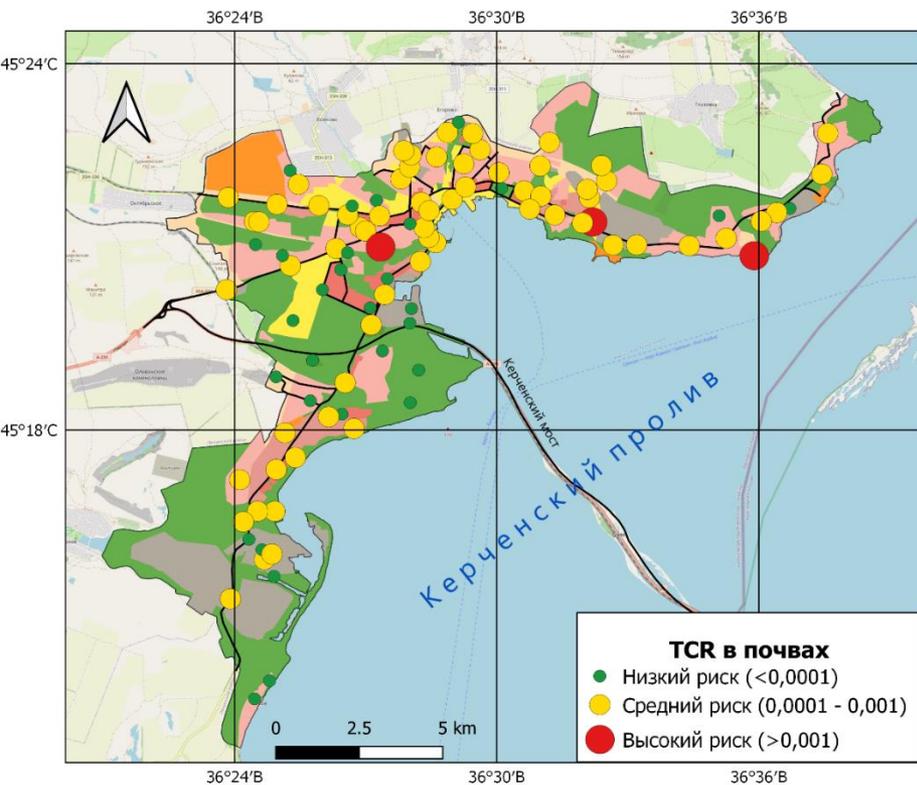
Зоны: а – коммунально-складская, б – селитебная среднеэтажная, в – промышленная, г – селитебная низкоэтажная, д – транспортная, е – рекреационная, ж – селитебная высокоэтажная, з – Керчь в целом

Дороги: а – средние, б – малые, в – крупные, г – Керчь в целом

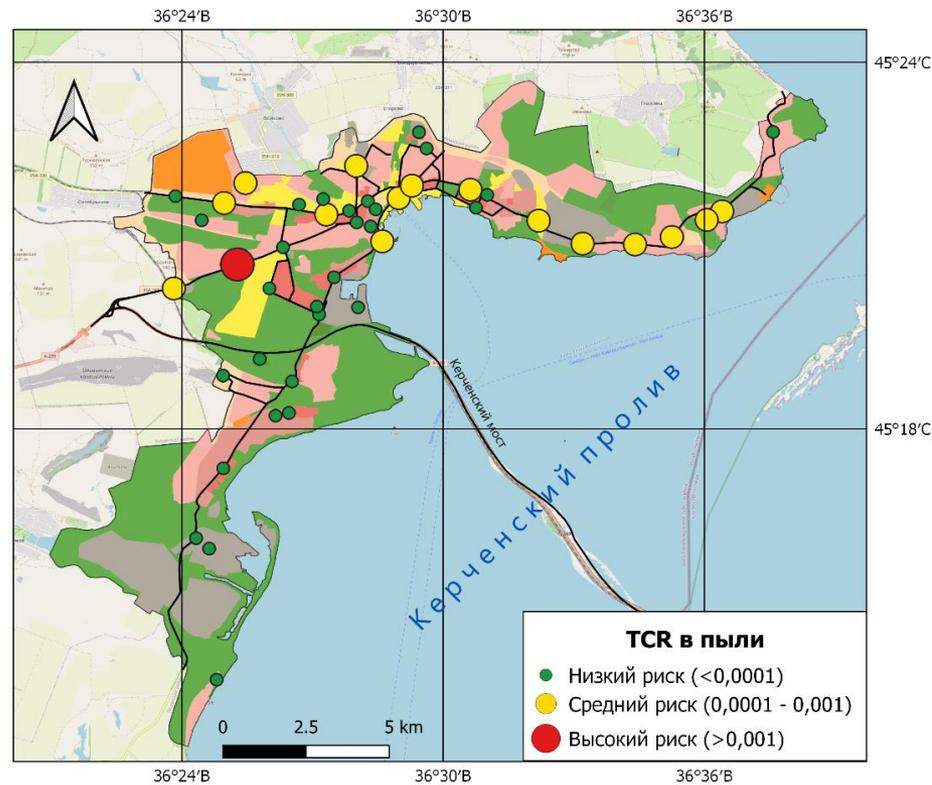
АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КЕРЧИ

Пространственное распределение суммарного канцерогенного риска в частицах PM10 городских почв и дорожной пыли

Городские почвы

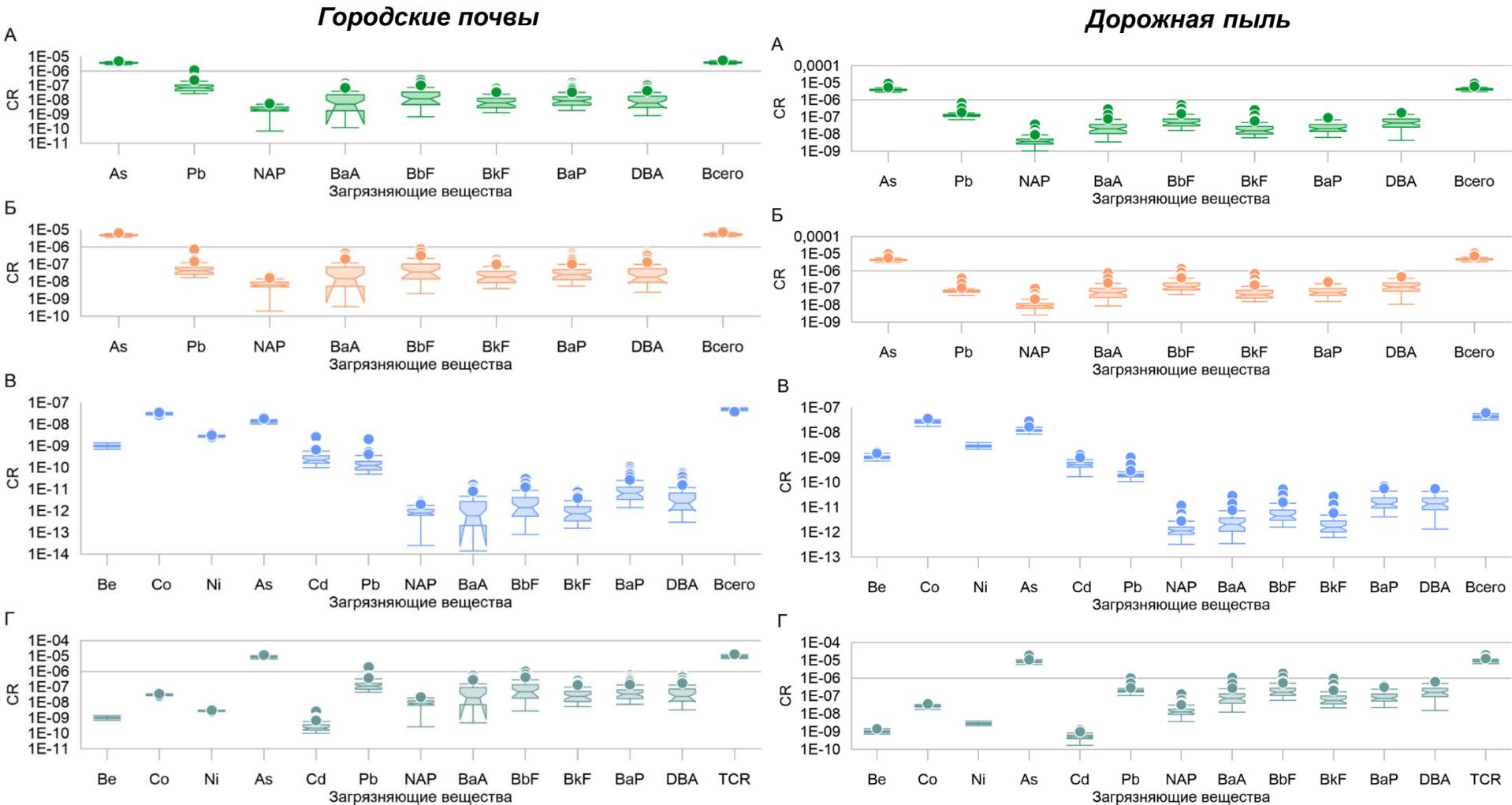


Дорожная пыль



АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ТАГАНРОГА

Канцерогенный риск поллютантов во фракции PM10 городских почв и дорожной пыли, поступающих:
 А) перорально, Б) через кожу, В) ингаляционно, Г) с учетом всех путей поступления

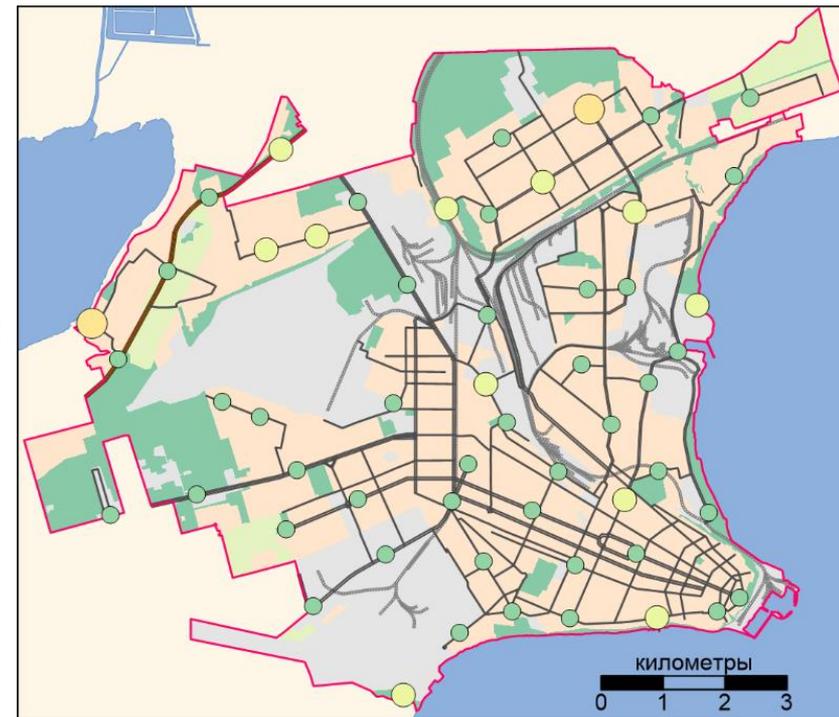
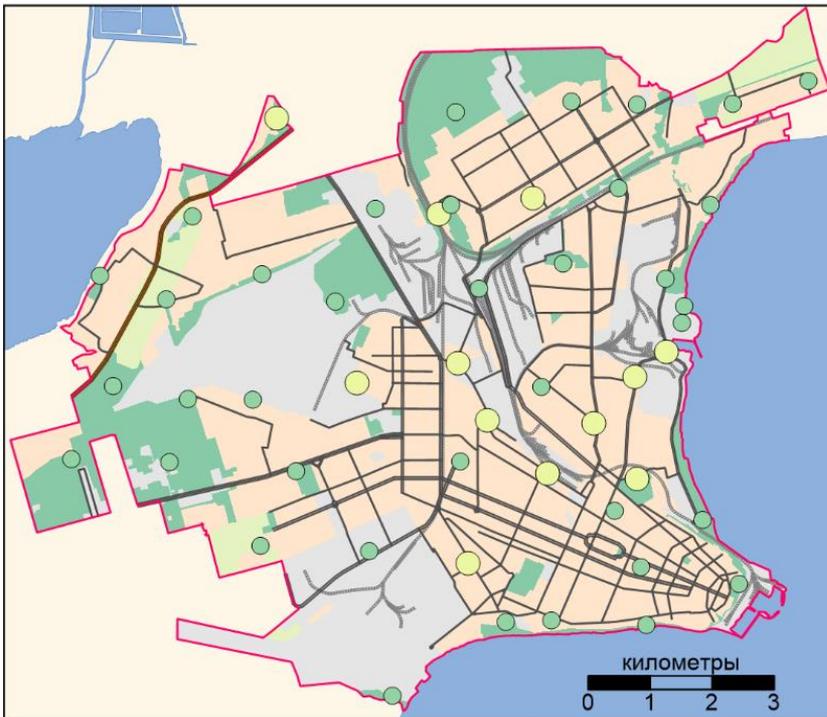


АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ТАГАНРОГА

Пространственное распределение суммарного канцерогенного риска ТММ и ПАУ во фракции РМ10 городских почв и дорожной пыли (TCR) с учетом всех путей поступления загрязняющих веществ

Городские почвы

Дорожная пыль



TCR

- 1E-07-1E-06
- 1E-06-1E-05
- 1E-05-2E-05
- 2E-05-3E-05
- 3E-05-4E-05
- 4E-05-5E-05

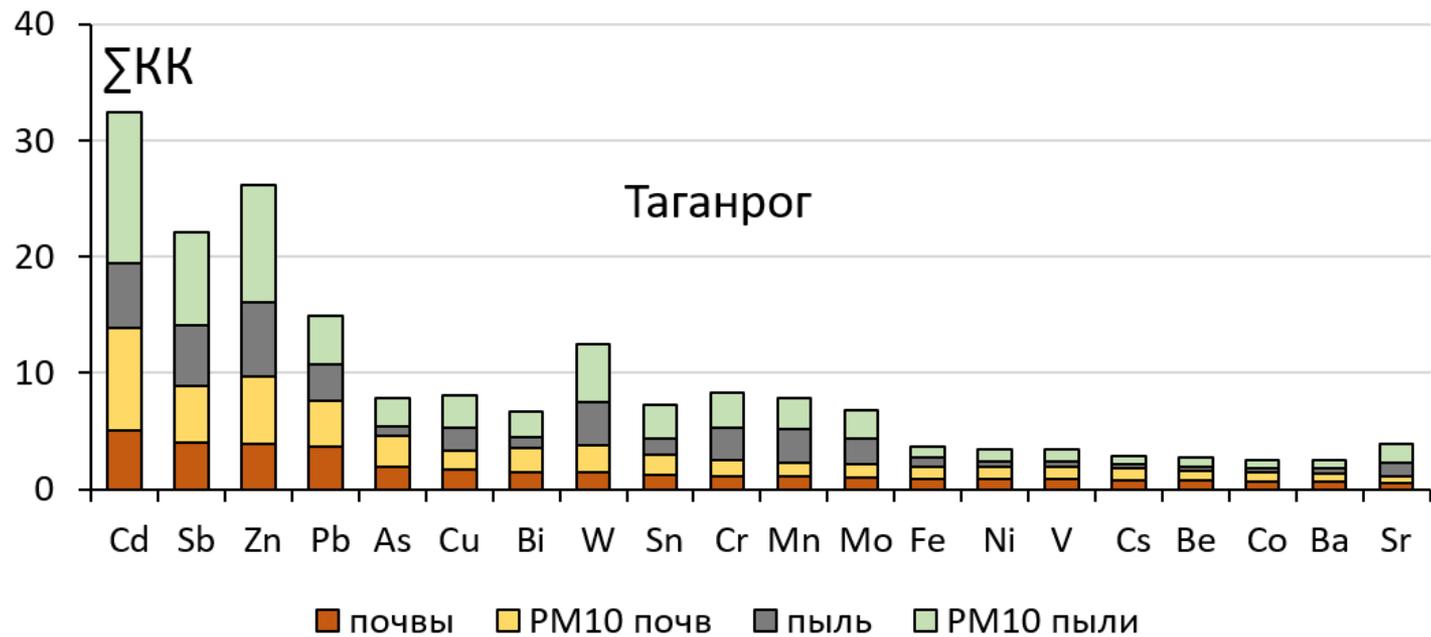
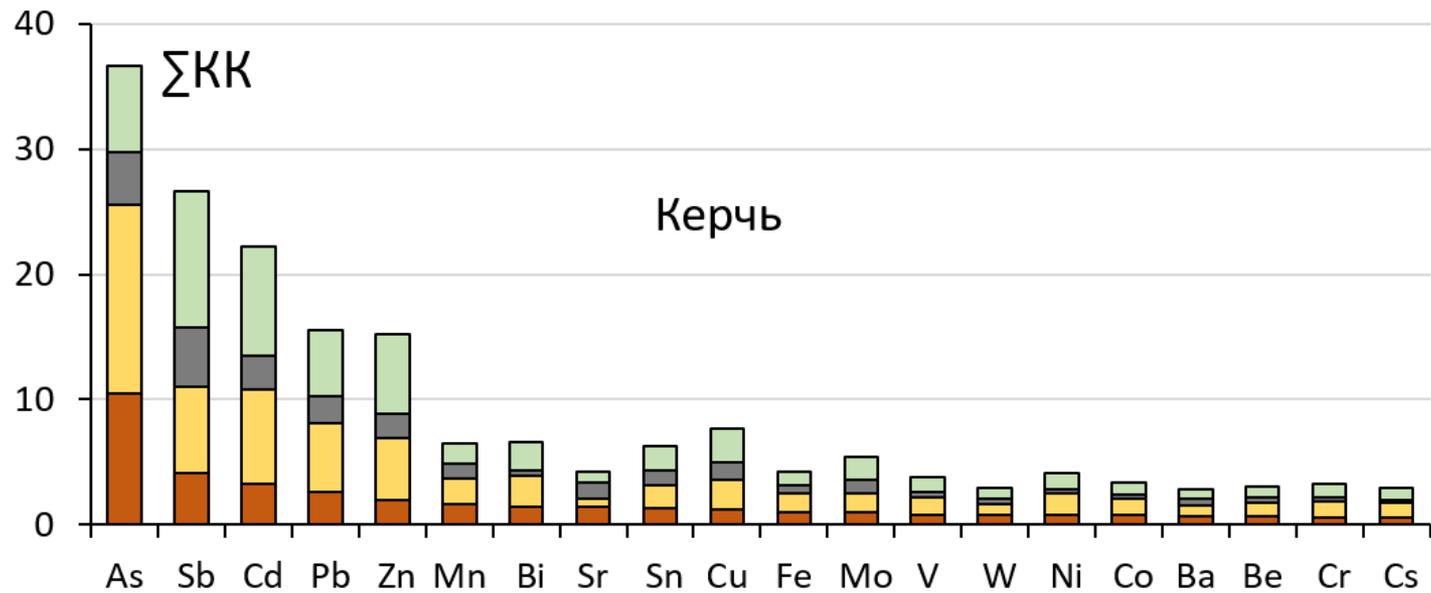
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ ТАГАНРОГА И КЕРЧИ

Элементы-индикаторы загрязнения частиц PM₁₀ почв и дорожной пыли в Керчи и Таганроге

Город	Компонент	Геохимическая специализация, КК			Zc
		> 6	3-6	< 3	
Керчь	PM ₁₀ городских почв	As ₁₅	Cd ₈ Sb ₇ Pb ₆ Zn ₅	Bi ₃ Cu ₂ Mn ₂ Sn ₂ Ni ₂ Mo ₂	16
	PM ₁₀ дорожной пыли	Sb ₁₁	Cd ₉ As ₇ Zn ₆ Pb ₅	Cu ₃ Bi ₂ Sn ₂ Mo ₂ Mn ₂	25
Таганрог	PM ₁₀ городских почв	–	Cd ₉ Zn ₆ Sb ₅ Pb ₄	As ₃ W ₂ Bi ₂ Sn ₂ Cu ₂	11
	PM ₁₀ дорожной пыли	Cd ₁₃ Zn ₁₀	Sb ₈ W ₅ Pb ₄ Cr ₃	Sn ₃ Cu ₃ Mn ₃ Mo ₂ As ₂ Bi ₂ Sr ₂	29

- Дорожная пыль и почвы Керчи и Таганрога в целом имеют сходный спектр накапливающихся элементов, однако отличаются набором приоритетных поллютантов.
- Для почв Таганрога по сравнению с почвами Керчи характерны более высокие уровни накопления Cd и Zn, тогда как в частицах PM₁₀ Керчи сильнее всего аккумулируются As и Sb, что связано с промышленной специализацией городов. Накопление As связано с геохимической специализацией почвообразующих пород Крымского полуострова и выбросами от Камыш-Бурунского металлургического комбината.
- Сравнение суммарного показателя загрязнения Zc PM₁₀ пыли двух городов также показало значительно более высокие и контрастные уровни загрязнения Таганрога по сравнению с Керчью.

Экологический портрет Керчи и Таганрога



Выводы

- 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(а,һ)антрацен (DBA), бенз(к)флуорантен (BkF), бенз(б)флуорантен (BbF), бенз(а)антрацен (BaA), бенз(а)пирен (BaP), бенз(ɡ,һ,і)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.

Выводы

- 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.

Научные публикации и доклады

Статьи в журналах:

Подготовлено к печати:

- Котов Д.В., Безбердая Л.А., Касимов Н.С. Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в почвах, дорожной пыли и их фракции РМ10 в Керчи и Таганроге // Почвоведение. 2024

Выпускная магистерская диссертация:

- Котов Д.В. Потенциально токсичные элементы в почвах и дорожной пыли Керчи и Таганрога. Москва. Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова. 2024 г.

Выступление на конференции:

- Котов Д.В. Загрязнение почв и дорожной пыли Керчи и Таганрога тяжёлыми металлами и металлоидами. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2024».