



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

УДК 631.41

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗАПЕЧАТАННЫХ ПОЧВ ВОСТОЧНОЙ МОСКВЫ

Е.М. Никифорова¹, Н.Е. Кошелева¹, Т.С. Хайбрахманов²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991

² Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС»
*Киевское шоссе, 1, Бизнес-парк «Румянцево», корп. А, 8 подъезд, оф. 732,
Москва, Россия, 108811*

Исследованы запечатанные дорожными покрытиями почвы в Восточном административном округе (ВАО) Москвы, установлены их морфологические и физико-химические свойства в зонах различного функционального назначения, оценено их эколого-геохимическое состояние и уровень содержания легкорастворимых солей (ЛС) и приоритетных органических загрязнителей — нефтепродуктов (НП) и бенз(а)пирена (БП) по сравнению с фоновыми и открытыми почвами. В основу статьи положены результаты почвенно-геохимической съемки экраноземов в сентябре 2016 г. и полученные ранее аналитические данные с незапечатанной территории в южной части ВАО. Разработана методика картографирования и составлена карта запечатанности почвенного покрова ВАО. Определено морфологическое строение и основные свойства горизонтов экраноземов в разных функциональных зонах ВАО. Они имеют низкое содержание органического вещества (2,24%), щелочной рН (8,0), легкосуглинистый гранулометрический состав. Несмотря на применение противогололедных реагентов и минеральных удобрений верхняя часть профиля запечатанных почв не засолена, соли накапливаются преимущественно в средней и нижней частях профиля, образуя максимумы в горизонте РАТ.

Экранирование почв асфальтобетоном не является препятствием для проникновения в них техногенных потоков загрязняющих веществ — солей, НП, БП, способных накапливаться в повышенных концентрациях и образовывать контрастные техногенные аномалии. Среднее содержание БП в запечатанных почвах превышает фоновый уровень в 56 раз, а ПДК — в 9,6 раза. Допустимое содержание НП в экраноземах превышено в 9,5 раза. Однако по сравнению с открытыми почвами содержание БП и НП в экраноземах в 3,5 раза меньше. Профильное распределение БП, как правило, равномерное, за исключением промышленной зоны, а НП — аккумулятивное с несколькими хорошо выраженными максимумами в разных частях профиля. В результате латеральной миграции БП и НП накапливаются в экраноземах нижних частей склонов, где они образуют аккумуляции на органоминеральном и сорбционно-седиментационном геохимических барьерах. Высококонтрастные техногенные аккумуляции углеводородов формируются преимущественно в экраноземах промышленной и транспортной зон. При вскрытии асфальта могут возникнуть риски, связанные с миграцией углеводородов в другие компоненты ландшафта, включением их в биологический круговорот и пищевые цепи.

Ключевые слова: запечатанные почвы, Москва, морфологическое строение, физико-химические свойства, загрязнение, нефтепродукты, бенз(а)пирен

Введение

К запечатанным почвам — экраноземам относятся городские почвы, закрытые дорожными покрытиями (асфальтом, асфальтобетоном), зданиями и сооружениями. Они представляют собой особую форму проявления технопедогенеза [1] и объединяют антропогенно-трансформированные и искусственно созданные почвы, развитые на культурном слое, насыпных, переотложенных и перемещенных грунтах [2]. По определению FAO [3], к запечатанным относятся почвы с пониженной проницаемостью вследствие поверхностного экранирования или уплотнения, произошедшего под воздействием природных и антропогенных процессов.

Наиболее очевидным следствием запечатывания является создание экрана между атмосферой и поверхностью почв, которое ограничивает их дальнейшее развитие. Отмечается повышенное уплотнение экраноземов по сравнению с открытыми почвами, которое связано с высокими техногенными вибрационными нагрузками. Небольшая проницаемость дорожных покрытий со временем увеличивается — проектный срок их износа в городах гумидной зоны составляет 10 лет [4], при этом слой покрытия ежегодно уменьшается на 4–5 см, образуя около 160–200 т/га продуктов его разрушения [5].

Как правило, запечатанность уменьшает эвапотранспирацию, увеличивает поверхностный дождевой сток и сильно изменяет тепловой баланс почв: чем больше плотность застройки, тем выше температура закрытой асфальтом поверхности. В жаркие летние дни разность температур между открытыми и запечатанными почвами достигает нескольких градусов, а дефицит относительной влажности воздуха составляет 10–20% [6]. Ослабление газового обмена ведет к недостатку кислорода и избытку углекислого газа под асфальтом, где могут наблюдаться экстремально низкие значения окислительно-восстановительного потенциала, которые определяются по более темной окраске почв [7].

В России городские почвы, как правило, обследовались только на открытых (незаасфальтированных) участках, а полученные данные распространялись на всю территорию, исходя из предположения, что их свойства идентичны. За рубежом вопросы морфологии, физико-химических свойств, эволюции и классификации запечатанных почв (*sealed soils*) изучаются вместе с открытыми почвами как единое целое [8].

Первые сведения о запечатанных почвах Москвы, включая их физико-химические, микробиологические свойства и загрязнение тяжелыми металлами были получены в Юго-Восточном округе [9]. Установлено, что под искусственным экраном почва продолжает функционировать и не становится абиотичной, ее влажность и температура достаточны для произрастания растений [10]. Экраноземы имеют низкую биологическую активность и особый состав микроорганизмов, доминирующие позиции в их микробном пуле занимает азотфиксатор *Azotobacter chroococum*, определяющий слабую активность цикла азота и низкую интенсивность процессов нитрификации и денитрификации. В почвах преобладают психротрофные микроорганизмы, развивающиеся в условиях низких температур ($t < 6,5$ °C), при существенном подавлении спорных бактерий [11].

Современный этап изучения городских почв немыслим без оценки экраноземов как важной и неотъемлемой составляющей почвенного покрова в урбанизированных экосистемах. С разработкой систематики почв и почвообразующих пород в г. Москве экраноземы выделены в особую группу и включены в общую классификацию [12]. Несмотря на доминирующее положение запечатанных почв в почвенном покрове Москвы и в других крупных городов мира [13], их свойства, особенности функционирования и уровень загрязнения остаются недостаточно изученными. Мало сведений об интенсивности вертикальной и латеральной миграции загрязняющих веществ (R-, L-анализ) в разных функциональных зонах города, накоплении поллютантов в профиле экраноземов на геохимических барьерах (ГХБ), не картографировались аномалии органических и неорганических загрязнителей.

Цель данной статьи — изучить морфологические, физико-химические и химические свойства экраноземов Восточной Москвы в зонах различного функционального назначения, оценить их эколого-геохимическое состояние и уровень содержания легкорастворимых солей (ЛС) и приоритетных органических загрязнителей — нефтепродуктов (НП) и бенз(а)пирена (БП) по сравнению с фоновыми и открытыми (незапечатанными) почвами. В основу статьи положены результаты почвенно-геохимической съемки экраноземов в сентябре 2016 г. и полученные ранее аналитические данные с открытой (незапечатанной) территории в южной части Восточного административного округа (ВАО) [14]. Для достижения цели решались следующие задачи:

- зонирование и составление карты запечатанности почвенного покрова ВАО;
- изучались основные физико-химические свойства (актуальную кислотность pH_b , содержание $C_{орг}$, гранулометрический состав, степень засоления противогололедными реагентами (ПГР)) и морфологическое строение типичных профилей экраноземов в разных функциональных зонах;
- устанавливались вертикальное (по профилю) и латеральное (в катене) распределение свойств, содержания НП и БП в экраноземах, оценивалась степень их экологической опасности и составлялись карты загрязнения на территории округа.

Источники загрязнения

Основным источником загрязняющих веществ в атмосфере ВАО Москвы служит автотранспорт, вклад которого составляет 92—95%, поставляющий поллютанты при работе двигателей, истирании шин, деталей и тормозных колодок автомобилей, абразии дорожного покрытия [14]. В округе также действуют свыше 50 промышленных предприятий, мусоросжигательный завод в Руднево и две крупные ТЭЦ (рис. 1), которые образуют несколько промышленных зон. Несмотря на спад промышленного производства в конце XX в. [15], загрязняющее воздействие промзон нашло отражение в современном эколого-геохимическом состоянии почв ВАО [16]. Их выбросы, стоки и отходы по мере образования трещин и разрушения слоя асфальтобетона вместе с атмосферными осадками и поверхностным стоком поступают в верхние горизонты экраноземов.

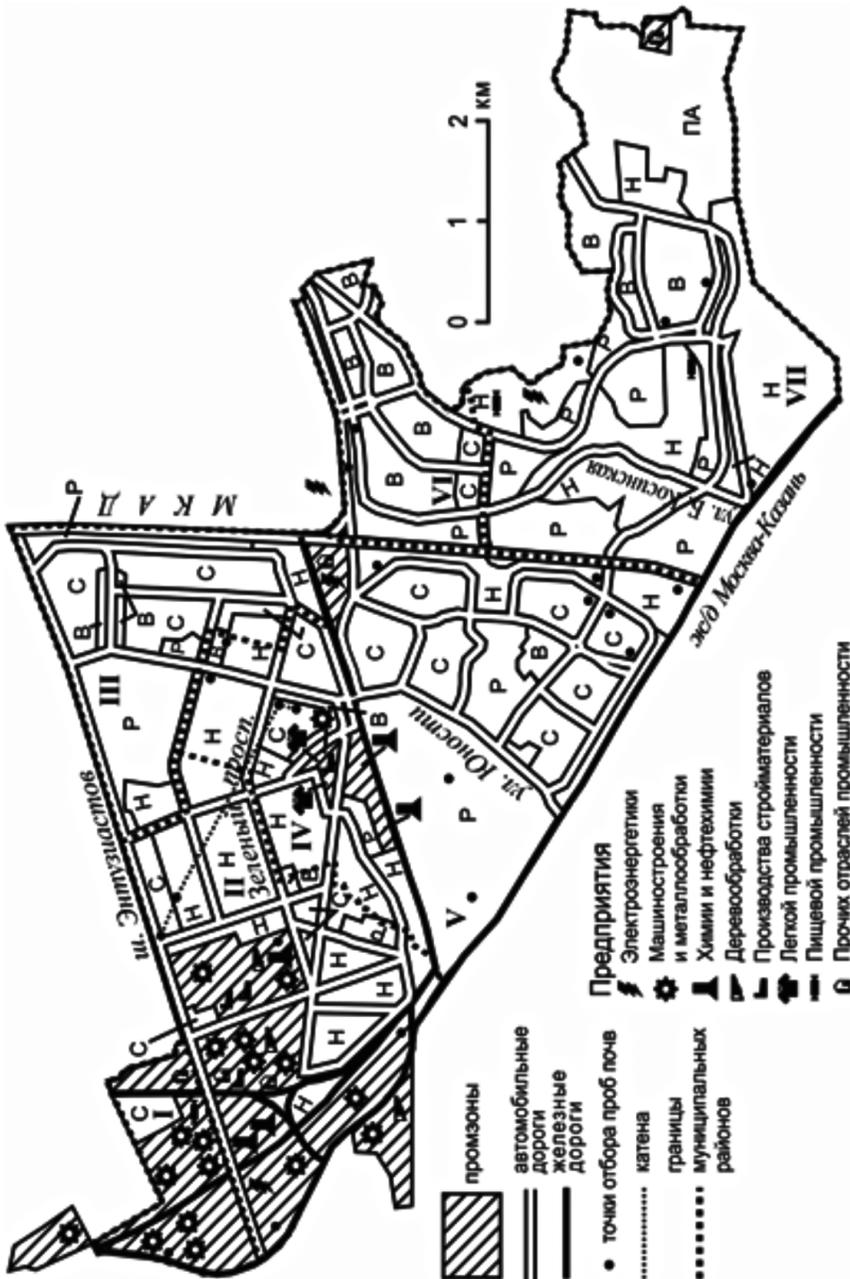


Рис. 1. Карта функционального зонирования территории, основных промышленных предприятий и точек отбора почв в южной части ВАО Москвы. Система координат УТМ. Функциональные зоны: Р — рекреационная; В, С, Н — жилая застройка повышенной, средней и низкой этажности соответственно; ПА — постагрогенная. Муниципальные районы: I — Соколиная гора, II — Перово, III — Ивановское, IV — Новогиреево, V — Вешняки, VI — Новокосино, VII — Косино-Ухтомский

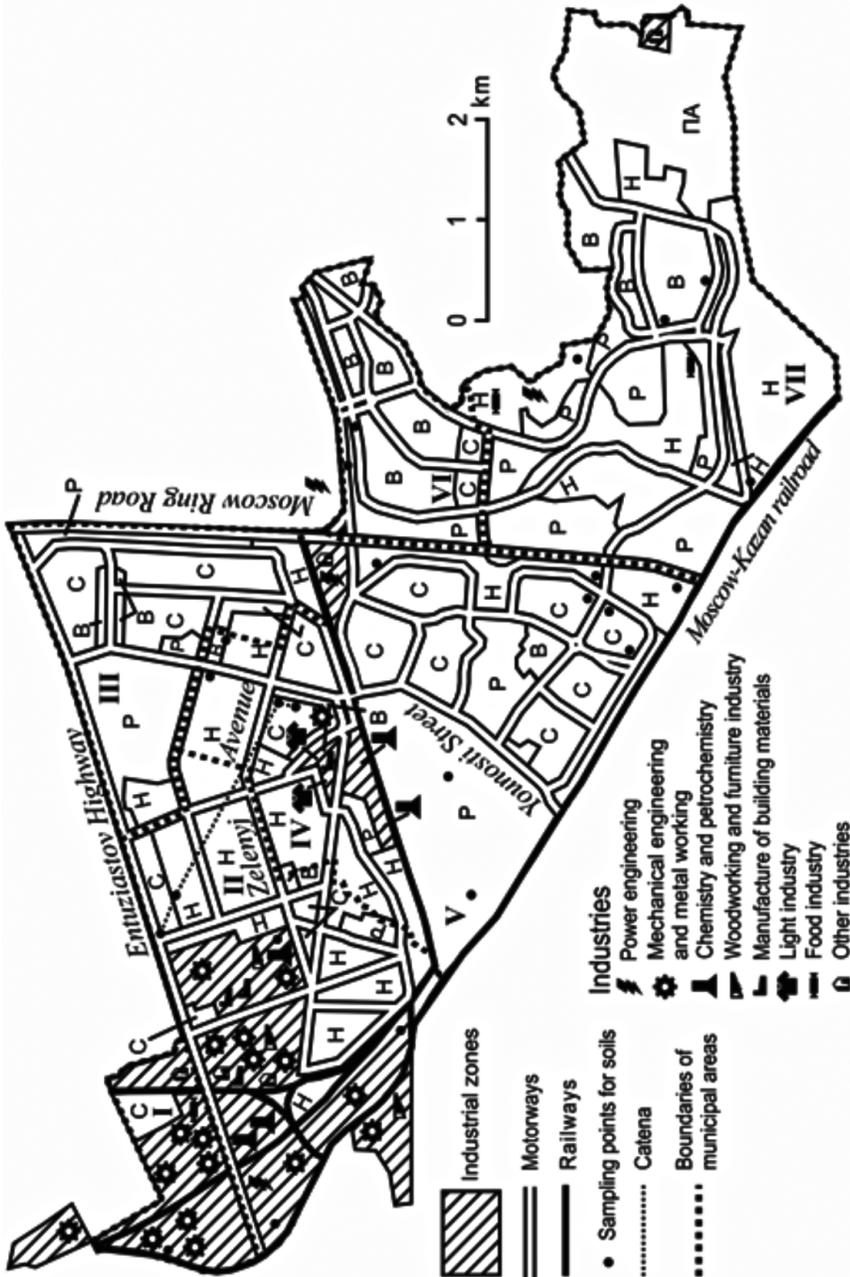


Fig. 1. Map of the land-use zoning of the territory, the main industrial enterprises and soil sampling points in the southern part of the EAD of Moscow. UTM coordinate system. *Land-use zones:* P — recreational; B, C, H — residential development of high-, mid- and low-rise, respectively; ПА — postagrogonic. *Municipal areas:* I — Sokolinaya gora, II — Perovo, III — Ivanovskoe, IV — Novogireevo, V — Veshnyaki, VI — Novokosino, VII — Kosino-Ukhtomsky

Приоритетными загрязнителями городских почв ВАО являются ЛС, входящие в состав ПГР, НП и их производные и наиболее опасный канцероген БП из группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [17]. Высокое содержание ЛС в незапечатанных почвах ВАО Москвы вызвано повышенным многолетним использованием ПГР для борьбы с гололедом. Содержание суммы солей в ПГР достигает 3260 смоль(экв)/кг, среди анионов доминируют хлориды, среди катионов — ионы натрия [18]. Применяемые в округе реагенты хлоридной группы практически полностью состоят из солей NaCl, ионы других солей содержатся в очень небольших количествах, преобладают сульфаты кальция [19; 20]. Противогололедные электролиты вместе с вносимыми минеральными удобрениями (норма 150—200 г/м² за прием) формируют высокий уровень загрязнения ЛС в незапечатанных почвах города, угнетающие почвенную биоту и рост зеленых насаждений [21].

НП представляют собой техногенные углеродистые вещества, которые появляются в природной среде в результате переработки нефти. Существующие сотни и тысячи марок НП подразделяют на группы: газообразные и жидкие топлива, смазочные материалы, парафины и церезины, битумы, технический углерод (сажа), нефтяной кокс и нефтяные пеки [22]. Продукты первичной переработки нефти состоят из фракций: бензиновой, лигроиновой (тяжелая нефть), керосиновой, дизельной и мазута, а после вакуумной перегонки нефти образуются легкие масла (трансформаторное масло), вакуумный газойль, средние, тяжелые масла и гудрон (вакуумный остаток). При вторичных процессах переработки нефти к НП добавляются новые токсичные соединения, которые в природе встречаются редко: непредельные углеводороды, ПАУ и их производные. Наибольшая опасность для здоровья человека возникает при вдыхании углеводородных растворителей, которые подавляют окислительно-восстановительные процессы, вызывают нарушение тканевого дыхания, угнетают сердечную деятельность, снижают функции печени, пищеварения, щитовидной железы и некоторых других органов.

При загрязнении почв органическими соединениями высокую опасность представляет бенз(а)пирен (БП) — высокомолекулярный полициклический ароматический углеводород, оказывающий канцерогенное, мутагенное и нейротоксическое воздействие на животных и человека [23; 24]. Источниками БП являются выбросы промышленных производств, отопительных и транспортных систем, продукты сжигания бытового мусора и разных видов топлива [25; 26]. Из загрязненного воздуха БП поступает в снег или почвы с пылью, аэрозолями, осадками, аккумулируясь в их поверхностном слое [27—31]. БП часто рассматривается как показатель общей канцерогенной активности всей группы ПАУ в окружающей среде [32].

Методы и материалы

Исследовалась южная часть ВАО Москвы в пределах семи муниципальных районов: Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский (см. рис. 1). Территория относится к южно-таежным

ландшафтам Подмосковной Мещеры и представляет собой плоскую зандровую равнину междуречья Москвы и Клязьмы с абсолютными высотами 150—160 м, сложенную водно-ледниковыми и древнеаллювиальными отложениями [33].

Эколого-геохимические исследования экраноземов проводились на основе функционального зонирования территории ВАО [34]. Карта зонирования, составленная на основе космических снимков сверхвысокого разрешения (2,4 м Quick Bird), включает пять зон: промышленная с нежилой застройкой, транспортная, селитебная (разной этажности), рекреационная и постагрогенная (см. рис. 1).

При полевом изучении экраноземов использовались различные вскрышные ямы и каналы, заложенные городскими службами. Опробовалась верхняя часть профиля почв мощностью в среднем до 70 см, находящаяся под слоем асфальта и нижележащей дорожной «песчано-гравийной подушкой». В глубоких (до 2 м) разрезах отбор проб проводился по всему профилю почв, включая почвообразующую породу. Всего из 4 полнопрофильных и 35 неглубоких разрезов собраны 63 пробы экраноземов (см. рис. 1). Для сравнения привлечены данные по 52 поверхностным пробам почв с открытых (незаасфальтированных) участков и 10 фоновым пробам из ненарушенных ландшафтов Подмосковной Мещеры, в 50 км к востоку от города [17].

Физико-химические и химические свойства экраноземов, открытых городских и фоновых почв анализировались в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ общепринятыми методами [35]: актуальная кислотность (рН) — в водной суспензии на стационарном приборе «Эксперт-рН», содержание $C_{\text{орг}}$ — методом Тюрина с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав — на лазерном микроанализаторе “Analyzette 22 comfort” (Германия), растворимые вещества-электролиты — по удельной электропроводности водной вытяжки (TDS) на кондуктометре “SevenEasy S30” (Mettler Toledo). Содержание НП и БП в почвах определено методами люминесцентно-битумологического анализа и низкотемпературной спектрофлуориметрии в лаборатории углеродистых веществ биосферы географического факультета МГУ (аналитик Н.И. Хлынина).

Обработка почвенно-геохимических данных включала расчет коэффициентов накопления относительно фона: $K_c = C/C_{\text{ф}}$, где C и $C_{\text{ф}}$ — концентрации в городских и фоновых почвах. Статистический анализ данных проводился в программном пакете STATISTICA 8, картографирование экраноземов, загрязненных НП и БП, выполнено в пакете ArcGIS 10 с помощью градуированных символов. Катенарное распределение БП и НП в поверхностных горизонтах экраноземов оценивалось с помощью коэффициента латеральной дифференциации L , определяемого как отношение содержания поллютанта в экраноземах рассматриваемого ландшафта к автономному.

Методика составления карты запечатанности почв масштаба 1:50 000 включала автоматизированное дешифрирование космического многозонального снимка QuickBird с определением соотношения площадей открытых и заасфальтированных (застроенных) участков. В качестве единицы картографирования исполь-

зовались функциональные зоны, в каждой из которых выделялись три степени запечатанности городских почв: низкая, средняя, высокая. При значительном варьировании этого показателя границы каждой из степеней были индивидуальными для каждой функциональной зоны. С помощью операции зональной статистики в пакете ArcGIS подготовленный космический снимок с набором классов: водные объекты, растительность, антропогенные объекты (асфальтовые покрытия, здания и др.) был отнесен к полигонам слоя основной карты функциональных зон и для отдельных выделов получено количество пикселей того или иного класса внутри него. Путем суммирования этих значений было найдено их общее количество для всех выделов. Процент запечатанности почв вычислялся как доля площади под антропогенными объектами к общей площади зоны.

Результаты и их обсуждение

Запечатанность почвенного покрова ВАО. На первом этапе изучения экраноземов в результате дешифрирования космических снимков была составлена карта запечатанности почвенного покрова в южной части ВАО Москвы (рис. 2), которая показывает распространенность экраноземов в различных функциональных зонах округа. Цвет выдела на карте соответствует функциональной зоне, а насыщенность цвета — степени запечатанности почв по принципу, чем темнее, тем более запечатана территория.

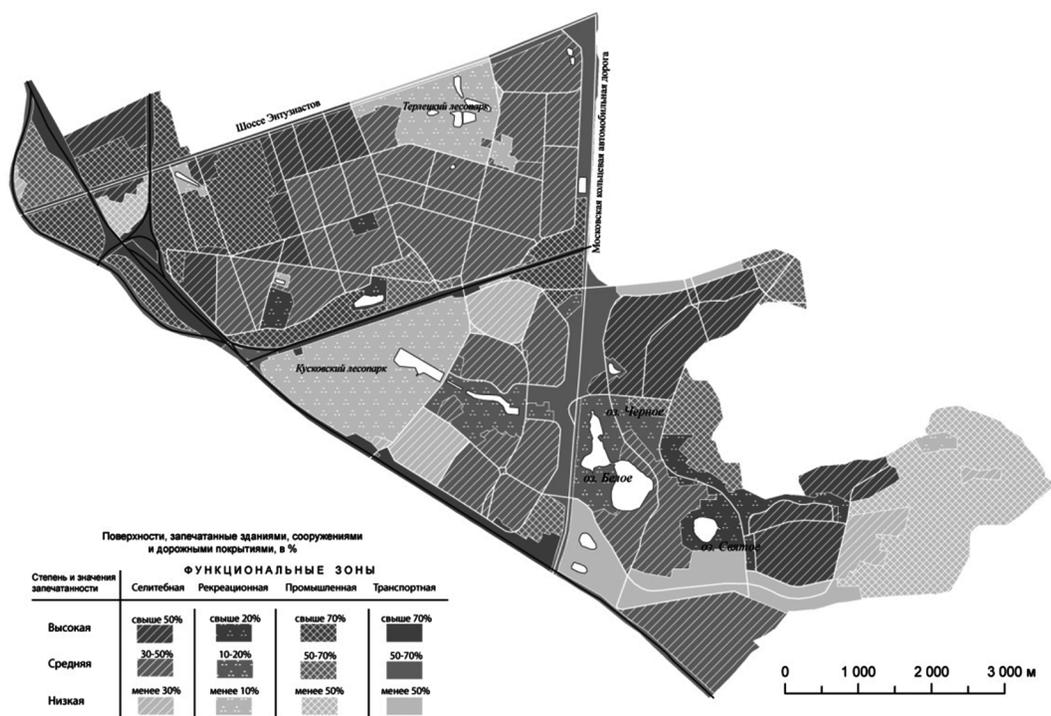


Рис. 2. Запечатанность почвенного покрова в различных функциональных зонах южной части ВАО Москвы, масштаб 1:50000

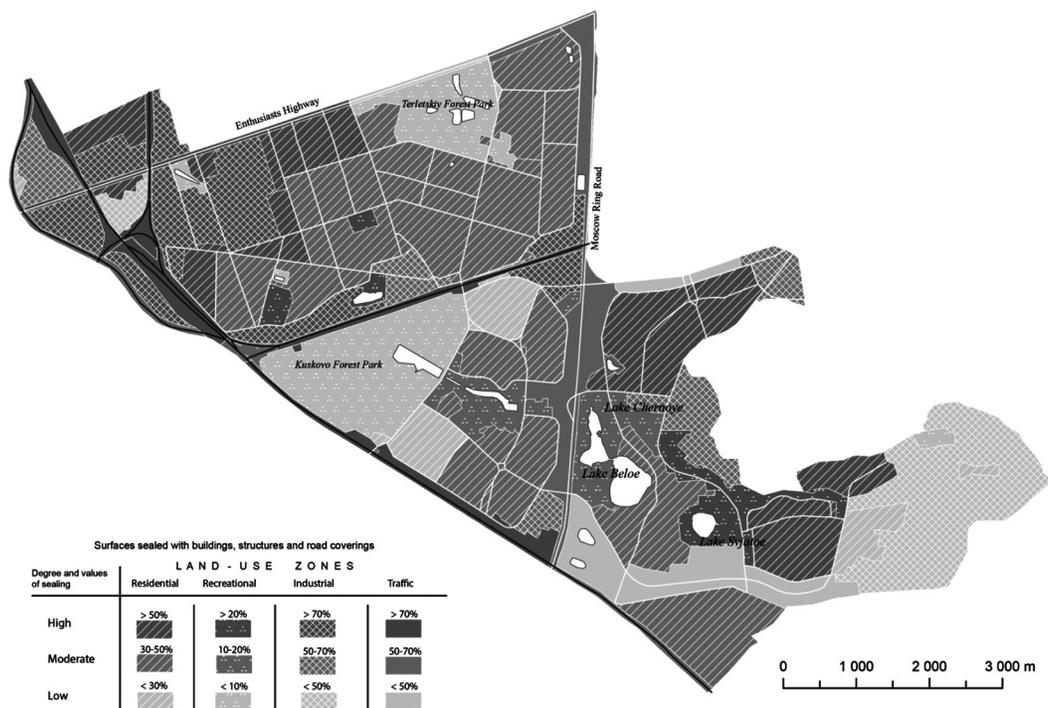


Fig. 2. Sealing degree of soil cover in various land-use zones of the southern part of the EAD in Moscow, scale 1:50000

Наибольшая степень запечатанности (>70%) характерна для почв промышленной и транспортной зон, наименьшая (<10%) — для рекреационной зоны. Высокой степенью запечатанности отличаются почвы в основном старых районов округа, это территории промышленных и жилых зон Перово с плотной застройкой смешанной и периметральной структуры. Повышенная степень запечатанности почв характерна для районов нового многоэтажного строительства Новокосино и Косино-Ухтомского района, низкая степень — для жилых кварталов с высокой и средней степенью озеленения в районах Вешняки, Ивановское и Новогиреево. Карта запечатанности почв ВАО г. Москвы имеет много общих черт с распространением экраноземов в ЮВАО [10]. Наибольшие площади закрытых поверхностей в ЮВАО так же приходится на промышленную зону, где запечатанность может достигать 90%, почвы природного комплекса и агрозоны закрыты на 20%, жилой застройки — на 20—75%.

Основные черты строения профиля экраноземов. Запечатанными дорожными покрытиями могут оказаться все типы почв, распространенные на территории округа. Строение их профиля очень специфично и вместе с тем многообразно. В наиболее трансформированных типах экраноземов, развитых в промышленной или транспортной зонах, может полностью отсутствовать система природных генетических горизонтов и доминировать техногенные слои. В других зонах в профиле экраноземов обычно наблюдается сочетание различных по окраске и мощности слоев и прослоек искусственного генезиса с резким переходом и довольно ровной границей. При укладке асфальта покрытия часто срезается или добавляется верхняя часть профиля, а другие генетические горизонты настолько

сильно видоизменяются, что их морфогенетическое изучение становится чрезвычайно затруднительным. По этой причине к таким почвам сложно применять традиционный профильно-генетический подход, поэтому их морфологический анализ и диагностика проводились путем сравнения с так называемой «матрицей почвенного тела», т.е. со структурным каркасом природной почвы, определяемым системой ее субстантивно-организованных свойств и признаков [36]. Этот метод успешно применялся для диагностики различных типов техногенно-трансформированных и преобразованных почв в районах нефтедобычи [37].

Строение профиля экраноземов на территории ВАО наряду с морфогенетическим анализом определялось на основе выделения диагностических горизонтов, а название почв напрямую связывалось с наличием, мощностью и их сочетанием в профиле. В диагностических горизонтах учитывались не только морфологические признаки, но и химические и физико-химические свойства. Строение профиля экраноземов, развитых на культурных наносах и распространенных в различных функциональных зонах ВАО Москвы имеет типичный профиль со следующими горизонтами и антропогенными слоями (рис. 3):

— асфальтобетон (Асф), как основное покрытие экраноземов, является искусственным строительным материалом, полученным в результате уплотнения асфальтовой смеси, песка, минерального порошка и битума [4]. Асфальтобетонная смесь обычно состоит из оптимально подобранных минеральных материалов (щебня, гравия и песка) с добавлением тонкодисперсного минерального порошка (или без него) и органического вяжущего материала — битума, которые перемешиваются в нагретом состоянии и применяются для строительства автомобильных дорог, тротуаров и различных городских покрытий. Слой Асф обычно подстилается песчано-гравийной подушкой (ПГ) разной мощности;

— широко распространенный горизонт урбик *UR* характеризуется бурой или буровато-коричневой неравномерной окраской, преимущественно легким гранулометрическим составом, структурные отдельности имеют горизонтальную делимость, местами ярко выраженную плитчатость, он непрочный, пылеватый, плотный, в верхней (подасфальтовой) части более увлажненный, содержит много углистых частиц, отдельные железистые новообразования, реагирует с кислотой HCl . Антропогенные включения (более 10%) представлены строительным и бытовым мусором (обломки кирпичей, асфальта, арматуры, керамики, битое стекло, обрывки целлофана и отдельные части бытовых предметов и др.);

— горизонт *A_{Yur}* имеет однородную серо-бурю или буровато-темносерую окраску, преимущественно комковатый или зернисто-комковатый, часто с горизонтальной делимостью в крупных агрегатах, суглинистого гранулометрического состава, с большим количеством углефицированных частиц, образующих сложный пятнистый рисунок, уплотненный, свежий или влажный (если залегает сразу под асфальтом), встречаются рыхлые Fe-Mn охристые образования, содержит антропогенные включения (менее 10%), слабо реагирует с кислотой HCl ;

— горизонт *TCH* — техногенно-перемешанный, неоднородный бесструктурный материал различного цвета без видимых признаков почвообразования и природного залегания, часто затронут процессами оглеения, характеризуется высокой плотностью и влажностью, содержит многочисленные антропогенные включения (более 20%), редко вскипает от кислоты HCl ;

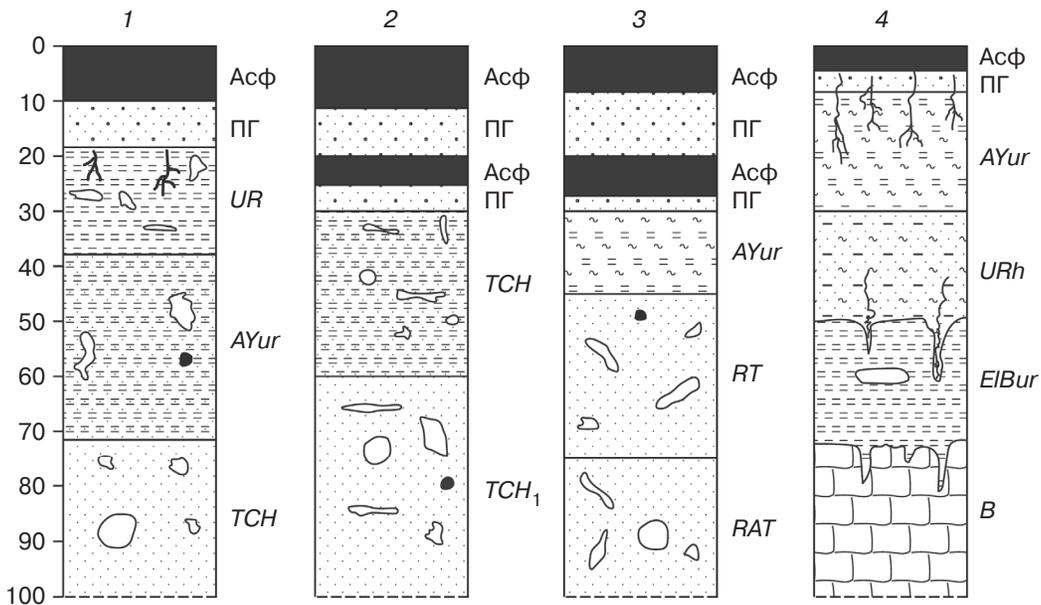


Рис. 3. Морфологические профили экраноземов в различных функциональных зонах ВАО Москвы: 1 — экранозем по урбанозему (Косино-Ухтомский район, пос. Ухтомский, жилые зоны низкой этажности); 2 — экранозем по индустризему (район Перово, улица Плеханова, промышленная зона); 3 — экранозем по реплантозему (район Вешняки, улица Вешняковская, транспортная зона); 4 — экранозем по урбо-подзолистой почве (район Новокосино, Триозерье, рекреационная зона). *Диагностические горизонты и антропогенные слои:* Асф — асфальт; ПГ — песчано-гравийная подушка; UR, URh — урбик, гумусово-аккумулятивный; AYur — гумусовый с признаками урбопедогенеза; TCH — техногенный перемешанный грунт; RAT — техногенный рекультивационный с включением органических остатков; RT — органический рекультивационный (торфосодержащая смесь); EIBur — элювиально-иллювиальный горизонт с признаками урбогенеза; B — иллювиальный горизонт

[**Fig. 3.** Morphological profiles of ekranozems in various land-use zones of the EAD in Moscow: 1 — ekranozem on urbanozem (Kosino-Ukhtomsky area, Ukhtomsky village, low-rise residential sector); 2 — ekranozem on industrizem (Perovo area, Plekhanova street, industrial zone); 3 — ekranozem on replantozem (Veshnyaki area, Veshnyakovskaya street, traffic zone); 4 — ekranozem on urbo-podzolic soil (Novokosino area, Triozerje, recreational zone). *Diagnostic horizons and anthropogenic layers:* Асф — asphalt; ПГ — sand and gravel cushion; UR, URh — urbic, humus-accumulative; AYur — humus with signs of urbopedogenesis; TCH — technogenic mixed ground; RAT — technogenic recultivated with the inclusion of organic residues; RT — organic recultivated (peat mixture); EIBur — eluvial-illuvial horizon with signs of urbogenesis; B — illuvial horizon]

— горизонт *RAT* — основной поверхностный рекультивант городских почв и грунтов, имеет темно-серую или темно-коричневую окраску и комковатую структуру, суглинистый гранулометрический состав, обычно включает растительные остатки разной степени разложения, фрагменты торфа и минеральные компоненты, свойства которых регламентируются Постановлением Правительства Москвы № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве». Такая смесь регулярно добавляется в верхний горизонт городских почв, поэтому горизонт постоянно обновляется и после запечатывания асфальтом может иметь различный цвет, повышенную влажность и плотность, как правило, не содержит твердых антропогенных включений и характеризуется слабым вскипанием от кислоты HCl;

— горизонт *RT* также состоит из торфосодержащих компонентов, отличается от органического горизонта *RAT* большим (более 30%) содержанием слабо минерализованного органического вещества, обычно без антропогенных включений, рыхлый, свежий, не вскипает от HCl.

Физико-химические и химические свойства экраноземов. По своим свойствам запечатанные почвы довольно сильно отличаются от почв ненарушенных фоновых ландшафтов (табл. 1). Верхние горизонты экраноземов характеризуются низким содержанием органического вещества, слабощелочным pH, легко- и средне-суглинистым гранулометрическим составом. Судя по средним значениям удельной электропроводности *TDS*, почвы не засолены, несмотря на ежегодное применение ПГР и внесение удобрений в соседствующие с ними открытые почвы. Средняя удельная электропроводность, характеризующая содержание солей, равна 0,195 мСм/см, что в 15 раз ниже допустимого уровня 3,0 мСм/см [38]. Наиболее высокое содержание $C_{орг}$ имеют экраноземы рекреационной зоны, а щелочной pH — селитебной и промышленной зон. Существенной разницы в гранулометрическом составе между зонами не обнаружено, они везде преимущественно легкосуглинистые, а фоновые почвы супесчаные. По сравнению с почвами открытых участков экраноземы в среднем имеют в 1,5 раза более низкое содержание $C_{орг}$, более легкий гранулометрический состав, обладают близкой к незапечатанным почвам реакцией среды (pH = 8,0) и не накапливают солей в верхних горизонтах профиля.

Таблица 1

Физико-химические и химические свойства верхних горизонтов фоновых почв, экраноземов и незапечатанных почв в ВАО Москвы

Показатель	Глубина, см	$C_{орг}$, %	pH _v	<i>TDS</i> , мСм/см	Физическая глина, %	БП, мг/кг	НП, мг/кг
Фоновые дерново-подзолистые почвы Мещеры ($n^* = 10$)							
Среднее	0–25	0,73	4,9	0,03*	12,0	0,0034	0,00
Промышленная зона ВАО ($n = 6$)							
Среднее		1,68	8,11	0,173	22,7	0,449	2608
min-max	3–55	0,24–3,23	7,55–8,73	0,093–0,334	9,4–36,6	0,114–1,68	225–10000
Транспортная ($n = 7$)							
Среднее		2,23	7,87	0,174	24,5	0,142	5714
min-max	4–61	0,06–7,01	7,32–8,65	0,083–0,450	4,1–36,7	0,001–0,934	27–30800
Селитебная ($n = 13$)							
Среднее		2,11	8,19	0,260	24,0	0,0798	775,4
min-max	5–68	0,01–5,88	7,29–9,37	0,100–0,987	14,1–38,5	<0,001–0,449	<5–5000
Рекреационная ($n = 4$)							
Среднее		3,95	7,28	0,080	20,1	0,255	5005
min-max	5–60	1,47–6,34	6,49–7,70	0,059–0,116	10,5–26,4	<0,001–0,54	<5–14500
Экраноземы ВАО в целом ($n = 30$)							
Среднее		2,24	8,0	0,195	23,2	0,192	2858
min-max	3–68	0,03–7,01	6,49–9,37	0,059–0,450	4,1–38,5	<0,001–1,68	<5–30800
Незаасфальтированные почвы ВАО ($n = 52$)							
Среднее	0–20	3,35	7,8	0,48**	33,0	0,644	10000***

* n — число проб, ** плотный остаток солей, %, *** по данным работы [39].

Table 1

Physico-chemical and chemical properties of the upper horizons of background soils, ekranozems and unsealed soils in the EAD of Moscow

Index	Depth, cm	C _{org} , %	pH _{water}	TDS, dS/m	Physical clay, %	BaP, mg/kg	PP, mg/kg
Background sod-podzolic soils of Meshchera (n* = 10)							
Mean	0-25	0,73	4,9	0,03*	12,0	0,0034	0,00
Industrial zone of EAD (n = 6)							
Mean		1,68	8,11	0,173	22,7	0,449	2608
min-max	3-55	0,24-3,23	7,55-8,73	0,093-0,334	9,4-36,6	0,114-1,68	225-10000
Traffic zone (n = 7)							
Mean		2,23	7,87	0,174	24,5	0,142	5714
min-max	4-61	0,06-7,01	7,32-8,65	0,083-0,450	4,1-36,7	0,001-0,934	27-30800
Residential zone (n = 13)							
Mean		2,11	8,19	0,260	24,0	0,0798	775,4
min-max	5-68	0,01-5,88	7,29-9,37	0,100-0,987	14,1-38,5	<0,001-0,449	<5-5000
Recreational zone (n = 4)							
Mean		3,95	7,28	0,080	20,1	0,255	5005
min-max	5-60	1,47-6,34	6,49-7,70	0,059-0,116	10,5-26,4	<0,001-0,54	<5-14500
All ekranozems of EAD (n = 30)							
Mean		2,24	8,0	0,195	23,2	0,192	2858
min-max	3-68	0,03-7,01	6,49-9,37	0,059-0,450	4,1-38,5	<0,001-1,68	<5-30800
Unsealed soils of EAD (n = 52)							
Mean	0-20	3,35	7,8	0,48**	33,0	0,644	10000***

* n — number of samples, ** total amount of dissolved salts, %, *** according to data [38].

По уровню загрязнения БП и НП экраноземы также сильно отличаются от фоновых почв (табл. 1), характеризуюсь значительной неоднородностью и повышенными средними концентрациями. Превышение норматива по БП (0,02 мг/кг) достигает в среднем 9,6 ПДК, а фонового уровня — 56 раз. Допустимое содержание НП в городских почвах, составляющее < 300 мг/кг [37], в экраноземах превышено в 9,5 раза. Наиболее высокая степень загрязнения БП выявлена в почвах промышленной, а НП — транспортной и рекреационной зон. Качественный состав НП в экраноземах описывается как смесь окисленных веществ с высоким содержанием смолистых компонентов [22]. Экраноземы загрязнены БП и НП в 3,4—3,5 раза меньше, чем незапечатанные почвы.

Полученные в ВАО данные согласуются со сведениями об экраноземах г. Владимира, в которых рН колеблется в диапазоне 7,4—8,6, а среднее содержание НП в верхних горизонтах почв разных функциональных зон — от 560 до 910 мг/кг, что соответствует умеренному уровню загрязнения; в нижних горизонтах их концентрации уменьшаются до пределов 60—480 мг/кг, что оценивается как фоновый или слегка повышенный уровень [40]. Аналогичные оценки получены другими исследователями, изучавшими морфологическое строение профиля и свойства

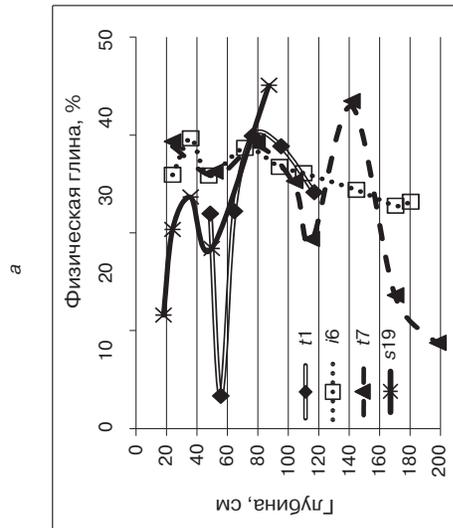
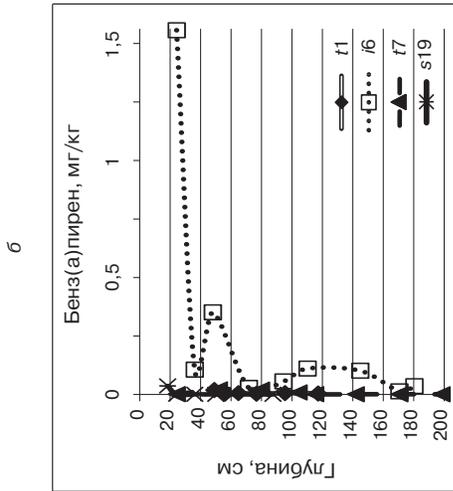
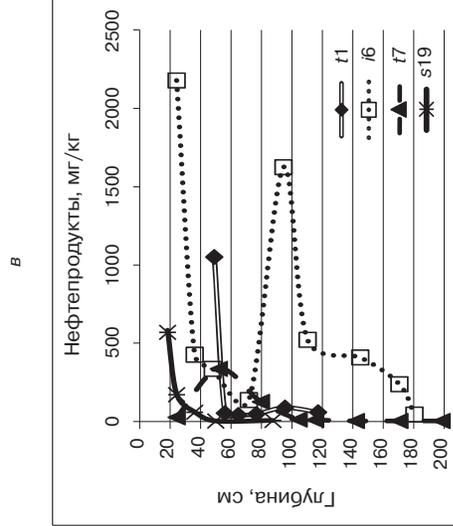
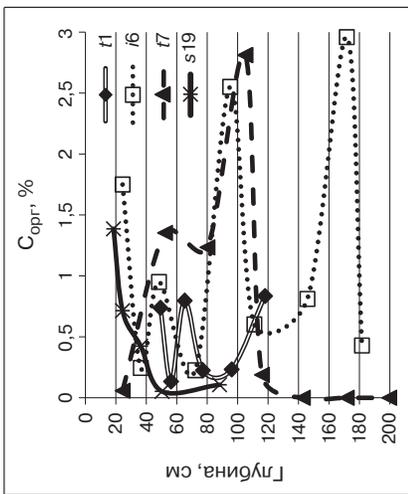
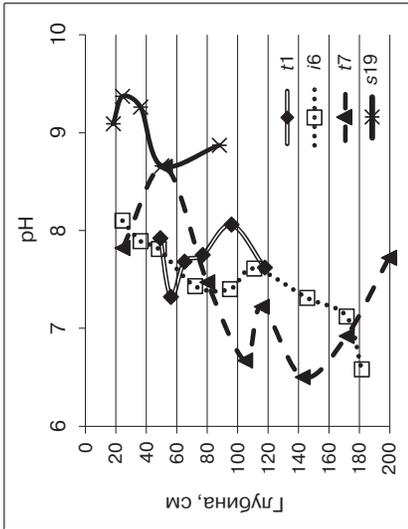
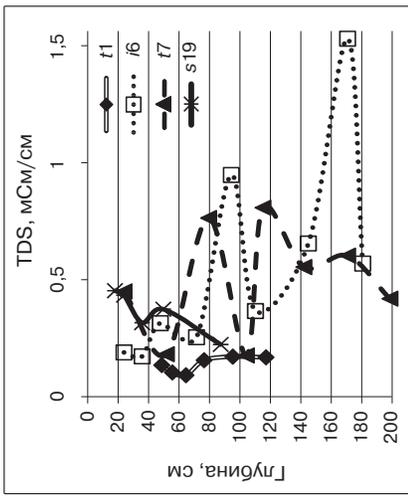
экрanoземов в г. Москве [9; 10; 41; 42]. Ими установлено, что в ряде городских районов актуальная кислотность запечатанных почв по сравнению с зональными дерново-подзолистыми почвами отклоняется в сторону подщелачивания, значения рН колеблются в интервале 6,5–9,3. Экраноземы обогащены гумусом, его содержание варьирует от 0,5 до 6,0%, что так же превышает зональные параметры; гранулометрический состав преимущественно супесчаный и легкосуглинистый, с антропогенными включениями до 50%.

Вертикальное распределение загрязнителей в профиле экраноземов. В профиле экраноземов ниже Асф и ПГ, залегающих в среднем до глубины 20 см, рассматриваемые загрязнители распределяются в зависимости от степени трансформации физико-химических свойств отдельных горизонтов и возможностей их накопления на техногенных ГХБ (рис. 4).

Распределение содержания $C_{орг}$ в профиле почв имеет аккумулятивный характер с несколькими хорошо выраженными максимумами по всему профилю, причем накопление органики в нижних горизонтах *RAT* и *RT* проявляется лучше, чем в приповерхностном горизонте *UR* (рис. 4). Пики $C_{орг}$ до 2,8–3% на глубине около 100 и 170 см наблюдаются в почвах промышленной и транспортной зон, в то время как их приповерхностные аккумуляции не превышают 1,35%. Всем горизонтам почв в разных функциональных зонах свойственна нейтральная и щелочная реакция среды (рис. 4). Сильнощелочные значения рН = 9,3–9,4 установлены в горизонте *UR* селитебной зоны средней этажности, почвы которых даже на глубине 90 см имеют щелочную реакцию среды (рН = 8,9). В профиле почв других зон также прослеживаются несколько пиков щелочности на глубинах 50, 100–120 и 200 см.

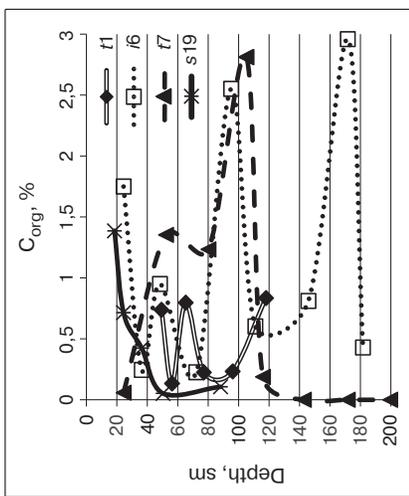
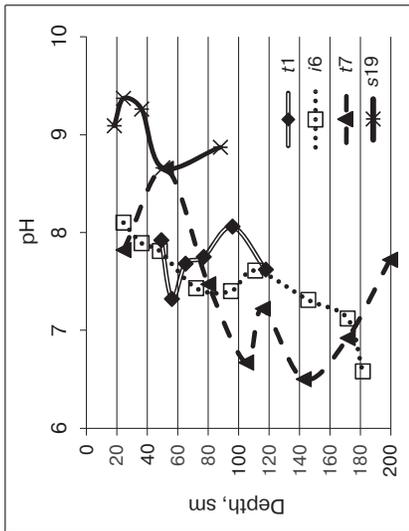
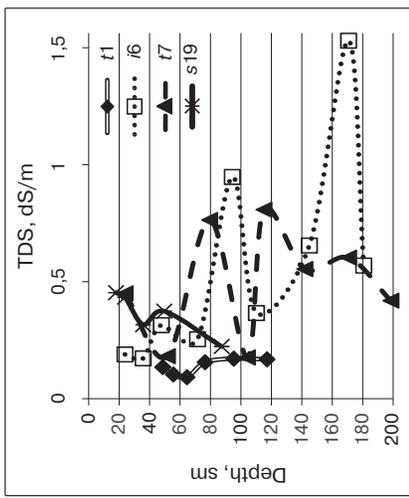
Общее содержание ЛС в подасфальтовом горизонте *UR* невысокое ($TDS < 0,5$ мСм/см), но в средней и нижней частях профиля соли образуют несколько зон концентрации со значениями $TDS = 0,81–1,53$ мСм/см в горизонте *RAT* на глубинах 80, 100, 120 и 170 см (см. рис. 4) в результате их сезонного выщелачивания из верхней части профиля. Содержание физической глины (частиц $< 0,01$ мм) увеличивается до глубины 80 см от 15 до 35%, что указывает на преобладание легкосуглинистого гранулометрического состава (см. рис. 4). В нижней части профиля он становится средне- и тяжелосуглинистым, с содержанием физической глины 30–40 и 40–50% в горизонтах ТСН почв транспортной и селитебной зон.

БП в вертикальном профиле экраноземов распределен равномерно и только в почвах промышленной зоны отмечены две его приповерхностные аккумуляции в горизонте *UR* на глубине 25 и 50 см с содержанием 1,7 и 0,4 мг/кг и превышением ПДК в 20 и 85 раз соответственно (см. рис. 4). Третий небольшой пик накопления БП (около 0,1 мг/кг), выявленный в горизонте *RAT* на глубине 120–160 см, составляет 5 ПДК. Распределение НП по профилю экраноземов имеет аккумулятивный характер с несколькими хорошо выраженными максимумами (до пределов 585–2240 мг/кг) в верхней части профиля (гор. *UR* и *AYur*) и на глубине 100 см (гор. *RAT*) в селитебной и промышленной зонах (см. рис. 4), что превышает допустимую норму в 2–7,5 раза.



а б в г д е

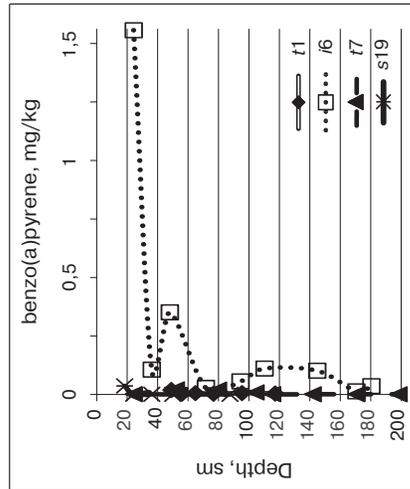
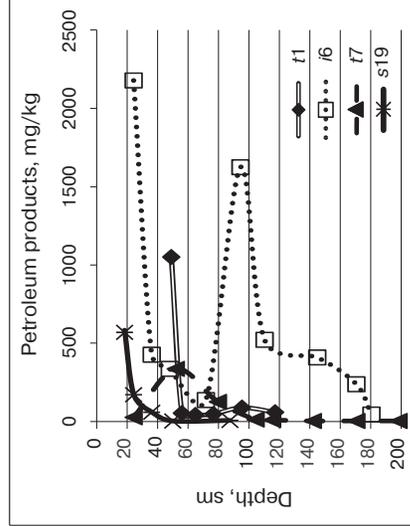
Рис. 4. Основные свойства и распределение загрязняющих веществ в вертикальном профиле экраноземов в разных функциональных зонах ВАО Москвы (а—е). Местоположение почвенных разрезов: t1 — транспортная зона (ул. Красный Казанец); /6 — промышленная зона (Кузовская улица); t7 — транспортная зона (Зеленый проспект); s19 — селитебная зона средней этажности (ул. Вешняковская)



a

b

c



d

e

f

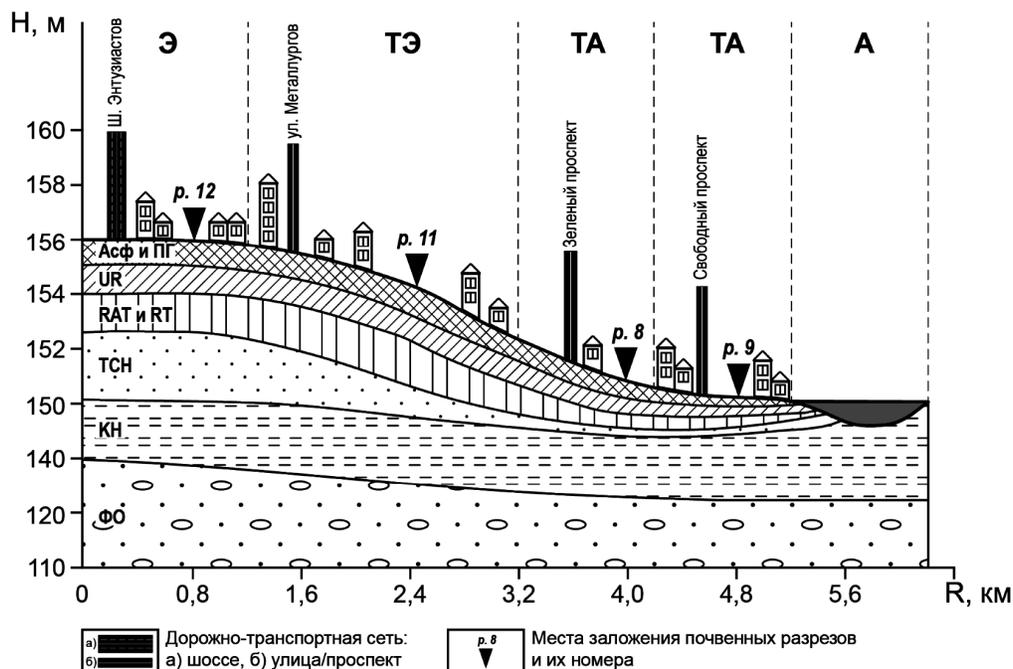
Fig. 4. The main properties and distribution of pollutants in the vertical profile of ekranozems in different land-use zones of the EAD in Moscow (a–f). Location of soil pits: t1 — traffic zone (Krasny Kazanets street); i6 — industrial zone (Kuskovskaya street); t7 — traffic zone (Zeleniy avenue); s19 — residential mid-rise zone (Veshnyakovskaya street)

Латеральное распределение загрязнителей в экраноземах. По условиям миграции загрязнителей на территории округа выделены элювиальные (автономные) и подчиненные (гетерономные) элементарные ландшафты (рис. 5). Применяемый катенарный подход дает возможность связать запечатанные почвы в единую сопряженную систему, в которой происходит миграция, трансформация и аккумуляция загрязняющих веществ, поступающих от техногенных источников. Искусственное покрытие в экраноземах создает в верхних горизонтах своеобразный парниковый эффект [6], усиливающий степень увлажнения их подэкранных слоев и способствующий образованию вертикальных (внутрипрофильных) и латеральных (склоновых) миграционных потоков загрязняющих веществ, способных накапливаться на техногенных ГХБ.

Изменения по длине катены в селитебной зоне ВАО основных почвенных показателей и загрязняющих веществ (рис. 5) показывают, что если значения $pH_{\text{в}}$ варьирует незначительно, то латеральное распределение $C_{\text{орг}}$, ЛС, БП, НП и отчасти физической глины, обнаруживает накопление в экраноземах трансаккумулятивных ландшафтов, представляющих собой нижние части склонов водоразделов. Аккумуляция поллютантов происходит на органоминеральном (сорбция органическим веществом почв) и сорбционно-седиментационном (сорбция на поверхности тонких фракций почвенных частиц) ГХБ [43], где концентрации БП и НП в 11 и 6,5 раз выше по сравнению с почвами элювиальных ландшафтов. Не менее интенсивно накапливаются ЛС — значения TDS в экраноземах элювиально-аккумулятивных ландшафтов почти в 10 раз выше, чем в автономной позиции.

Картографирование загрязнителей в экраноземах. Пространственную структуру загрязнения НП и БП приповерхностных горизонтов экраноземов отражают две карты на территорию округа, составленные по данным почвенной съемки в сентябре 2016 г. (рис. 6, 7). В связи с чрезвычайно высокой вариабельностью содержаний НП и БП в приповерхностных горизонтах экраноземов интерполяцию загрязнителей при составлении карт провести не удалось, поэтому их содержание в точках отбора проб показано кружками разного диаметра. Основой для карт загрязнения НП и БП экраноземов послужила составленная авторами карта запечатанности почв в различных функциональных зонах ВАО Москвы (см. рис. 2).

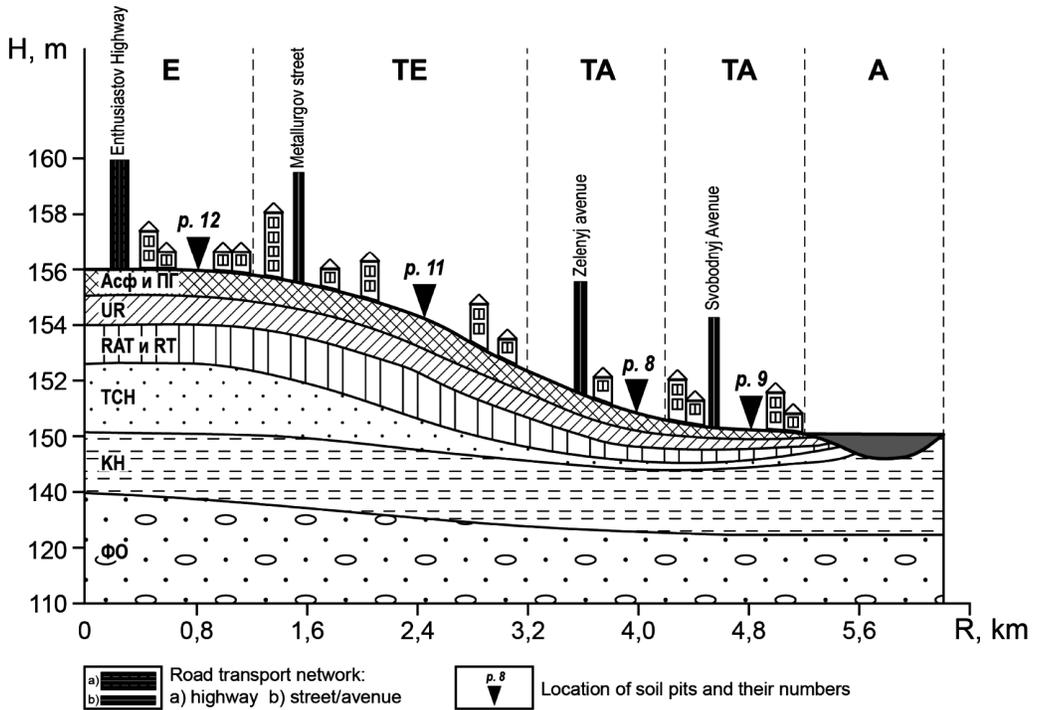
В экраноземах сформировались несколько крупных техногенных аномалий НП с содержанием в верхних горизонтах 3000—5000 мг/кг и выше, превышающим допустимую норму в 10—17 раз. Очень высокий и высокий уровни загрязнения НП отмечены в почвах с высокой и средней запечатанностью в транспортной и промышленной зонах (ул. Новокосинская, Вешняковская вблизи МКАД), а также в селитебной и рекреационной зонах (на Свободном проспекте и в пос. Ухтомский). Средний уровень загрязнения НП выявлен в почвах промышленной зоны, в рекреационной (Кусковский парк) и селитебной зоне (Свободный проспект). Низкий уровень загрязнения почв НП характерен для селитебной зоны со средней и высокой степенью запечатанности дворовых территорий. К незагрязненным почвам с допустимым содержанием НП < 300 мг/кг относятся некоторые селитебные и промышленные территории на севере и в центре округа.



Значения коэффициента L в элементарных ландшафтах

	Э	ТЭ	ТА	ТА
ρH_e	1,0	1,0	1,0	0,9
Гумус	1,0	0,9	3,4	2,1
Физическая глина	1,0	1,5	0,8	1,6
Соли	1,0	1,0	1,5	9,7
Бенз(а)пирен	1,0	1,4	4,1	11,1
Нефтепродукты	1,0	1,5	5,2	6,5

Рис. 5. Городская южно-таежная катена с экраноземами селитебной зоны на культурных наносах, подстилаемых флювиогляциальными отложениями в ВАО Москвы. *Элементарные геохимические ландшафты:* Э — элювиальный (выположенная поверхность водораздела); ТЭ — трансэлювиальный (пологие склоны); ТА — трансаккумулятивный (нижние части склонов); А — аквальный. *Горизонты в профиле экраноземов — см. обозначения к рис. 3; КН — культурные наносы; ФО — флювиогляциальные отложения*



The values of the coefficient L in the elementary landscapes

	E	TE	TA	TA
pH_{water}	1,0	1,0	1,0	0,9
C_{org}	1,0	0,9	3,4	2,1
Physical clay	1,0	1,5	0,8	1,6
Salts	1,0	1,0	1,5	9,7
Benzo(a)pyrene	1,0	1,4	4,1	11,1
Petroleum products	1,0	1,5	5,2	6,5

Fig. 5. Urban south-taiga catena with ekranozems on cultural deposits in the residential zone, underlain by fluvio-glacial deposits in the EAD of Moscow. *Elementary geochemical landscapes:* E — eluvial (watershed surface); TE — trans-eluvial (gentle slopes); TA — trans-accumulative (footslopes); A — aquatic. *Horizons in the profile of ekranozems:* see designations in fig. 3; KH — cultural deposits; ФО — fluvio-glacial deposits

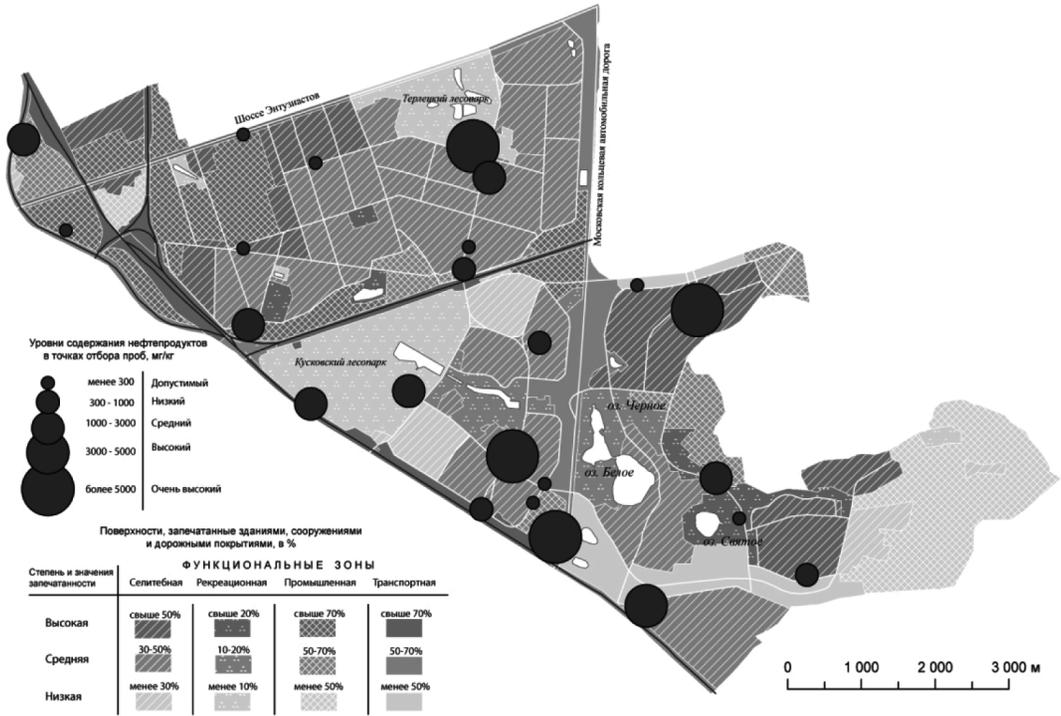


Рис. 6. Техногенные аномалии нефтепродуктов в верхних горизонтах экраноземов ВАО Москвы

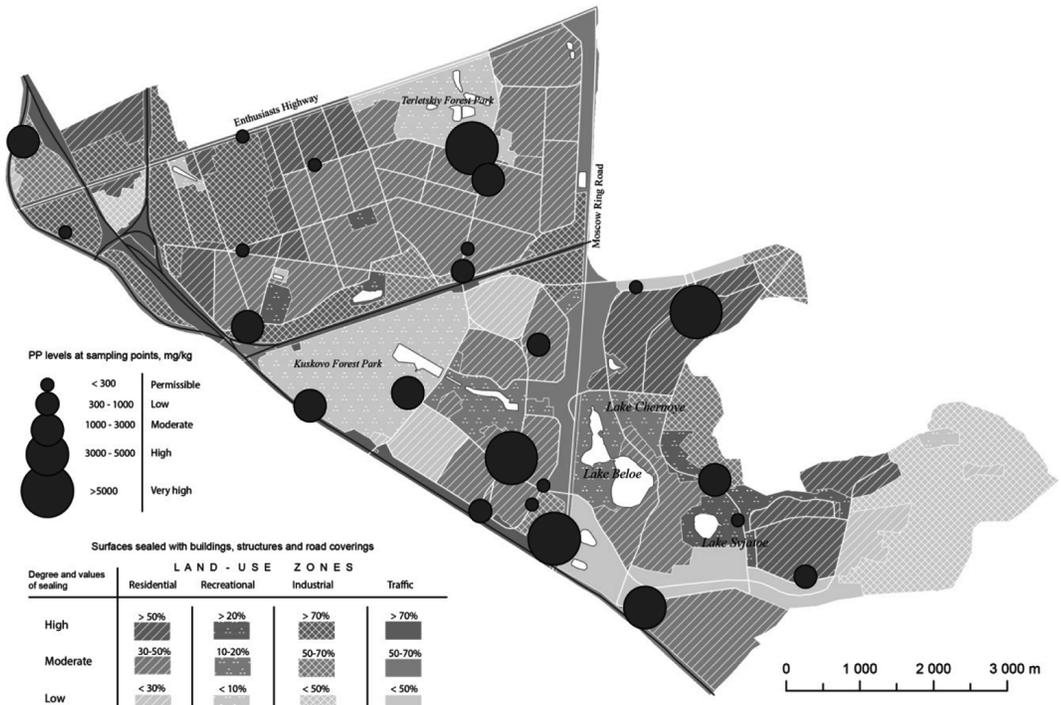


Fig. 6. Man-caused anomalies of petroleum products in the upper horizons of the ekranozems in the EAD of Moscow

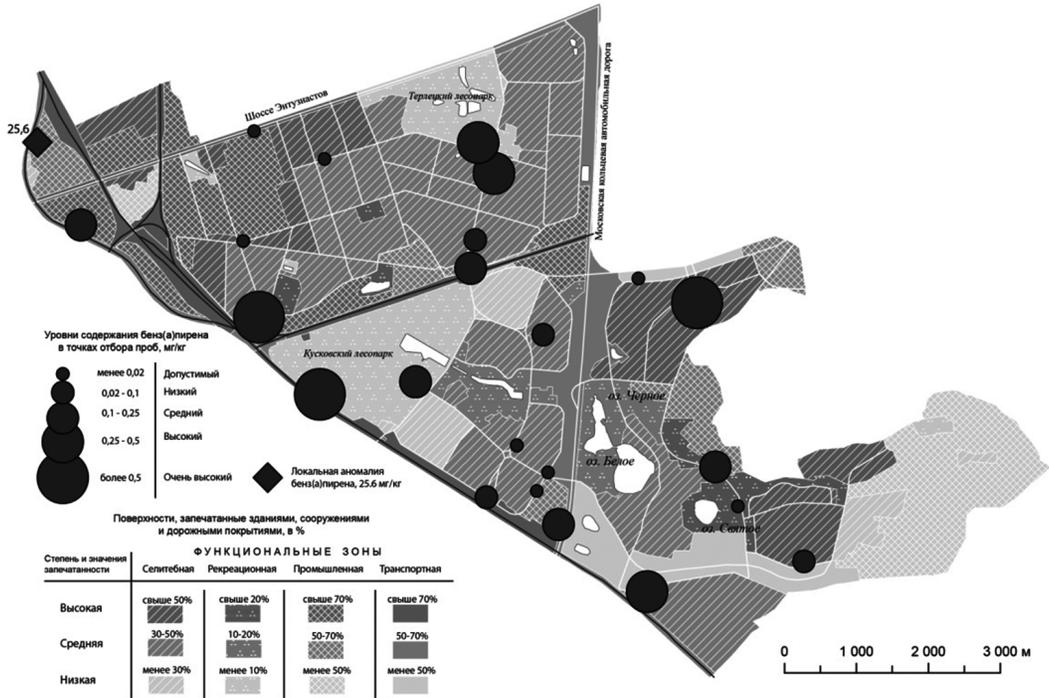


Рис. 7. Техногенные аномалии бенз(а)пирена в верхних горизонтах экраноземов ВАО Москвы

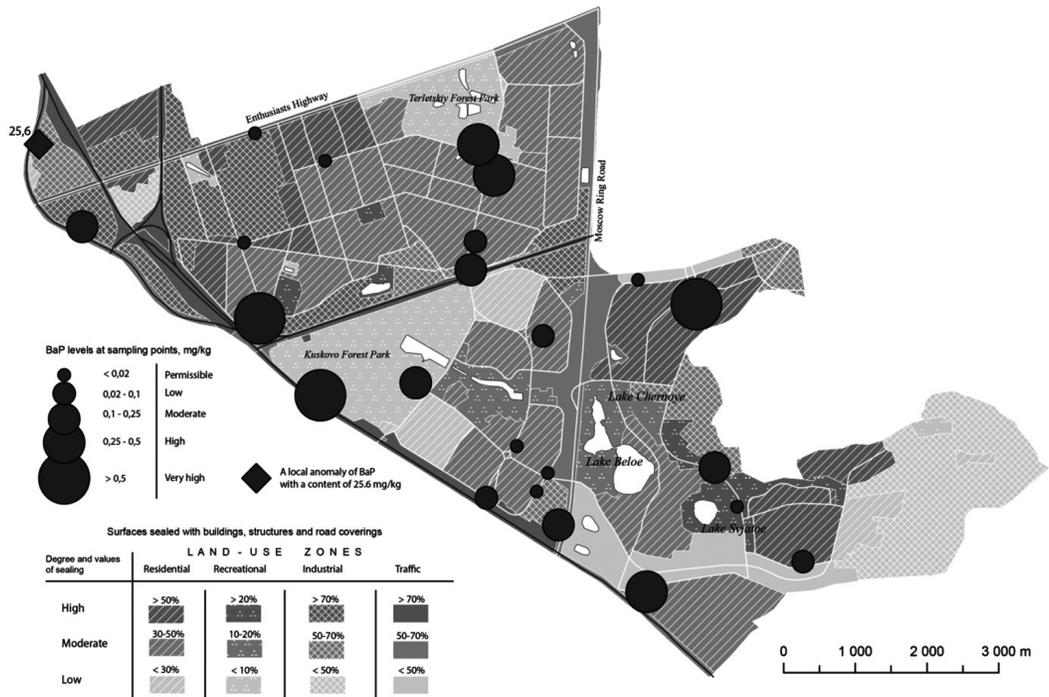


Fig. 7. Man-caused anomalies of benzo(a)pyrene in the upper horizons of the ekranozems in the EAD of Moscow

Пространственное распределение БП в поверхностных горизонтах экраноземов (см. рис. 7) близко к распределению НП (см. рис. 6), так как оба органических загрязнителя — углеводороды и имеют общее происхождение. Вместе с тем, имеются и различия. Из карты (см. рис. 7) видно, что по сравнению с НП, очень высокие и высокие содержания БП ($> 0,5$ и $0,25—0,5$ мг/кг, что соответствует $12,5—25$ ПДК и более) приурочены к запечатанным почвам транспортной и промышленной зон на северо-западе, западе и востоке территории. Эти техногенные аномалии БП образовались под влиянием выбросов и стоков промышленных зон «Соколиная гора», «Прожектор», «Перово» и районной тепловой станции. Высокие концентрации БП выявлены также в жилых кварталах (Свободный пр-кт, пос. Ухтомский), в рекреационной (Кусковский парк, ул. Metallургов) и транспортной зонах (ул. Новокосинская). Аномалии БП со средним уровнем загрязнения экраноземов ($0,1—0,25$ мг/кг, т.е. $5—12,5$ ПДК) располагаются преимущественно в промышленной зоне с высокой и средней степенью запечатанности). Допустимый и низкий уровень загрязнения БП ($< 0,02$ и $0,02—0,1$ мг/кг, т.е. $1—5$ ПДК) имеют в основном экраноземы в селитебной зоне, несколько точек с таким уровнем содержания БП находится в транспортной зоне.

Техногенные аномалии БП в поверхностном горизонте открытых почв постагрогенной зоны на востоке округа (пос. Кожухово, Руднево) всего 7 лет назад были относительно невысоки, с концентрациями $0,034—0,068$ мг/кг, т.е. в пределах $1,7—3,4$ ПДК. После ввода в эксплуатацию в 2003 г. мусоросжигательного завода [44], несмотря на удаленность от жилой зоны, его негативное влияние ощущается в районах Новокосино, Ухтомский и Кожухово, жители которых пишут в управу округа обеспокоенные письма об экологических условиях их проживания [45].

Сравнение среднего содержания БП в экраноземах (см. табл. 1) с незапечатанными почвами ВАО [44; 46] показывает, что почвы открытых участков, по данным 2010 г., имеют более высокие концентрации БП, чем их запечатанные аналоги, различия достигают 3,4 раза. При малой проницаемости асфальтобетона содержание этого углеводорода в экраноземах довольно значительно, что можно объяснить низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, при котором происходит консервация БП и он может сохраняться в почвах несколько десятков лет [47]. В целом геохимическое состояние запечатанных почв ВАО по содержанию БП и НП можно охарактеризовать как экологически неблагоприятное, а на отдельных участках как опасное. Техногенные аккумуляции рассматриваемых углеводородов высокой контрастности формируются во всех функциональных зонах, при этом они более характерны для промышленной и транспортной зон с высокой степенью запечатанности почв.

Неблагоприятные изменения в городских почвах при их покрытии асфальтобетоном создают реальную опасность для городской среды и здоровья горожан, поэтому во многих городах ведется борьба с запечатыванием почв. В Европе считают, что низкая степень запечатанности почв благоприятна для жителей, так как уменьшает степень техногенной трансформации городской среды. Городам требуется продуманный подход к планированию городской застройки с уменьшением запечатанности почв там, где это возможно, и с использованием всех возможностей для расширения незапечатанных и зеленых зон, включая дополни-

тельные элементы озеленения и частично запечатанные полупроницаемые покрытия — замощенные плиткой или камнем тротуары и мостовые [48]. Улучшению экологической обстановки в Москве будет способствовать намеченное в ближайшие годы превращение 15% запечатанных почв в открытые [49].

Выводы

Полученные для экраноземов Восточной Москвы геохимические данные свидетельствуют о том, что, с одной стороны, городские экраноземы не соответствуют традиционному определению почвы как природного естественно-исторического тела, с другой, — они являются типичным биокосным образованием, состоящим из твердой, жидкой, газовой и живой фаз (преимущественно микроорганизмов), выполняющих важные биоценоотические и экологические функции в урбоэкосистеме, где доминирующую роль играют не природные, а антропогенные факторы почвообразования. Искусственный экран воздействует на характер функционирования почв, изменяя их водно-воздушный режим, морфологический профиль, физико-химические свойства и уровень загрязнения.

Экраноземы Восточного округа Москвы имеют низкое содержание органического вещества (в среднем 2,24%), щелочной рН (8,0), легкосуглинистый гранулометрический состав (физическая глина 23,2%). Максимальное содержание $C_{орг}$ (3,95%) свойственно рекреационной зоне, а повышенная щелочность (рН > 8,0) — селитебной и промышленной зонам. Несмотря на применение ПГР и минеральных удобрений запечатанные почвы не засолены: удельная электропроводность почвенного раствора в верхней части профиля, характеризующая содержание ЛС, в среднем почти в 15 раз ниже допустимого уровня. Соли накапливаются преимущественно в средней и нижней частях профиля, образуя максимумы в гор. *RAT*.

Экраноземы ВАО характеризуются почти 10-кратным превышением нормативов по БП и НП, что в 3,5 раза меньше, чем у незапечатанных почв. При этом для них характерна более высокая вариабельностью содержаний БП и НП. Профильное распределение БП, как правило, равномерное, за исключением промышленной зоны, а НП — аккумулятивное с несколькими хорошо выраженными максимумами в разных частях профиля. В результате латеральной миграции БП и НП накапливаются в экраноземах нижних частей склонов, где они образуют аккумуляции на органоминеральном и сорбционно-седиментационном ГХБ. Высококонтрастные техногенные аккумуляции углеводов формируются преимущественно в экраноземах промышленной и транспортной зон.

По морфологии, свойствам, вертикальной и латеральной миграционной структуре экраноземы Восточной Москвы существенно отличаются от почв открытых городских территорий. Запечатанные почвы характеризуются более низким содержанием органических веществ, близким рН, более легким гранулометрическим составом и отсутствием засоления. Хотя зональный промывной тип водного режима в экраноземах действует не в полной мере, атмосферные осадки частично проникают под асфальт, формируя миграционные потоки и контрастные аномалии углеводов и ЛС. При вскрытии асфальта могут возникнуть риски, связанные с миграцией накопившихся углеводов в другие компоненты ландшафта, включения их в биологический круговорот и пищевые цепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Глазовская М.А., Солнцева Н.П., Геннадиев А.Н. Технопедогенез: формы проявлений / Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 106–112.
- [2] Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация). М.: Ойкумена, 2003. 266 с.
- [3] FAO/ISRIC. Guidelines for Soil Profile Description. 3th ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2000.
- [4] Гезенцевей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
- [5] Мануйлов М.Б., Московкин В.М. Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 2. С. 35–47.
- [6] Wessolek G. Sealing of soils / Urban ecology, an international perspective on the interaction between humans and nature. Springer, 2008. Pp. 161–179.
- [7] Burghardt W. Soil sealing ways, constraints, benefits and management / Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. P. 169–175.
- [8] Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. Eds. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. 275 p.
- [9] Строганова М.Н., Прокофьева Т.В. Влияние дорожного покрытия на городские почвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение. 1995. № 2. С. 3–11.
- [10] Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере г. Москвы): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 1998. 24 с.
- [11] Забелина О.Н., Злышко А.С. Биологическая активность запечатанной почвы урбанизированных территорий // Успехи современного естествознания. 2015. № 5. С. 167–170.
- [12] Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
- [13] European Environment Agency. Электронный источник URL: <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe> (дата обращения: 14.12.2017).
- [14] Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- [15] Битюкова В.Р., Саульская Т.Д. Изменение антропогенного воздействия производственных зон Москвы в постсоветский период // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2017. № 3. С. 34–41.
- [16] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-Term Dynamics of Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Moscow // Applied and Environmental Soil Science. 2016. Vol. 2016. 10 pp. DOI: 10.1155/2016/5602795
- [17] Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Н.С. Касимов, В.Р. Битюкова, С.М. Малхазова и др. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
- [18] Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика антропогенного засоления почв Москвы (на примере Восточного округа) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 351–363.
- [19] Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. М.: Центр МГУИЭ, 2004. 159 с.
- [20] Хомяков Д.М. Москва слезам не верит. О противогололедных реагентах, используемых в Москве за зимний период и их объеме // Дорожная держава. 2015. Вып. 58. С. 91–95.
- [21] Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л., Мяжкова А.Д., Курбатова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603–615.

- [22] Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии. М.: ИНФРА-М, 2015. 400 с.
- [23] Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / под ред. А.Н. Геннадиева и Ю.И. Пиковского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 192 с.
- [24] Jacob J. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. 35 years research on PAH — a retrospective. Polycycl. Aromat. Compd., 2008. 28 (4-5). 242—272.
- [25] Khalili N.R., Scheff P.A., Holsen T.M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions // Atmos. Environ., 1995. Vol. 29. P. 533—542.
- [26] Larsen R.K., Baker J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. Environ. Sci. Technol. 2003. 37 (9). 1873—1881. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es0206184> (дата обращения: 14.12.2017).
- [27] Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. Environ. Pollut. 1995. 88 (1). 91—108. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M) (дата обращения: 14.12.2017).
- [28] Wania F., MacKay D. Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. Environ. Sci. Technol. 1996. 30 (9). 390A—396A. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es962399q> (дата обращения: 14.12.2017).
- [29] Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. Environ. Pollut. 1999. 105 (1). 67—74. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00207-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00207-3) (дата обращения: 14.12.2017).
- [30] Fernández P., Vilanova R.M., Martínez C., Appleby P., Grimalt J.O. The Historical Record of Atmospheric Pyrolytic Pollution over Europe Registered in the Sedimentary PAH from Remote Mountain Lakes. Environ. Sci. Technol. 2000. 34 (10). 1906—1913. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es9912271> (дата обращения: 14.12.2017).
- [31] Nam J.J., Sweetman A.J., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in global background soils. J. Environ. Monit. 2009. 11 (1). 45—48. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/B813841A> (дата обращения: 14.12.2017).
- [32] Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1—13.
- [33] Экологический атлас Москвы. М.: Изд-во «АБФ/АВФ», 2000. 96 с.
- [34] Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 1. Картографическое обеспечение // Геоинформатика. 2012. № 4. С. 37—45.
- [35] Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
- [36] Таргульян В.О., Козловский Ф.И., Караваева Н.А., Александровский А.Л. Проблема эволюции почв в докучаевском почвоведении / 100 лет генетического почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 104—117.
- [37] Солнцева Н.П. Морфогенетический анализ техногенно преобразованных почв // Почвоведение. 1990. № 1. С. 96—101.
- [38] Экологические требования к почвам и грунтам г. Москвы / под ред. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2005. 32 с.
- [39] Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопеева А.А., Пузанова Т.А. Природные и техногенные углеводородные геохимические поля в почвах: концепция, типология, индикационное значение // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской; под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 236—258.
- [40] Забелина О.Н. Интегральная токсичность городских запечатанных почв // Актуальные вопросы современной науки. 2015. №8. С. 15-18.
- [41] Строганова М.Н., Мяжкова А.Д., Прокофьева Т.В. Роль почв в городских экосистемах // Почвоведение. 1997. № 8. С. 124—129.
- [42] Строганова М.Н. Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение (на примере Москвы): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1998. 71 с.

- [43] Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах: типология, функциональные особенности и экологическое значение // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской; под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 26–44.
- [44] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Vlasov D.V. Benzo[a]pyrene in urban environments of eastern Moscow: pollution levels and critical loads // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. Vol. 17. P. 2217–2227.
- [45] О состоянии окружающей среды в г. Москве в 2014 году / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДП и ООС; НИА Природа, 2015. 384 с.
- [46] Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) // *Вест. Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение*. 2011. № 2. С. 25–35.
- [47] Чернянский С.С., Геннадиев А.Н., Алексеева Т.А., Пиковский Ю.И. Органофильный профиль дерново-глеевой почвы с высоким уровнем загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами // *Почвоведение*. 2001. № 11. С. 1312–1322.
- [48] Burghardt W., von Bertrab M. Dialeimmasol, urban soil of pavements // *J Soils Sediments*. 2016. Vol. 16. Issue 11. Pp. 2500–2513. doi:10.1007/s11368-016-1526-y
- [49] Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Ibatulina S.A., Romzaykina O.N., Moedt E., Kanaeva S.A., Ivashchenko K.V., Ananyeva N.D., Dovletyarova E.A. Urbanization in New Moscow: challenges and perspectives for soil resources / *SUITMA 9. 9th international congress “Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas”*. Russia, Moscow, 22-26 May 2017. Abstract book. P. 224–228.

Дополнительная информация:

Конфликты интересов, связанные с рукописью, отсутствуют.

Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-27-00083-П).

Участие авторов:

Никифорова Е.М. — постановка проблемы, интерпретация результатов; Кошелева Н.Е. — сбор и анализ полученных данных; Т.С. Хайбрахманов — обработка материалов.

© Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 25.07.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв Восточной Москвы // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 4. С. 480–509. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

Сведения об авторах:

Никифорова Елена Михайловна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ. E-mail: nikiforova-geo@mail.ru

Кошелева Наталья Евгеньевна — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ. E-mail: nataalk@mail.ru

Хайбрахманов Тимур Салаватович — кандидат географических наук, заместитель руководителя департамента группы компаний «СКАНЭКС». E-mail: haibrahmanov@scanex.ru

ENVIRONMENTAL AND GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF SEALED SOILS IN THE EASTERN MOSCOW

E.M. Nikiforova¹, N.E. Kosheleva¹, T.S. Khaybrakhmanov²

¹ Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory, 1, Moscow, Russia, 119991

² Engineering and Technology Center “SCANEX”

Kiev highway p. 1. Business Park «Rumyantsevo», A, 8 entrance, office 732, Moscow, Russia, 108811

Sealed with road coverings soils in the Eastern Administrative District (EAD) of Moscow were studied, their morphological and physico-chemical properties have been established in various land-use zones, their ecological and geochemical state and level of readily soluble salts and priority organic pollutants — petroleum products (PP) and benzo(a)pyrene (BaP) as compared with background and open urban soils. The article is based on the results of soil-geochemical survey of ekranozems in September 2016 and previously obtained analytical data from an unsealed territory in the southern part of the EAD. A mapping technique was developed and a map of degree of soil sealing in the EAD was compiled. The morphological features and the basic properties of ekranozem's horizons in different land-use zones of the EAD were determined. They have a low content of organic matter (2,24%), an alkaline pH (8,0), light loamy texture. Despite the use of de-icing salts and mineral fertilizers, the upper part of the profile of the sealed soils is not saline, salts accumulate mainly in the middle and lower parts of the profile, forming maxima in the RAT horizon.

Screening of soils with asphalt concrete is not an obstacle to the penetration of technogenic flows of polluting substances — salts, PP, BaP, capable of accumulating in increased concentrations and forming pronounced technogenic anomalies. The average BaP content in the sealed soils exceeds the background level by 56 times, and the MPC — by 9,6 times. The permissible content of PP in ekranozems is exceeded by 9,5 times. However, in comparison with unsealed soils, the content of BaP and PP in ekranozems is 3,5 times less. The vertical distribution of the BaP is, as a rule, uniform, with the exception in the industrial zone, and for the PP it is accumulative with several well-defined maxima in different parts of the profile. As a result of lateral migration, BaP and PP accumulate in the sealed soils of the lower parts of the slopes, where they form accumulations on organomineral and sorption-sedimentative geochemical barriers. High-level man-made accumulations of hydrocarbons are formed mainly in the sealed soils of industrial and transport zones. When opening the asphalt, risks associated with the migration of hydrocarbons to other components of the landscape, including them in the biological cycle and food chains may appear.

Key words: sealed soils, Moscow, morphological features, physicochemical properties, pollution, petroleum products, benzo(a)pyrene

REFERENCES

- [1] Glazovskaya M.A., Solntseva N.P., Gennadiev A.N. Techno-pedogenesis: forms of manifestations. *Success of soil science*. Moscow: Nauka, 1986. P. 106–112. (In Russ).
- [2] Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofieva T.V. Anthropogenic soils (genesis, geography, reclamation). Moscow: Oikumena, 2003. 266 p. (In Russ).
- [3] FAO/ISRIC. Guidelines for Soil Profile Description. 3th ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2000.
- [4] Gesentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Road asphalt concrete. Moscow: Transport, 1985. 350 p. (In Russ).
- [5] Manuylov M.B., Moskovkin V.M. Influence of surface run-off (rain and thawed waters) on the ecological and technogenic situation in cities. *Water and ecology: problems and solutions*. 2016. 2: 35–47 (In Russ).
- [6] Wessolek G. Sealing of soils. *Urban ecology, an international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, 2008. Pp. 161–179.
- [7] Burghardt W. Soil sealing ways, constraints, benefits and management. *Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment*. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw, editors. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. P. 169–175.
- [8] Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management — composition, properties, and functions of soils of the urban environment. M.J. Levin, K.-H.J. Kim, J.L. Morel, W. Burghardt, P. Charzynski, R.K. Shaw, editors. IUSS Working Group SUITMA. 2017. IV. 275 p.
- [9] Stroganova M.N., Prokofyeva T.V. Influence of road covering on urban soils. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 1995. 2: 3–11.
- [10] Prokofyeva T.V. Urban soil, sealed with road surfaces (based on the example of Moscow). PhD Thesis. Moscow: MSU, faculty of soil science, 1998. 24 p. (In Russ).
- [11] Zabelina O.N., Zlyvko A.S. Biological activity of the sealed soil on urbanized territories. *Progresses of modern natural science*. 2015. No. 5. Pp. 167–170. (In Russ).
- [12] Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2011. 44 (5): 561–571.
- [13] European Environment Agency. URL: <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe> (date of access: 14.12.2017).
- [14] Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geochemistry of the landscapes in the Eastern Moscow. Moscow: APR, 2016. 276 p. (In Russ).
- [15] Bityukova V.R., Saulskaya T.D. Change in the anthropogenic impact of industrial zones in Moscow in the post-Soviet period. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 5, Geografiya*. 2017. 3. (In Russ).
- [16] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-Term Dynamics of Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Moscow. *Applied and Environmental Soil Science*. 2016. 2016: 10 pp. DOI: 10.1155/2016/5602795
- [17] Regions and cities of Russia: an integral assessment of the environmental state. N.S. Kasimov, V.R. Bityukova, S.M. Malkhazova et al. Moscow: IP Filimonov MV, 2014. 560 p. (In Russ).
- [18] Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Long-term dynamics of the anthropogenic salinization of soils in Moscow (by the example of the Eastern district). *Eurasian Soil Science*. 2014. 47 (3): 203–215.
- [19] Sister V.G., Koretsky V.E. Engineering and environmental protection of the water system of the northern megapolis in winter. Moscow: TsentrMGUIE, 2004. 159 p. (In Russ).
- [20] Khomyakov D.M. Moscow does not believe in tears. On the de-icing reagents used in Moscow for the winter period and their volume. *The Road Power*, 2015. 58: 91–95 (In Russ).
- [21] Smagin A.V., Azovtseva N.A., Smagina M.V., Stepanov A.L., Myagkova A.D., Kurbatova A.S. Criteria and methods to assess the ecological status of soils in relation to the landscaping of urban territories. *Eurasian Soil Science*. 2006. 39 (5): 539–551.

- [22] Pikovsky Yu.I., Ismayilov N.M., Dorokhova M.F. Fundamentals of oil and gas geoecology. Moscow: INFRA-M, 2015. 400 p. (In Russ).
- [23] Geochemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons in rocks and soils. A.N. Gennadiyev, Yu.I. Pikovsky, editors. Moscow: Moscow University Publishing House, 1996. 192 p. (In Russ).
- [24] Jacob J. The significance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. 35 years research on PAH — a retrospective. *Polycycl. Aromat. Compd.* 2008; 28 (4-5): 242—272. <http://dx.doi.org/10.1080/10406630802373772>
- [25] Khalili N.R., Scheff P.A., Holsen T.M. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmos. Environ.* 1995; 29: 533—542.
- [26] Larsen R.K., Baker J.E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. *Environ. Sci. Technol.* 2003. 37 (9): 1873—1881. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es0206184> (date of access: 14.12.2017).
- [27] Wild S.R., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environ. Pollut.* 1995. 88 (1): 91—108. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(95\)91052-M](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(95)91052-M) (date of access: 14.12.2017).
- [28] Wania F., MacKay D. Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environ. Sci. Technol.* 1996. 30 (9): 390A—396A. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es962399q> (date of access: 14.12.2017).
- [29] Trapido M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Estonian soil: contamination and profiles. *Environ. Pollut.* 1999. 105 (1): 67—74. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00207-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00207-3) (date of access: 14.12.2017).
- [30] Fernández P., Vilanova R.M., Martínez C., Appleby P., Grimalt J.O. The Historical Record of Atmospheric Pyrolytic Pollution over Europe Registered in the Sedimentary PAH from Remote Mountain Lakes. *Environ. Sci. Technol.* 2000. 34 (10): 1906—1913. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/es9912271> (date of access: 14.12.2017).
- [31] Nam J.J., Sweetman A.J., Jones K.C. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in global background soils. *J. Environ. Monit.* 2009. 11 (1): 45—48. URL: <http://dx.doi.org/10.1039/B813841A> (date of access: 14.12.2017).
- [32] Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils (Moscow, Eastern District). *Eurasian Soil Science.* 2011. 44 (8): 1018—1030.
- [33] Ecological atlas of Moscow. Moscow: ABF/ABF Publishing House, 2000. 96 p. (In Russ).
- [34] Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakhmanov T.S. Geoinformation landscape-geochemical mapping of urban areas (on the example of EAD in Moscow). 1. Cartographic support. *Geoinformatics.* 2012. 4: 37—45 (In Russ).
- [35] Orlov D.S. Chemistry of soils. Moscow: Moscow University Publishing House, 1985. 376 p. (In Russ).
- [36] Targulyan V.O., Kozlovsky F.I., Karavaeva N.A., Aleksandrovsky A.L. The problem of soil evolution in Dokuchaev soil science. *100 years of genetic soil science.* Moscow: Nauka, 1986. P. 104—117. (In Russ).
- [37] Solntseva N.P. Morphogenetic analysis of technogenically transformed soils. *Eurasian Soil Science.* 1990. 1: 96—101 (In Russ).
- [38] Ecological Requirements for Soils and Grounds in Moscow. N.F. Ganjara, editor. Moscow: Agroconsult, 2005. 32 pp. (In Russ).
- [39] Pikovsky Yu.I., Gennadiyev A.N., Krasnopeeva A.A., Puzanova T.A. Natural and technogenic hydrocarbon geochemical fields in soils: concept, typology, indicator significance. *Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100th Anniversary of the Birth of M.A. Glazovskaya.* N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova, editors. Moscow: APR, 2012. P. 236—258. (In Russ).
- [40] Zabelina O.N. Integral toxicity of urban sealed soils. *Topical issues of modern science.* 2015. 8: 15—18. (In Russ).
- [41] Stroganova M.N., Myagkova A.D., Prokofyeva T.V. The Role of Soils in Urban Ecosystems. *Eurasian Soil Science.* 1997. 8: 124—129.
- [42] Stroganova M.N. Urban Soils: Genesis, Systematics and Ecological Importance (by the Example of Moscow). Diss. Thesis of Doctor of Biological sciences. Moscow: MSU, 1998. 71 p. (In Russ).

- [43] Glazovskaya M.A. Geochemical barriers in soils: typology, functional features and ecological significance. *Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100th Anniversary of the Birth of M.A. Glazovskaya*. N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova, editors. Moscow: APR, 2012. Pp. 26–44. (In Russ).
- [44] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Vlasov D.V. Benzo[a]pyrene in urban environments of eastern Moscow: pollution levels and critical loads. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017. 17: 2217–2227. DOI 10.5194/acp-17-2217-2017
- [45] On the state of the environment in Moscow in 2014. A.O. Kulbachevsky, editor. Moscow: DP and OOS; NIA Nature, 2015. 384 p. (In Russ).
- [46] Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Long-term dynamics and factors of accumulation of benzo(a) pyrene in urban soils (by the example of the EAD in Moscow). *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2011. 66 (2): 65–74 (In Russ).
- [47] Chernyanskiy S.S., Alekseeva T.A., Gennadiyev A.N., Pikovskii Y.I. Organic profile of soddy-gley soil strongly polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons. *Eurasian Soil Science*. 2001. 34 (11): 1170–1179.
- [48] Burghardt W., von Bertrab M. Dialeimmasol, urban soil of pavements. *J Soils & Sediments*. 2016. 16 (11): 2500–2513. doi:10.1007/s11368-016-1526-y
- [49] Vasenev V.I., Stoorvogel J.J., Ibatulina S.A., Romzaykina O.N., Moedt E., Kanaeva S.A., Ivashchenko K.V., Ananyeva N.D., Dovletyarova E.A. Urbanization in New Moscow: challenges and perspectives for soil resources. SUITMA 9. 9th international congress “Soils of Urban, Industrial, Traffic, Mining and Military Areas”. Russia, Moscow, 22–26 May 2017. Abstract book. P. 224–228.

Article history:

Received: 25.07.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaybrakhmanov T.S. (2017) Environmental and geochemical assessment of sealed soils in the Eastern Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 480–509. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509

Bio Note:

Nikiforova Elena Mihajlovna — candidate of geographical Sciences, senior researcher of the Department of landscape Geochemistry and soil geography, Geographical faculty of Moscow state University. E-mail: nikiforova-geo@mail.ru

Kosheleva N.E. — doctor of geographical Sciences, leading researcher of the Department of landscape Geochemistry and soil geography, Geographical faculty of Moscow state University. E-mail: nataalk@mail.ru

Hajbrahmanov Timur Salavatovich — vice-leader of a department in the group of companies “SCANEX”. E-mail: haibrahmanov@scanex.ru