

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ ГРЯЗЕВОМ ОСАДКЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Андрей Анатольевич Селезнев

seleznev@ecko.uran.ru

Институт промышленной экологии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 20

Актуальность проблемы. В настоящее время большая часть населения планеты проживает в городах, поэтому актуальным представляется поиск универсальных, малозатратных и экспресс-методов мониторинга экогеохимического состояния урбанизированных территорий.

Целью исследования является количественная оценка состава рыхлого грязевого осадка урбанизированной территории на примере г. Екатеринбурга.

Методы исследования. Проведена количественная оценка состава и свойств поверхностного грязевого осадка урбанизированной территории (на примере г. Екатеринбурга).

Результаты исследования. Поверхностный грязевой осадок на жилых территориях может классифицироваться как фашия современных антропогенных отложений. Выполнен анализ 30 проб грязевого осадка, почв и грунтов на территориях шести дворов разных лет постройки, находящихся в разных частях города, в разных зонах литогенного субстрата. Отбиралось по 5 образцов в каждом квартале: два образца с наружной стороны квартала, три – с внутренней. Проведен гранулометрический анализ отобранного материала. По фракционному составу выполнено определение содержания Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Mn. Гранулометрический состав грязевого осадка в г. Екатеринбурге в целом соответствует составу грунтов покровных отложений Урала.

Для изученных отложений выявлена статистически значимая положительная корреляционная связь между Zn и Pb, Zn и Cu, Co и Ni, а также неоднородное распределение металлов (Pb, Zn и Cu) по гранулометрическому составу грязевого осадка. Загрязнение почв и грунтов урбанизированной территории происходит в результате переноса металлов в связи с мелкими частицами пыли и песка. Характерная геохимическая ассоциация металлов для фракции 0,002–0,01 мм грязевого осадка Mn–Zn–Ni–Cu–Pb–Co совпадает с ассоциацией для отложений пониженных участков микрорельефа, почв города и донных отложений техногенных водоемов. Концентрации Pb, Zn и Cu в гранулометрических фракциях < 0,1 мм выше ПДК и ОДК для почв, концентраций в почвах и фоновых уровней в городе. Концентрации Ni в грязевом осадке выше ПДК и ОДК. Содержание Co в грязевом осадке выше концентраций в почвах в городе и на фоновых площадках для Екатеринбурга. Концентрации тяжелых металлов, за исключением Mn, выше кларка элементов для почв.

Ключевые слова: современные антропогенные отложения; поверхностный грязевой осадок; гранулометрический состав; тяжелые металлы.

Введение

Традиционно эколого-геохимические исследования проводятся на основе опробования почв, снежного покрова и атмосферных выпадений. Перспективным компонентом опробования являются современные антропогенные отложения, формирующиеся в результате природно-антропогенных геологических процессов [1–3] и участвующие в миграции и накоплении загрязнителей. Для получения дополнительной информации о миграционных потоках загрязнителей в городах изучаются такие типы современных отложений, как донные отложения водоемов, грязевой осадок и пыль с дорог, отложения водосточной сети, различные грунтовые и почвенные образования.

В последние десятилетия одной из проблем городов является постоянное увеличение пыли и частиц различного происхождения в результате процессов эрозии почв и грунтов, разрушения, износа поверхностей строений, конструкций и материалов [4, 5]. В пределах городских территорий рыхлый осадок из пыли и частиц мигрирует и накапливается на различных поверхностях, неровностях микрорельефа, формируя один из типов современных антропогенных отложений – поверхностные грязевые отложения.

Формирование, миграция и накопление поверхностного грязевого осадка происходят в урбанизированной среде непрерывно, имеют комплексный характер и могут быть связаны как с природными, так и с антропогенными источниками, учет которых затруднен и зачастую невозможен [3]. В ряде документов Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) поверхностный осадок с урбанизированных территорий фигурирует как транспортирующая загрязнение среда, вторичный и неточечный источник загрязнения, который следует удалять с поверхностей [6, 7].

Рыхлый осадок городских территорий может содержать металлы, которые остались после сгорания этилированного бензина и каменного угля. Также источником тяжелых металлов могут быть аэрозоли, твердые частицы и пыль, поступающие в атмосферу в основном с выбросами автотранспорта [8], дорожная пыль [9, 10]. Дорожная пыль мигрирует с ливневыми стоками [11, 12] и в виде сухих выпадений поступает в почвы [13–15]. В составе дорожной пыли содержатся частицы придорожных почв, грунтов, продукты абразии дорожного покрытия и разметки, истирания шин и тормозных колодок автотранспорта, коррозии их металлических частей [16–22]. Как следствие, при проведении эколого-геохимических исследований и оценки загрязнения селитебных зон города необходимо учитывать процессы переноса поверхностного грязевого осадка из пыли и частиц, которые депонируют миграционные потоки загрязнителей.

Основные задачи исследования направлены на определение следующих особенностей поверхностного грязевого осадка:

- гранулометрический состав;
- распределение металлов по гранулометрическим фракциям;
- оценка накопления металлов в грязевом осадке на различных типах поверхностей в жилых зонах города;
- корреляционная связь концентраций металлов в грязевом осадке.

Материалы и методы

Объектом исследования является фашия современных антропогенных отложений – поверхностный грязевой осадок жилых территорий. Время существования грязевых отложений на урбанизированной территории варьируется от нескольких месяцев до нескольких десятилетий [23, 24], мощность в среднем составляет 5 см. Материал отложений может содержать частицы почвы, грунта, песка, торфа, пыли и мелкого мусора. Формирование осадка происходит вследствие сноса частиц с поверхностей, в которые входят участки территории квартала постройки разных лет [25].

Пробные площадки для изучения состава грязевого осадка в г. Екатеринбурге выбирались случайным образом и представляли типичные микроландшафты селитебной территории города (жилые кварталы с многоэтажной застройкой). Застройка обследованных территорий города проводилась в разные десятилетия XX в. Площадки выбирались в разных частях города в пределах уличной дорожной сети в районах разных лет постройки на территориях, расположенных в разных зонах литогенного субстрата.

Площадки должны были иметь ландшафтные зоны, на которых возможно образование поверхностного грязевого осадка: тротуар, газон, детская площадка, организованная и неорганизованная парковки, внутривдворовые проезды; газон и тротуар снаружи двора, проезжая часть.

В летне-осенний сезон на каждой площадке отбиралось по пять проб: поверхностного грязевого осадка, почвы и грунта в разных зонах микроландшафта (две пробы с наружной стороны квартала, три – с внутренней). Отбирались сборные пробы из разных зон микроландшафта. Масса пробы составляла около 1 кг. С наружной стороны квартала отбирались:

- дорожная пыль и осадок с проезжей части улицы,
- отложения на грунтах из понижений микрорельефа (иными словами, отложения из луж) или отложения из понижений микрорельефа на тротуаре; на внутривдворовой территории квартала отбирались:

- отложения на грунтах из понижений микрорельефа на неорганизованной парковке;
- пыль и осадок на организованной парковке;
- отложения из понижений микрорельефа на грунтах, детской площадке или озелененной зоне.

Поверхностный грязевой осадок отбирался с помощью пластикового совка и щетки. Для каждой пробы заполнялась анкета, содержащая ситуационное описание особенностей пробной площадки и характеристику условий образования грязевого осадка, проводилось фотодokumentирование. Определена мощность отложений, площадей дворовых территорий и зон ландшафта, в пределах которых проводилось опробование.

Для определения гранулометрического состава грязевого осадка были модифицированы существующие методы гранулометрии [26]. Проба грязевых отложений квартовалась, из пробы выбиралась представительная навеска массой 200–300 г. Навеска измельчалась в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником. Сухим просеиванием отделялась фракция > 1 мм. Мокрым ситованием отделялись гранулометрические фракции 0,05–0,1 мм; 0,1–0,25 мм и 0,25–1 мм. Методом отмучивания с вакуумным фильтрованием через мембранные фильтры с разным размером пор «синяя» и «красная лента» отделялись фракции 0,002–0,01 мм и 0,01–0,05 мм соответственно.

Определение содержания тяжелых металлов в гранулометрических фракциях грязевых отложений проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой согласно «Методике выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98» [27]. Измерения проводились в аккредитованном химико-аналитическом центре ИПЭ УрО РАН на масс-спектрометре ELAN 9000 фирмы Perkin Elmer (США).

Результаты исследований

В 2016 г. было проведено опробование поверхностных грязевых отложений, почв и грунта на шести площадках селективной территории г. Екатеринбурга. Мощность отложений на обследованных площадках составляет до 5 см. На каждой площадке отбиралось по 5 проб, всего было отобрано 30 проб. После гранулометрического анализа было получено 180 гранулометрических навесок сухого материала отложений и 30 емкостей с суспензией (вода и фракция < 0,002 мм). Для анализа выбраны металлы, типичные поллютанты для города и металлы типоморфной ассоциации, наблюдение за содержанием которых в компонентах окружающей среды в городе осуществляется

другими организациями [28, 29]: Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Mn. Валовые концентрации металлов определялись в гранулометрических фракциях грязевого осадка, вклад которых составлял > 10 % по массе. Проанализировано 84 гранулометрических навески.

Распределение рыхлого материала грязевого осадка по гранулометрическим фракциям (средняя массовая доля) 0,002–0,01 мм, 0,01–0,05 мм, 0,05–0,1 мм, 0,1–0,25 мм, 0,25–1 мм и > 1 мм (30 проб) показано на рис. 1.

В поверхностном грязевом осадке преобладает фракция 0,05–1 мм (рис. 1). Однако доля крупной пыли и мелкого песка (0,002–0,05 мкм) составляет около 20 % вне зависимости от типа площадки и ее расположения. Фракция больше 1 мм составляет около 30 % массы грязевого осадка и представляет собой частицы мусора, обломков пород, гравия, листьев, обломков стекла и кирпича.

Гранулометрический состав грязевого осадка анализировался в зависимости от расположения ландшафтных участков (внутри/снаружи двора) и типа поверхности (асфальт/грунт), на которых проводилось опробование. Также анализировался гранулометрический состав грязевого осадка разных функциональных зон дворовых территорий.

На рис. 2 представлено распределение состава грязевого осадка по гранулометрическим фракциям на ландшафтных участках внутри/снаружи двора.

Пылевых частиц и мелкого песка в грязевом осадке с наружной стороны двора примерно в 1,5 раза больше, чем в осадке на внутривдворовых территориях (рис. 2). В общем, вид распределения отложений по гранулометрическим фракциям одинаков на этих территориях снаружи и внутри квартала. В отложениях на территориях снаружи двора преобладают частицы мелкого песка и пыли, а на внутривдворовых территориях – более крупные частицы (> 0,1 мм). Можно полагать, что поверхностный грязевой осадок на внутривдворовых территориях формируется за счет разрушения грунтов, почв и газонов, а на территориях, находящихся снаружи двора преобладает механизм формирования отложений из мелких более транспортабельных частиц. Следует также полагать, что частицы больше > 1 мм (мелкий гравий) представляют материалы грунтового субстрата, продукты разрушения строительных материалов (кирпича, бетона, дорожного покрытия). В зимний период мелкофракционный щебень используется для посыпки тротуаров в противогололедных мероприятиях.

На рис. 3 представлено распределение грязевого осадка по гранулометрическим фракциям на асфальтированных/грунтовых поверхностях. Грунтовые поверхности представлены газонами, озелененными участками с кустарниками и деревьями, неорганизованными парковками автомобилей (автомобиль, заезжая на газон, нарушает его поверхность). Асфальтированные поверхности представляют проезжие части, тротуары, организованные парковки, внутривдворовые проезды и поверхности с твердыми покрытиями.

На грунтовых поверхностях преобладают частицы мелкой пыли и мелкого песка (рис. 3). Фракции > 1 мм больше на грунтовых поверхностях, чем на асфальтированных (примерно на 20 %). Частицы мелкого и крупного песка (0,05–0,25 мм) преобладают на асфальтированных поверхностях. Можно полагать, что эти фракции переносятся с атмосферными водами по поверхности, а также могут представлять продукты разрушения асфальтированных и тротуарных поверхностей, дорожного полотна и строительных материалов.

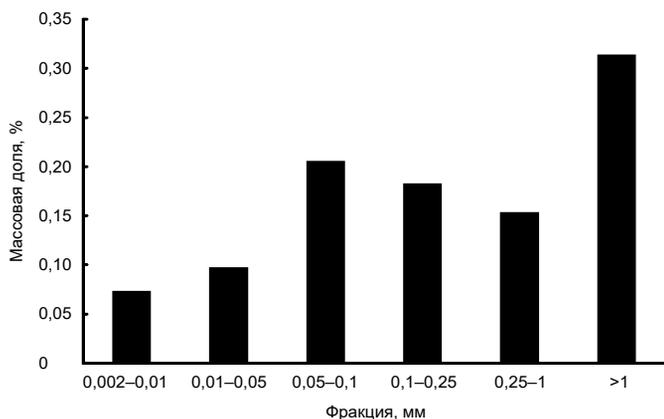


Рисунок 1. Распределение материала грязевого осадка по гранулометрическим фракциям (30 проб).

Figure 1. The distribution of the material of the mud sediment in the grain-size fractions (30 samples).

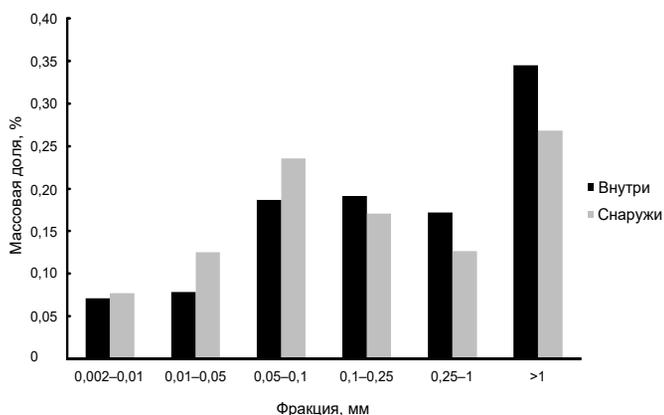


Рисунок 2. Распределение состава грязевого осадка по гранулометрическим фракциям на ландшафтных участках внутри/снаружи двора (18 проб внутри и 12 – снаружи).

Figure 2. The distribution of the mud sediment composition on the grain-size fractions of the landscape areas inside/outside of the common area (18 samples inside and 12 samples outside).

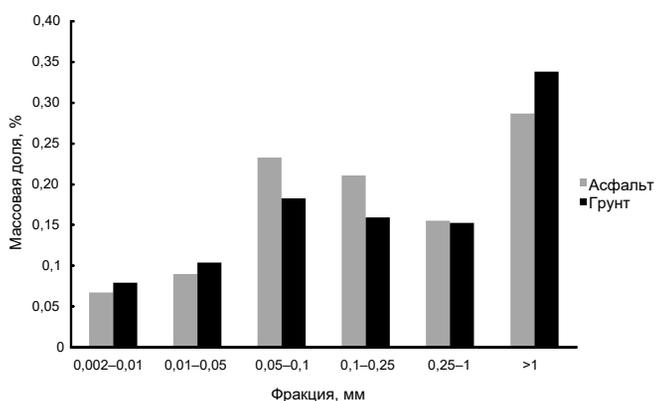


Рисунок 3. Распределение грязевого осадка по гранулометрическим фракциям на асфальтированных/грунтовых поверхностях (16 проб на грунтовых и 14 – на асфальтированных поверхностях).

Figure 3. The distribution of mud sediment in the grain-size fractions for paved/unpaved surfaces (16 samples on the ground surfaces and 14 samples on paved surfaces).

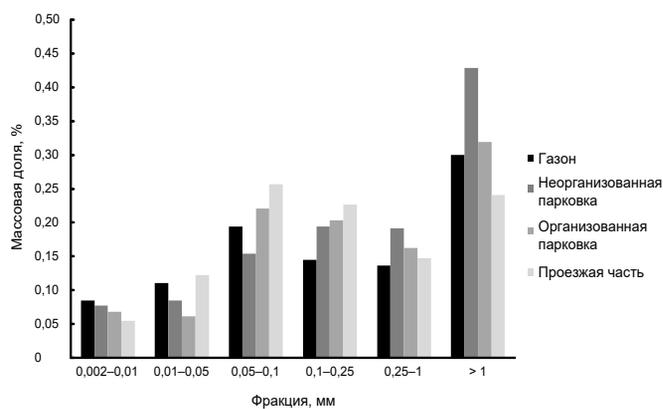


Рисунок 4. Распределение отложений по гранулометрическим фракциям на разных функциональных зонах дворов.

Figure 4. The distribution of sediments in the grain-size fractions in different functional areas of the common areas.

Площадки, на которых отбирались образцы грязевого осадка, располагались в пределах следующих функциональных зон двора: газон (12 проб), проезжая часть (6), организованная парковка (7), неорганизованная парковка (5).

На всех функциональных зонах (рис. 4) содержание мелкой пыли и песка в равной степени составляет примерно 20%. Присутствие большого количества материала размером > 1 мм на неорганизованных парковках (больше, чем на ненарушенном газоне) обусловлено разрушением автомобилями грунтовых покрытий и газонов. Вид распределения отложений в гранулометрических фракциях 0,05–0,25 мм и 0,25–>1 мм одинаковый на поверхностях, связанных с автомобильным транспортом (проезжая часть, организованная парковка, несанкционированная парковка). Можно полагать, что меньшее количество частиц размером 0,05–0,25 мм поступает в осадок с грунтовых поверхностей, нежели привносится с твердых асфальтированных (разрушение дорожного полотна и тротуарного покрытия). В то же время массовая доля частиц размером > 0,25 мм в грязевой осадок поступает в большей степени с грунтовых покрытий, чем с асфальтированных.

В целом гранулометрический состав грязевого осадка в Екатеринбурге аналогичен гранулометрическому составу грунтов покровных отложений Урала по О. Н. Грязнову и Н. В. Рубан [30].

В табл. 1 показаны параметры распределения концентраций металлов в грязевых осадках г. Екатеринбурга.

Корреляционные связи между металлами в поверхностном грязевом осадке исследовались путем расчета значений коэффициента корреляции Спирмена (табл. 2).

Наблюдается сильная (табл. 2) статистически значимая положительная корреляционная связь между металлами Zn и Pb, Zn и Cu, Co и Ni. Такая связь может свидетельствовать об общем генезисе металлов в грязевом осадке.

Проводился корреляционный анализ металлов в зависимости от типа поверхности (грунт/асфальт), на которой проводилось опробование осадка. Значения коэффициента корреляции Спирмена для проб, отобранных на асфальтированных и грунтовых поверхностях, показаны в табл. 3, 4 соответственно.

Для осадка с асфальтированных поверхностей (табл. 3) обнаружена сильная корреляционная связь между парами элементов: Zn и Mn, Zn и Pb, Zn и Cu и Co и Ni.

Таблица 1. Параметры распределения концентраций металлов в грязевых осадках г. Екатеринбурга.

Table 1. The distribution parameters of the metallic concentration in the mud sediments of Ekaterinburg.

Металл	Среднее, мг/кг	Медиана, мг/кг	Диапазон, мг/кг	Стандартное отклонение, мг/кг	Среднее логарифма	Медиана логарифма
Mn	898	841	384–2704	308	6,75	6,73
Co	38	39	11–67	12	3,57	3,66
Ni	448	444	84–1163	250	5,93	6,10
Pb	32	27	10–79	16	3,36	3,30
Zn	225	180	68–955	157	5,22	5,19
Cu	214	149	31–2306	265	5,03	5,00

Таблица 2. Значения коэффициента корреляции Спирмена для металлов в поверхностном грязевом осадке (84 пробы).

Table 2. The values of Spearman correlation coefficient for metals in the surface sediment of mud (84 samples).

Металл	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co
Mn	1,00	0,01	0,21	0,26*	-0,03	0,21
Pb	-	1,00	0,73*	0,56*	0,06	0,05
Zn	-	-	1,00	0,81*	0,08	0,10
Cu	-	-	-	1,00	-0,06	0,06
Ni	-	-	-	-	1,00	0,92*
Co	-	-	-	-	-	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

Таблица 3. Коэффициент корреляции Спирмена для тяжелых металлов в грязевом осадке, отобранном на асфальтированных поверхностях (40 образцов).

Table 3. The Spearman correlation coefficient for heavy metals in a mud sediment, selected on paved surfaces (40 samples).

Металл	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co
Mn	1,00	0,33*	0,72*	0,60*	0,16	0,38*
Pb	-	1,00	0,75*	0,64*	-0,09	-0,06
Zn	-	-	1,00	0,84*	-0,01	0,15
Cu	-	-	-	1,00	-0,25	-0,04
Ni	-	-	-	-	1,00	0,93*
Co	-	-	-	-	-	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

На грунтовых поверхностях в грязевом осадке (табл. 4) те же пары элементов демонстрируют сильную корреляцию, однако сильной корреляции не наблюдается между Zn и Mn в отличие от асфальтированных поверхностей. Можно полагать, что металлы Zn, Cu, Mn, Mn и Pb имеют вклад антропогенных и природных источников (табл. 3).

Проводился корреляционный анализ металлов на участках опробования внутри/снаружи двора. Значения коэффициента корреляции Спирмена для проб, отобранных снаружи и внутри двора, показаны в табл. 5, 6 соответственно.

На поверхностях внутри и снаружи двора статистически значимая сильная корреляция наблюдается между одними и теми же парами металлов: Zn и Pb, Zn и Cu и Co и Ni.

Проведен анализ распределения металлов по гранулометрическим фракциям. Ниже показано распределение проанализированных проб по гранулометрическим фракциям.

Гранулометрическая фракция, мм	0,002–0,01	0,01–0,05	0,05–0,1	0,1–0,25	0,25–1	> 1
Число проб	9	9	25	12	9	20

На рис. 5 показано распределение концентраций металлов Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Mn по гранулометрическим фракциям грязевого осадка (среднее, СО – стандартное отклонение, 95 %-ный доверительный интервал (ДИ)).

Таблица 4. Значения коэффициента корреляции Спирмена для тяжелых металлов в поверхностном грязевом осадке, отобранном на грунтовых поверхностях (44 образца).

Table 4. The values of Spearman correlation coefficient for heavy metals in the surface sediment of mud, taken at ground surfaces (44 samples).

Металл	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co
Mn	1,00	-0,23	-0,14	0,07	0,09	0,39*
Pb	-	1,00	0,70*	0,49*	0,26	0,18
Zn	-	-	1,00	0,79*	0,12	0,07
Cu	-	-	-	1,00	-0,03	0,15
Ni	-	-	-	-	1,00	0,84*
Co	-	-	-	-	-	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

Таблица 5. Значения коэффициента корреляции Спирмена для тяжелых металлов в образцах поверхностного грязевого осадка, отобранных на территориях снаружи двора (33 образца).

Table 5. The values of Spearman correlation coefficient for heavy metals in the surface sediment samples of mud collected at the territories outside of the common areas (33 samples).

Металл	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co
Mn	1,00	0,05	0,20	0,08	0,25	0,40*
Pb	-	1,00	0,78*	0,66*	0,49*	0,45*
Zn	-	-	1,00	0,89*	0,27	0,32
Cu	-	-	-	1,00	0,13	0,19
Ni	-	-	-	-	1,00	0,96*
Co	-	-	-	-	-	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

Таблица 6. Значения коэффициента корреляции Спирмена для тяжелых металлов в образцах поверхностного грязевого осадка, отобранных на внутридворовых территориях (51 образец).

Table 6. The values of Spearman correlation coefficient for heavy metals in the surface sediment of the mud samples, taken at the areas (51 a sample).

Металл	Mn	Pb	Zn	Cu	Ni	Co
Mn	1,00	-0,01	0,23	0,37*	-0,14	0,15
Pb	-	1,00	0,72*	0,61*	-0,19	-0,16
Zn	-	-	1,00	0,81*	-0,04	-0,02
Cu	-	-	-	1,00	-0,17	-0,01
Ni	-	-	-	-	1,00	0,87*
Co	-	-	-	-	-	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

Статистически значимо не различаются средние концентрации Mn во фракциях 0,002–0,01, 0,01–0,05 и 0,05–0,1 мм (рис. 5). Также статистически значимо не различаются средние концентрации Mn во фракциях 0,1–0,25, 0,25–0,1

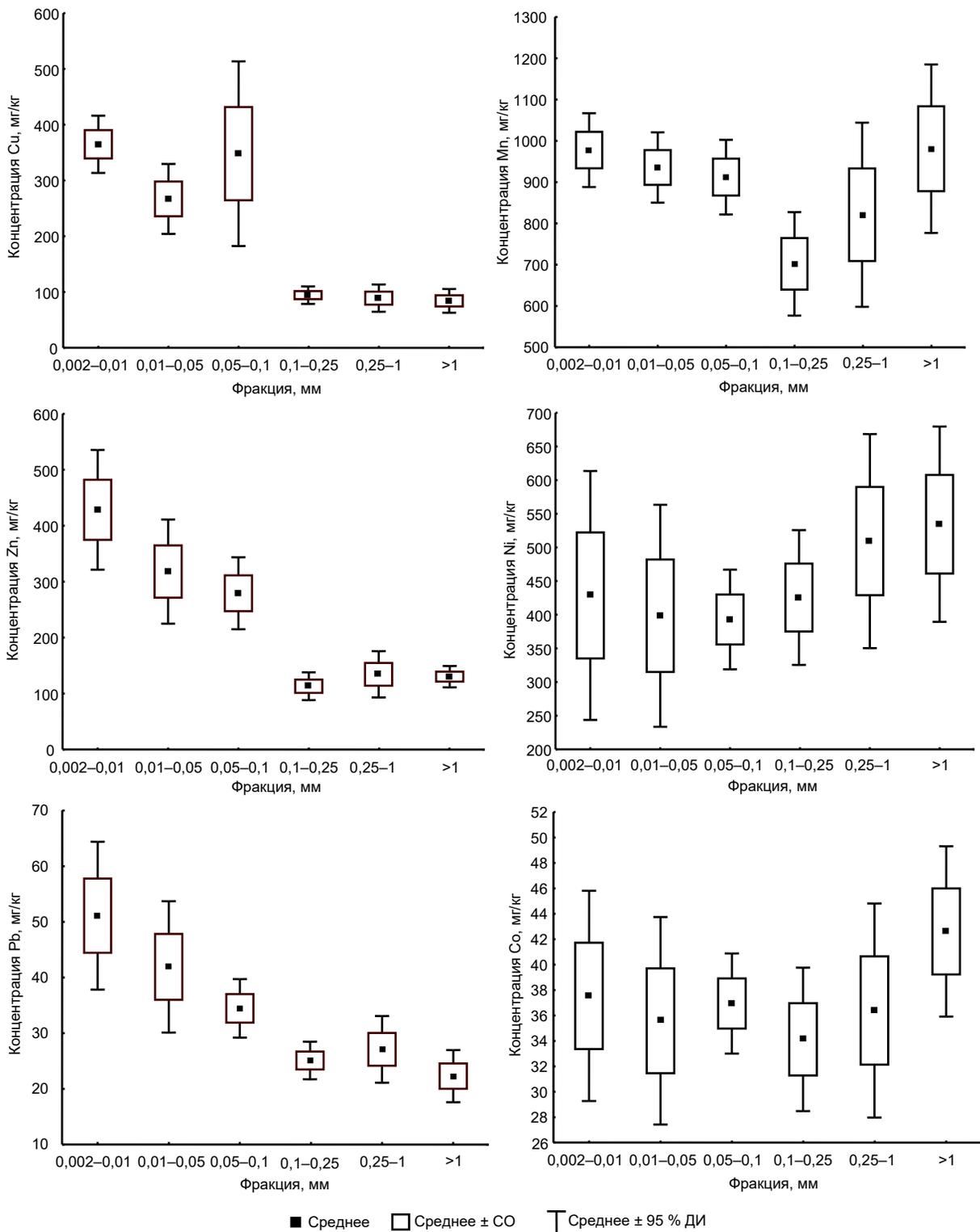


Рисунок 5. Распределения концентраций металлов по гранулометрическим фракциям грязевого осадка.

Figure 5. The distribution of concentrations of metals in grain-size fractions of the mud sediment.

и >1 мм. Значимо различается содержание Mn во фракциях <0,1 мм (пыль и мелкий песок) и 0,1–0,25 мм (песок). Возможно что, такая значимость различий вызвана различным происхождением элемента в гранулометрических фракциях грязевого осадка; песчаная фракция в грязевом осадке может представлять частицы строительных материалов. Статистически значимых различий между фрак-

циями <0,1 мм и > 0,25 мм не обнаружено. По-видимому, пылевые и мелкопесчаные фракции представляют обломки более крупных частиц.

Статистически значимо не различаются средние концентрации Cu во фракциях 0,002–0,01, 0,01–0,05 и 0,05–0,1 мм и по фракциям 0,1–0,25, 0,25–1 и > 1 мм. Различаются статистически значимо концентрации по гранулометри-

ческим фракциям > 0,1 мм и < 0,1 мм. По-видимому, Cu в грязевом осадке имеет два источника – природный и антропогенный. Обнаружена тенденция к уменьшению концентраций Zn и Pb с увеличением размеров частиц грязевого осадка. Максимальные концентрации Zn и Pb наблюдаются в наиболее транспортабельной фракции 0,002–0,01 мм грязевого осадка.

Распределение Co и Ni по гранулометрическому составу грязевого осадка однородно. Такое поведение элементов может быть обусловлено естественными источниками (грунты и литогенный субстрат) их поступления в грязевую осадок.

Концентрации Pb, Zn и Cu в гранулометрических фракциях < 0,1 мм превышают существующие нормативы ПДК и ОДК в почвах [31], концентрации в почвах в Екатеринбурге и фоновые уровни для города [28]. Концентрации Ni во всех гранулометрических фракциях грязевого осадка выше ПДК и ОДК. Содержание Co в грязевом осадке также выше концентраций в почвах в городе и на фоновых площадках для Екатеринбурга [28]. Концентрации исследуемых металлов, за исключением Mn, выше кларкового содержания элементов в почвах [32].

Характерная геохимическая ассоциация металлов во фракции 0,002–0,01 мм Mn–Zn–Ni–Cu–Pb–Co (в порядке убывания средней концентрации) совпадает с ассоциацией для отложений пониженных участков микрорельефа, почв города и донных отложений водоемов [33]. Мелкая пыль общего генезиса участвует в формировании загрязнения металлами этих компонентов окружающей среды.

Выводы

Исследование состава и свойств современного поверхностного грязевого осадка на урбанизированной территории позволяет получить дополнительную эколого-геохимическую информацию о процессах миграции и накопления поллютантов.

Результаты гранулометрического анализа позволяют охарактеризовать основной механизм формирования поверхностных грязевых отложений в городе – перенос и накопление пылевой и песчаной фракций с различных поверхностей урбанизированной территории.

Полученные распределения содержания металлов по гранулометрическим фракциям позволяют выявить основные механизмы их миграции и накопления на урбанизированной территории. Ряд металлов (Pb, Zn и Cu) показывает неоднородный вид распределения по гранулометрическому составу грязевого осадка. По-видимому, загрязнение этими металлами почв и грунтов на урбанизированной территории происходит в результате переноса с мелкими частицами пыли и песка. Металлы Ni и Co не показывают неоднородности распределения концентраций по гранулометрическому составу, что может говорить об их литогенном происхождении.

Происхождение металлов в грязевом осадке на территориях города может быть также связано с антропогенными источниками, такими как автотранспорт, выбросы промышленных предприятий, продукты износа рабочих поверхностей автомобилей (шин, тормозных колодок, деталей двигателя).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16–35–60044 мол_а_дк и 16–35–00129 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касимов Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1995. 327 с.

2. Экология города / под ред. Н. С. Касимова. М.: Научный мир, 2004. 624 с.
3. Селезнев А. А. Эколого-геохимическая оценка состояния урбанизированной среды на основе исследования отложений пониженных участков микрорельефа (на примере г. Екатеринбурга): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2015. 141 с.
4. Selbig W. R., Bannerman R., Corsi S. R. From streets to streams: Assessing the toxicity potential of urban sediment by particle size // Sci. of the Tot. Env. 2013. № 444. P. 381–391.
5. Apeageyi E., Bank M. S., Spengler J. D. Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts // Atmospheric Environment. 2011. № 45(13). P. 2310–2323.
6. US EPA 833–B–09–002. Developing Your Stormwater Pollution Prevention Plan: A Guide for Industrial Operators, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2009.
7. US EPA–833–F–08–009. Managing Wet Weather with Green Infrastructure. Municipal Handbook. Green Streets, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2008.
8. Aerosol chemical processes in the environment / Ed. by K. R. Spurny. Boca Raton: CRC Press, 2000. 600 p.
9. Amato F., Pandolfi M., Escrig A., Querol X., Alastuey A., Pey J., Perez N., Hopke P. K. Quantifying road dust resuspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2 // Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43. P. 2770–2780.
10. Chen J., Wang W., Liu H., Ren L. Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension // Environmental Monitoring and Assessment. 2012. Vol. 184. P. 1693–1709.
11. Berhanu M., Bruen M., Higgins N., Johnston P. Highway runoff quality in Ireland // Journal of Environmental Monitoring. 2007. Vol. 9. Issue 4. P. 366–371.
12. Zhao H., Yin C., Chen M., Wang W. Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network // Soil & Sediment Contamination. 2009. Vol. 18. P. 173–183.
13. Varrica D., Dongarra G., Sabatino G., Monna F. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy // Environmental Geology. 2003. Vol. 44. P. 222–230.
14. Christoforidis A., Stamatis N. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece // Geoderma. 2009. Vol. 151. P. 257–263.
15. Wei B., Jiang F., Li X., Mu S. Contamination level assessment of potential toxic metals in road dust deposited in different types of urban environment // Environmental Earth Sciences. 2010. Vol. 61. P. 1187–1196.
16. Murakami M., Nakajima F., Furumai H., Tomiyasu B., Owari M. Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser // Chemosphere. 2007. Vol. 67. Issue 10. P. 2000–2010.
17. Irvine K. N., Perrelli M. F., Ngoen-klan R., Droppo I. G. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications // Journal of Soils and Sediments. 2009. Vol. 9. P. 328–341.
18. Nazzari Y., Rosen M. A., Al-Rawabden A. M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada // Environmental Monitoring and Assessment. 2013. Vol. 185. P. 1847–1858.
19. Iijima A., Sato K., Yano K., Tago H., Kato M., Kimura H., Furuta N. Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter // Atmospheric Environment. 2007. Vol. 41. P. 4908–4919.
20. Pal S. K., Wallis S. G., Arthur S. Assessment of heavy metals emission from traffic on road surfaces // Central European Journal of Chemistry. 2011. Vol. 9. Issue 2. P. 314–319.
21. Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles // Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts / Ed. by F. Zereini, C. L. S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 63–79.
22. Adachi K., Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // Environment International. 2004. Vol. 30. P. 1009–1017.
23. Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Медведев А. Н. Оценка возраста загрязнения грунтов на урбанизированных территориях с использованием датирования по содержанию цезия-137 // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. № 4. С. 329–336.
24. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 137Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. Vol. 142. P. 9–13.

25. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment // *Environmental Technology & Innovation*. 2014. Vol. 1–2. P. 1–7.
26. Вадюнина А. Ф., З. А. Корчагина. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
27. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой: ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98. Центр исследования и контроля воды. СПб., 2003. 58 с.
28. Ежегодник загрязнения почв городов Свердловской области токсикантами промышленного происхождения в 2010 году. Екатеринбург: Государственное учреждение «Свердловский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» (ГУ «Свердловский ЦГМС-Р»), 2011. 213 с.
29. Залесов С. В., Колтунов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почвах лесопарков г. Екатеринбурга // *Аграрный вестник Урала*. 2009. № 6(60). С. 71–72.
30. Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 240 с.
31. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы: ГН 2.1.7.2041–06: утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 19 янв. 2006 г.; дата введ. 1 апр. 2006 г.
32. Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
33. Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Савастьянова А. С., Макаров А. Б. Современные антропогенные отложения и их использование для оценки экологического состояния урбанизированных территорий // *Изв. УГГУ*. 2017. № 1 (45). С. 44–49.

Поступила 30 июня 2017 г.

Heavy metals in surface mud sediment in Ekaterinburg (Russia)

Andrian Anatol'evich Seleznev

seleznev@ecko.uran.ru

Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

Problem Statement. Now the most part of the world's population lives in cities, thus, it is relevant the search for universal, low-cost and express methods for environmental geochemical investigations of an urban environment.

The objective of the study is the assessment of content and properties of surface mud sediment at the urban territory (on the example of Ekaterinburg, Russia).

Methods of the study. The 30 samples of surface mud sediment, soils and ground were collected in the residential area of the city. Particle size composition, measurements of heavy metals content, correlation analysis was conducted for the samples.

Results. Surface mud sediment at the residential territories can be classified as surface facie of the recent anthropogenic sediment. Samples of the environmental compartments were collected at the territories of six blocks of houses of various years of construction, located in various parts of the city and at the various geological units. Five samples were collected in each block: 3 samples within the block and 2 samples – outside. The content of Pb, Zn, Cu, Ni, Co, and Mn was measured in particle size fractions of the samples. Particle size composition of the surface mud sediment in Ekaterinburg is similar to the particle size composition of the grounds formed on the sediments of Holocene age in Urals region. The positive statistically significant correlation was found between the couples of metals: Zn and Pb, Zn and Cu, Co and Ni. The distribution of concentrations of Pb, Zn and Cu over particle size fractions of surface mud sediment is heterogeneous. Pollution of the ground and soil in urban areas is due to the transition of heavy metals with particles of dust and fine sand. Typical geochemical association of metals for particle size fraction of surface mud sediment 0.002–0.01 mm – Mn-Zn-Ni-Cu-Pb-Co, that is similar to the association for sediments of surface puddles in local zones of relief, soils and bottom sediments at the city territory. The content of Pb, Zn, and Cu in particle size fraction <0.1 mm are higher than the permissible level for soils and soil background level in the city. The Ni concentrations in the mud sediment are higher than permissible concentrations for soil. The Co content in the mud sediment is higher than the soils content and the background for Ekaterinburg. Concentrations of heavy metals, with the exception of Mn, are higher than Clarke value for soil.

Keywords: contemporary anthropogenic sediments; surface mud sediment; particle size composition; heavy metals.

The study was performed with the financial support of the RFBR within the framework of a scientific project No. 16-35-60044 Mol_a_dk and 16-35-00129 mol_a.

REFERENCES

- Kasimov N. S. 1995, *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov* [Ecogeochemistry of the urban landscapes], Moscow, 327 p.
- 2004, *Ekologiya goroda. Pod red. N. S. Kasimova* [Ecology of the city. Edited by N. S. Kasimov], Moscow, 624 p.
- Seleznev A. A. 2015, *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka sostoyaniya urbanizirovannoy sredy na osnove issledovaniya otlozheniy ponizhennykh uchastkov mikrorel'yefa (na primere g. Ekaterinburga): dis. ...kand. geol.-mineral. nauk* [Ecological-geochemical assessment of urban environment on the basis of investigation of deposits of low-lying areas of micro-relief (on the example of Ekaterinburg)]. The dissertation of the Candidate of geological and mineralogical sciences]. Ekaterinburg, 141 p.
- Selbig W. R., Bannerman R., Corsi S. R. 2013, From streets to streams: Assessing the toxicity potential of urban sediment by particle size. *Sci. of the Tot. Env.*, no. 444, pp. 381–391.
- Apeageyi E., Bank M. S., Spengler J. D. 2011, Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts. *Atmospheric Environment*, no. 45 (13), pp. 2310–2323.
- 2009, US EPA 833-B-09-002. Developing Your Stormwater Pollution Prevention Plan: a Guide for Industrial Operators, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 2008, US EPA-833-F-08-009. Managing Wet Weather with Green Infrastructure. Municipal Handbook. Green Streets, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- 2000, *Aerosol chemical processes in the environment*. Ed. by K. R. Spurny. Boca Raton: CRC Press, 600 p.
- Amato F., Pandolfi M., Escrig A., Querol X., Alastuey A., Pey J., Perez N., Hopke, P. K. 2009, Quantifying road dust resuspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2. *Atmospheric Environment*, vol. 43, pp. 2770–2780.
- Chen J., Wang W., Liu H., Ren L. 2012, Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension. *Environmental Monitoring and assistance*, vol. 184, pp. 1693 – 1709.
- Berhanu M., Bruen M., Higgins N., Johnston P. 2007, Highway runoff quality in Ireland. *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 9, issue 4, pp. 366–371.
- Zhao H., Yin C., Chen M., Wang W. 2009, Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network. *Soil & Sediment Contamination*, vol. 18, pp. 173–183.
- Varrica D., Dongarra G., Sabatino G., Monna F. 2003, Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology*, vol. 44, pp. 222–230.
- Christoforidis A., Stamatis N. 2009, Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, vol. 151, pp. 257–263.
- Wei B., Jiang F., Li X., Mu S. 2010, Contamination level assessment of potential toxic metals in road dust deposited in different types of urban environment. *Environmental Earth Sciences*, vol. 61, pp. 1187–119.
- Murakami M., Nakajima F., Furumai H., Tomiyasu B., Owari M. 2007, Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser. *Hemisphere*, vol. 67, issue 10, pp. 2000–2010.
- Irvine K. N., Perrelli, M. F., Ngoen-klan, R., Droppo I. G. 2009, Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 9, pp. 328–341.
- Nazzal Y., Rosen M. A., Al-Rawabden A. M. 2013, Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring & Assessment*, Vol. 185, pp. 1847 – 1858.
- A. Iijima, K. Sato, K. Yano, H. Tago, M. Kato, H. Kimura, N. 2007, Furuta Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter. *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 4908–4919.
- Pal S. K., Wallis S. G., Arthur S. 2011, Assistance of heavy metals emission from traffic on road surfaces. *Central European Journal of Chemistry*, vol. 9, issue 2, pp. 314–319.
- Limbeck A., Puls C. 2011, Particulate emissions from on-road vehicles. Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impressions. Ed. by F. Zereini, C. L. S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, pp. 63–79.
- Adachi K., Tainosho Y. 2004, Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*, vol. 30, pp. 1009–1017.
- Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Medvedev A. N. 2014, *Otsenka vozrasta zagryazneniya gruntov na urbanizirovannykh territoriyakh s ispolzovaniyem datirovaniya po sodержaniyu tseziya-137* [Assessment of the age of soil pollution in urban areas using the Dating content of cesium-137]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], no. 4, pp. 329–336.
- Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 2015, ¹³⁷Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 142, pp. 9–13.
- Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. 2014, the Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 1–2, pp. 1–7.
- Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. 1986, *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. 3-e izd. pererab. i dop.* [Methods of research of physical properties of soils. 3rd ed.], Moscow, 416 p.
- 2003, *Metodika vypolneniya izmereniy sodержaniya metallov v tverdykh obyektakh metodom spektrometrii s induktivno-svyazannoy plazmoy: PND F 16.1:2.3:3.11–98. Tsentri issledovaniya i kontrolya vody* [The method of measurements of metal contents in solid objects by the method of spectrometry with inductively coupled plasma: PND

- f 16.1:2.3:3.11–98. Center for the study and control of water]. St. Petersburg, 58 p.
28. 2011, *Ezhegodnik zagryazneniya pochv gorodov Sverdlovskoy oblasti toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2010 godu* [Yearbook of soil pollution in Sverdlovsk region cities toxicants of industrial origin in 2010]. Ekaterinburg, 213 p.
29. Zalesov S. V., Koltunov E. V. 2009, *Soderzhaniye tyazhelykh metallov v pochvakh lesoparkov g. Ekaterinburga* [The content of heavy metals in soils of forest parks of Ekaterinburg]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], no. 6 (60), pp. 71–72.
30. Gryaznov O. N. 2017, *Inzhenerno-geologicheskiye usloviya Urala* [Engineering-geological conditions of the Urals]. Ekaterinburg, 240 p.
31. 2006, *Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigiyenicheskiye normativy: GN 2.1.7.2041–06: utv. Rukovoditelem Federalnoy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya cheloveka. Glavnym gosudarstven-*
- nyy sanitarnym vrachom Rossiyskoy Federatsii G. G. Onishchenko 19 yanv. 2006 g.; data vved. 1 apr. 2006 g.* [The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil. Hygienic standards GN 2.1.7.2041–06: approved by the Head of the Federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare, Chief state sanitary doctor of the Russian Federation G. G. Onishchenko, date entered 1 Apr. 2006].
32. Grigor'ev N. 2009, *Raspredeleniye khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinental'noy kory* [Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust]. Ekaterinburg, 382 p.
33. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sevastyanova A. S., Makarov A. B. 2017, *Sovremennyye antropogennyye otlozheniya i ikh ispolzovaniye dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya urbanizirovannykh territoriy* [Modern anthropogenic sediments and their use for assessing the ecological condition of urbanized areas]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1 (45), pp. 44–49.

Received 30 June 2017