

Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 137–156.
Geology, geography and global energy. 2022; 3(86):137–158 (In Russ.).

Научная статья
УДК 550.42/502.175
doi 10.54398/20776322_2022_3_137

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ВОДОСБОРОВ И МАЛЫХ ВОДОЕМОВ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ**

**Андриан Анатольевич Селезнев¹✉, Анастасия Дмитриевна Рянская²,
Татьяна Геннадьевна Окунева³, Илья Владимирович Ярмошенко⁴,
Георгий Петрович Малиновский⁵**

¹sandrian@rambler.ru ✉

²tosenka2008@gmail.com

³okunevatatjana@mail.ru

⁴ivy@ecko.uran.ru

⁵georgy@ecko.uran.ru

Аннотация. Проведен анализ связи геохимических характеристик твердого материала компонентов окружающей среды водосборов и донных отложений малых водоемов урбанизированной среды. Исследование проведено на примере поверхностных бессточных водоемов г. Екатеринбурга (Россия): в Харитоновском саду и Чемоданчик. В работе при геохимическом опробовании применен подход трансект-катены, которая представляет собой трехмерное тело, в котором сочетаются профильная и катенарная характеристики ландшафта вместе с площадной формой в трансекте (иными словами, трансект-катена представляет участок водосбора вместе с водоемом). Водосбор расчленен по трансект-катене на латеральные сопряженные функциональные участки, последовательно сменяющие друг друга в направлении от локального водораздела к локальному базису денудации (водоему). В трансект-катене в теплый период года отбирались пробы компонентов окружающей среды на разных функциональных участках ландшафта: грунт/почва, современный поверхностно депонированные отложения, дорожная пыль/ смет с поверхностей водосборов. Из водоема отбирались донные отложения в холодный период года. У проб определялись элементный, минеральный и радионуклидный состав. Определены тенденции и механизмы формирования геохимической ситуации водоемов, выявлена связь между геохимическими характеристиками твердого материала поверхностного седимента, образующегося на городской территории, и твердого материала донных отложений.

Ключевые слова: урбанизированная среда, водосбор, поверхностный водоем, склоновый ландшафт, современные поверхностные отложения (наносы), грунты, трансект-катена, донные отложения

Для цитирования: Селезнев А. А., Рянская А. Д., Окунева Т. Г., Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П. Геохимические характеристики компонентов окружающей среды водосборов и малых водоемов урбанизированной среды // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 137–156. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_137.

**GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE ENVIRONMENTAL COMPONENTS
OF CATCHMENTS AND SMALL WATER BODIES IN AN URBAN ENVIRONMENT**

**Andrian A. Seleznev¹✉, Anastasia D. Ryanskaya², Tatyana G. Okuneva³,
Ilya V. Yarmoshenko⁴, Georgy P. Malinovsky⁵**

¹sandrian@rambler.ru ✉

²tosenka2008@gmail.com

³okunevatatjana@mail.ru

⁴ivy@ecko.uran.ru

⁵georgy@ecko.uran.ru

Abstract. Analysis of the relationship between the geochemical characteristics of the solid material of the environmental components of the catchments and bottom sediments of small water bodies has been carried out. The study was conducted on the example of surface undrained ponds in Ekaterinburg (Russia): Kharitonovsky Garden and Chemodanchik. The geochemical sampling methodology used was the transect catenary complex approach. The catenary complex represents a three-dimensional body which combines the lateral and catenary characteristics of the landscape together with an area of landform in the transect (in other words, the catenary complex represents the catchment area together with the waterbody). The catchment was partitioned along the transect into laterally conjugate functional landscape segments, successively alternating with each other in the direction from the local watershed to the local base of denudation (water body). In the catenary complex, environmental components were sampled in different functional areas of the landscape during the warm season: soil, contemporary surface-deposited sediments, road dust. Bottom sediments were collected from the water body during the cold period of the year. The elemental, mineral and radionuclide composition of the samples was determined. The trends and mechanisms of the geochemical conditions of water bodies were determined. The relationship between the geochemical characteristics of the solid material of the surface sediment formed in the urban area and the solid material of the bottom sediments was revealed.

Keywords: urban environment, catchment, surface waterbody, slope landscape, urban surface deposited sediments, soil, catenary complex, bottom sediments

For citation: Seleznev A. A., Ryanskaya A. D., Okuneva T. G., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. Geochemical characteristics of the environmental components of catchments and small water bodies in an urban environment. *Geology, geography and global energy*. 2022; 3(86):137–156 (In Russ.). https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_137.

Введение. Процессы формирования и изменения геохимических условий поверхностных водных объектов напрямую зависят от геохимических условий в водосборе [22; 23]. В водном объекте, в водосборе которого есть урбанизированная территория, геохимические условия обусловлены наслоением антропогенного воздействия на природные особенности его формирования.

Значимой проблемой городских территорий является поступление загрязнителей в водоемы от рассредоточенных, диффузных (в результате смыва с водосборной площади), неточечных, источников помимо стоков от точечных источников: стоков талых, дождевых и поливочных вод, внутрипочвенным и грунтовым стоком [15; 16; 24]. Основным неточечным источником загрязнения в городе является автотранспорт и сеть автодорог [14; 17; 18; 20; 23; 24]. Диффузные источники загрязнения динамичны, их трудно и зачастую невозможно идентифицировать.

К диффузным источникам загрязнения в урбанизированной среде относятся образующиеся на поверхностях в результате процессов современного осадкоотложения рыхлые пылегрязевые наносы [15; 16]. Образование, перенос и накопление наносов на урбанизированной территории вызвано антропогенными процессами, связанными с разрушением поверхностей (асфальта, газонов), строительных и других материалов, эрозией материалов газонов и почв, нарушением технологий благоустройства при уборке, проведении земляных работ [34; 35], нарушением стока атмосферных осадков и выпадением пыли из атмосферы [2; 3; 19; 40]. Различные виды поверхностного седимента (рыхлых наносов) депонируют загрязнители, поступающие от неточечных источников загрязнения города, сами при этом выступают в качестве транспортирующей загрязнение среды [4; 33; 41]. Поверхностный сток атмосферных осадков переносит седиментационный материал через проницаемые (грунты, почва, газоны) и непроницаемые (асфальт, бетон, тротуары, дороги) поверхности городских ландшафтов создавая при этом латеральную связанность поверхностей различных функциональных зон урбанизированной территории [19; 35]. Результатом является увеличение объема стока наносов и эрозионного материала в городской среде по сравнению с природными и сельскохозяйственными ландшафтами [9; 36]. Наиболее значимым источником поверхностного седимента признаются почвы и открытые грунты, нарушенные в результате строительных и ремонтных работ, работ связанных с выемкой грунта [7; 37; 28; 29; 43]. Удаление поверхностного седимента в городах личными пылесосами, ливневой канализацией и с помощью различных технологи-

ческих мероприятий приводит к уменьшению общего объема седиментационного материала в городской среде [28; 30; 44]. Накопление седимента происходит значительно быстрее в урбанизированной среде, нежели в естественных экосистемах и обусловлено особенностями седиментационного каскада города [35].

Диффузное загрязнение водного объекта урбанизированной территории определяется функционированием водосборного бассейна как гидрологической системы. Зачастую исследования связи водосбора с водным объектом направлены на решение какой-либо отдельной конкретной задачи: определить гранулометрический состав донных отложений [53], формы нахождения элемента [54; 55], оценить поступление тех или иных поллютантов [46], смыв почв и снега с водосбора в водный объект.

Седиментационный каскад в городской среде состоит из связанных друг с другом различных функциональных участков урбанизированного ландшафта (крыши, непроницаемые поверхности, грунты, зеленые зоны, автодороги и др.), в том числе движением автомобильного транспорта, способствует миграции материала наносов по поверхностям в урбанизированной среде [35; 36]. Непроницаемые поверхности производят и доставляют больше поллютантов в водоемы [26]. Например, в Китае строительные площадки и поверхности не имеющие покрытия были признаны одним из основных источников пыли в атмосфере [6]. В Стокгольме основная масса пыли в городе обусловлена уличной пылью от истирания дорожного полотна колесами автомобилей, состав пыли зависит от свойств поверхностей [13]. В Португалии в городе Коимбра большая часть городского седимента поступает от строительных и ремонтных работ [8].

Конечным объектом городского седиментационного каскада как глобальной системы переноса поллютантов являются ручьи, водоемы, овраги, реки, моря и океаны. При этом стоки с урбанизированных территорий могут участвовать в геохимической трансформации водных экосистем. Изменяется вещественный состав, формы нахождения микроэлементов в донных отложениях, воде, и взвешенном веществе водоемов и водотоков [11; 26; 45].

Экологическая опасность городского седимента состоит в том, что он содержит различные поллютанты, патогены и взвешенное вещество в виде пылевых и аэрозольных частиц аэродинамического диаметра 2,5–10,0 мкм (PM_{2,5-10}) [5; 21; 32]. При этом на мелких частицах PM могут прикрепляться бактерии, вирусные частицы и другие биологические объекты [1; 12].

Объем поверхностных отложений городской среды достаточно высок [27]. Часть этого седимента вместе с поллютантами в результате каскада седиментационных процессов, происходящих на урбанизированной территории, доходит до поверхностных водных объектов в растворенном виде, на твердых и взвешенных частицах и в виде выпадений из атмосферы. Доходящая до водного объекта часть поверхностного миграционного потока твердого осадка и поллютантов становится частью донных отложений водоемов и водотоков и может оказывать негативное воздействие на обитателей водоемов. Поступление поллютантов и взвешенных веществ с поверхностным стоком с жилых территорий города многократно превышает поступление поллютантов с промышленных и рекреационных зон, а также от точечных источников загрязнения. Диффузное загрязнение водного объекта урбанизированной территории определяется функционированием водосборного бассейна как гидрологической системы. На территориях с суровой снежной зимой снеготаяние увеличивает сток поллютантов с водосборной территории в водоемы и водотоки [10].

Целью настоящей работы было выявить связь между геохимическими характеристиками твердого материала поверхностного седимента, образующегося на городской территории, и твердого материала донных отложений поверхностных водоемов в черте города. Исследование проведено на примере малых бессточных водоемов г. Екатеринбурга.

Материалы и методы

Описание Екатеринбурга. Екатеринбург – четвертый по численности населения город России с населением примерно 1,5 млн человек, административный центр Уральского федерального округа и Свердловской области. Площадь территории города составляет 468 км². Город расположен на стыке восточных предгорий Среднего Урала и Зауральской складчатой возвышенности, в таежной зоне. Характер рельефа на территории города крупнохолмистый. Екатеринбург находится в умеренном климатическом поясе континентальной лесной области. Для территории характерно умеренно теплое лето и умеренно суровая снежная зима. Холодный период продолжается 151 день с ноября по март. Многолетняя средняя температура января составляет –15,3 °С, а июля – +17,4 °С. Городской ландшафт испытывает высокую антропогенную нагрузку от большого числа автомобилей.

Характеристики обследуемых водоемов и их водосборов. На территории г. Екатеринбурга выбраны два бессточных малых мелководных водоема: Чемоданчик и водоем в Харитоновском саду (рис. 1). Происхождение водоемов антропогенное. Водоемы имеют рекреационное назначение. Питание водоемов осуществляется за счет атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод. В водоемы могут поступать ливневые стоки с прилегающих автодорог и из дренажных каналов. Морфометрических характеристик водоемов в открытой литературе не найдено.



Рисунок 1 – Расположение водоемов в Харитоновском саду (1) и Чемоданчик (2) на картосхеме Екатеринбурга

Водоем Чемоданчик (56,802092° с.ш., 60,538809° в.д.) расположен в Академическом районе Екатеринбурга на территории Юго-Западного лесопарка. Берега озера песчаные, с плавным заходом в воду, восточная часть водоема заболочена, в западной располагается насыпная дамба высотой около 1,8 м над уровнем озера. По берегам вокруг озера обустроены беседки для отдыха.

Водоем в Харитоновском саду располагается в центре г. Екатеринбурга (56,846963°СШ, 60,613751°ВД) и представляет искусственный пруд с двумя насыпными островами. Берега островов заболочены. Сад вместе с прудом был заложен в 1826 году. Водоем был вырыт для осушения болота на реке Пеньковке, впадавшей в реку Мельковку, которая в свою очередь впадала в городской пруд. С южной сто-

роны в водосборе водоема располагается вознесенский холм, перепад высот до 15 м. Водоем имеет неправильную форму.

Дизайн эколого-геохимического исследования. Исследования бессточных водоемов и их водосборов проводили с помощью подхода трансект-катены [52], адаптированного для урбанизированной среды. Водоем и его водосбор рассматривается как часть ландшафта, в которой происходит поверхностный латерального сноса вещества. В основе подхода лежит бассейновый принцип. Трансект-катена представляет собой трехмерное тело, в котором сочетаются линейная (профильная) и катенарная (ландшафтно-геохимическая сопряженность) характеристики вместе с площадной формой ландшафта в трансекте. Водосбор был расчленен по трансект-катене на латеральные сопряженные участки ландшафта, последовательно сменяющие друг друга в направлении от локального водораздела к локальному базису денудации (водоему). Участки ландшафта на трансект-катене имеют функциональное назначение.

Водосборы водоемов расположены на сопряжениях разных функциональных зон города. Водосбор водоема Чемоданчик – на сопряжении селитебной, рекреационной и зоны транспортной инфраструктуры, представленной объездной автодорогой. Водоем Чемоданчик участвует в регулировании сбора поверхностных вод на территории, прилегающей к автодороге: часть берега водоема формируется дамбой, препятствующей подтоплению зоны вдоль дороги. Водосбор водоема в Харитоновском саду расположен на сопряжении селитебной, общественно-деловой, рекреационной зон, и улично-дорожной сети, представленной двухполосной дорогой с относительно высокой интенсивностью движения. На рисунке 2 представлены трансект-катены в Харитоновском саду (1) и Чемоданчик (2) с расчленением водосборов на функциональные участки.



Рисунок 2 – Схемы трансект-катен водоемов в Харитоновском саду (а) и Чемоданчик (б): матовый контур – площадь водосбора, красные линии – границы трансект-катены; выкопировка с карт Google Earth

Отбор проб компонентов окружающей среды. В выбранных трансект-катенах проводилось геохимическое опробование: отбирались пробы на водоеме и водосборе. Пробы компонентов окружающей среды, отобранные на водосборе, относились к разным функциональным зонам города. На рисунках 3 и 4 показано расположение точек отбора проб на водосборах трансект-катен Чемоданчика и Харитоновского сада соответственно. На водосборах пробы отбирались в теплый период 2019 г.

На водосборе Чемоданчика отобрано 19 проб. Пробы прибрежного грунта, грунта из канавы, почвы из лесопарка, и придорожного леса отбирались со стратификацией по 10 см до глубины 30 см; отбиралось три параллельных керна на участке по принципу треугольника, затем керны разделялись по стратификации по горизонтам

0–10, 10–20 и 20–30 см; пробы из горизонтов объединялись и перемешивались (одна проба представляет собой материал из объединенных трех параллельно отобранных проб из данного горизонта). Пробы рыхлых поверхностных наносов и дорожной пыли представляют объединенные пробы с обследованных участков из 3–5 локализаций; материал отбирался из поверхностного горизонта 0–5 см. Участки транскатены объездная автодорога, обочина и придорожный лес относятся к функциональной зоне транспортной инфраструктуры города. Кампинг, берег водоема, дамба, канава и лес относятся к рекреационной функциональной зоне города.

На водосборе в Харитоновском саду отобрано 10 проб. Пробы почвы на холме и склоне (процедура отбора описана выше), рыхлых наносов на тропинках в парке приурочены к рекреационной зоне города. Пробы дорожной пыли и локальных понижений микрорельефа на внутридворовой территории относятся соответственно к зоне транспортной инфраструктуры и селитебной зоне города.



Рисунок 3 – Расположение точек отбора проб на водосборе оз. Чемоданчик: 1 – дорожная пыль с проезжей части объездной автодороги; 2 – наносы с обочины объездной дороги; 3 – почвы в лесопарке вблизи объездной автодороги; 4 – рыхлые наносы на тропинке в кемпинге; 5 – прибрежный грунт на берегу заросшем травой; 6 – прибрежный грунт на песчаном берегу; 7 – рыхлые поверхностные наносы с тропинки на дамбе; 8 – грунт из канавы на опушке лесопарка; 9 – почва из лесопарка

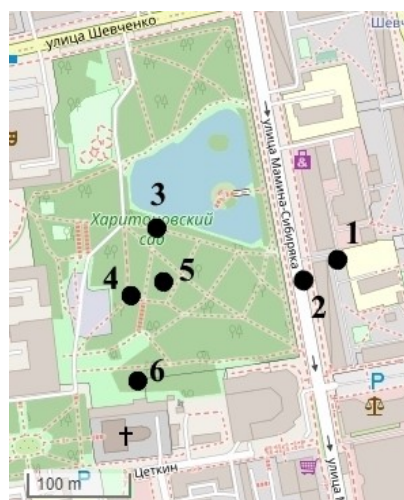


Рисунок 4 – Расположение точек отбора проб на водосборе в Харитоновском саду: 1 – рыхлые наносы из локальных понижений микрорельефа в жилом квартале на селитебной территории; 2 – дорожная пыль с проезжей части улицы; 3 – рыхлые поверхностные наносы с тропинки в парке вдоль берега водоема; 4 – рыхлые поверхностные наносы на тропинке в парке; 5 – почва в парке на склоне; 6 – почва в парке на холме

Пробы донных отложений отбирались в феврале – марте 2020 г. со льда по ГОСТ 17.1.5.01-80, согласно методике изучения биогеоценозов внутренних водоемов и Методических рекомендациям по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами [49–51]. На поверхности водоема выбирались три равноудаленных друг от друга точки. В каждой точке проводился отбор проб донных отложений. Колонка донных отложений отбиралась пробоотборным устройством по типу желонки с частичным разрушением структуры образца. Колонка нарезалась на пробы по 4 см по стратификации по глубине, пробы упаковывались на месте отбора в полиэтиленовые пакеты с застежкой zip-lock с исключением поступления воздуха. При отборе проб использовалось оборудование с повышенной коррозионной устойчивостью.

Подготовка проб и лабораторные анализы. Пробы высушивались при комнатной температуре. Из проб извлекались посторонние включения, ветки, корни, листья, камни. Сухая проба измельчалась, просеивалась через сито с диаметром ячеек 1 мм. Проба была разделена на две представительных части методом квартования:

- часть пробы для определения техногенного радионуклида Cs-137, массой 1 кг;
- навеска для определения элементного и минерального состава массой 50 г.

Для характеристики геохимических условий и происходящих процессов в трансект-катенах в отобранных пробах определялось:

- содержание халькофильных (в том числе типичных поллютантов урбанизированной среды, Cu, Zn, As, Sn, Sb, Pb), литофильных (Ti, V, Cr, Mn, U, Th) и сидерофильных элементов (Co, Ni); набор определяемых элементов совпадает с набором элементов программы почвенного мониторинга г. Екатеринбурга, проводимого Уралгидрометом;

- содержание техногенного радионуклида Cs-137, который является маркером времени формирования городских ландшафтов для г. Екатеринбурга и трассером процессов миграции и накопления для ряда поллютантов;

- минеральный состав как дополнительный источник информации о формировании геохимических условий в водосборах и водоемах.

Определение Cs-137 в пробах проводилось методом гамма-спектрометрии на стационарном сцинтилляционном гамма-радиометре РКГ-АТ1320 на основе сцинтилляционного детектора из NaI(Tl). Элементный состав проб определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре ELAN 9000 фирмы Perkin Elmer (США) согласно Методике определения элементного состава почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа НСАМ № 499-Х [48]. Определение минерального состава проб проводилось методами рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 и термического анализа на дериватографе Diamond TG/DTA. Вещественный анализ проб проводился в ЦКП «Геоаналитик» в ИГГ УрО РАН, радиометрический анализ проводился в радиационной лаборатории Института промышленной экологии УрО РАН.

Описание ландшафтных характеристик участков водосборов. Описание ландшафтных участков проводилось на выбранных трансект-катенах. Для каждого функционального участка водосбора заполнялась анкета, содержащая следующую информацию: тип покрытия (асфальт, гравий и др.); нарушение покрытия (в процентах от площади зоны); общее техническое состояние участка; наличие и тип парковки автомобилей; количество парковочных мест и припаркованных на момент обследования автомобилей; об уборке участка; проведение ремонтно-строительных работ на момент обследования и тип этих работ; наличие перепада высот; наличие пониженных участков микрорельефа; источники грязевого осадка, наносов (внутренние обеспечивают образование грязи на исследуемом участке; внешние переносят грязь с соседних участков). При обследовании проводилась фотосъемка состояния каждого функционального участка. Применяемая в исследовании методология ландшафтного анализа подробно описана в работе Ярмошенко и соавт. [42].

Результаты опробования и ландшафтного анализа территорий. По результатам ландшафтного анализа выявлены основные факторы формирования седиментационного материала в водосборах:

- на селитебной территории отсутствие и высокая степень разрушения бордюров,
- нарушенные и невосстановленные после ремонтных работ покрытия или их отсутствие, запечатанные почвы (отсутствие травы на газонах),
- плохая уборка территорий.

На внутридворовых проездах и парковках в селитебной зоне города в теплый период года происходит интенсивное пыление и вынос грязевого осадка на колесах автомобилей на уличные территории в зону автотранспорта. Как показало натурное обследование, качество уборки существенно различается на территориях внутри и снаружи жилых кварталов. В обследованных трансект-катенах на водосборах лучше всего качество уборки на территории парковых зон. На момент обследования территорий водосборов осенью ремонтные и земляные работы были завершены, проведена рекультивация и восстановление покрытия. В летний период достаточно долгое время во время ремонтных работ участки водосборов оставались с нарушенным покрытием, сыпучие строительные материалы, торф, и изъятый грунт находились в незакрытых кучах, что создавало дополнительное поступление твердого материала наносов в локальные понижения микрорельефа, а также разнос материала по внутридворовой территории. Мелкофракционный щебень после холодного периода не везде удаляется с поверхностей, однако в виде пыли может также поступать в водоем.

Радионуклидный состав проб. Результаты радионуклидного анализа образцов с водосборов показали, что удельная активность Cs-137 в обследованных ландшафтах составляет менее 11 Бк/кг. При этом не наблюдается накопления радионуклида даже в более глубоких почвенных горизонтах на участках лесопарков. Удельные активности Cs-137 в донных отложениях обследованных водоемов имеют достаточно высокие значения (до 380 Бк/кг). Вертикальные профили распределения удельной активности (УА) Cs-137 показаны на рисунке 5.

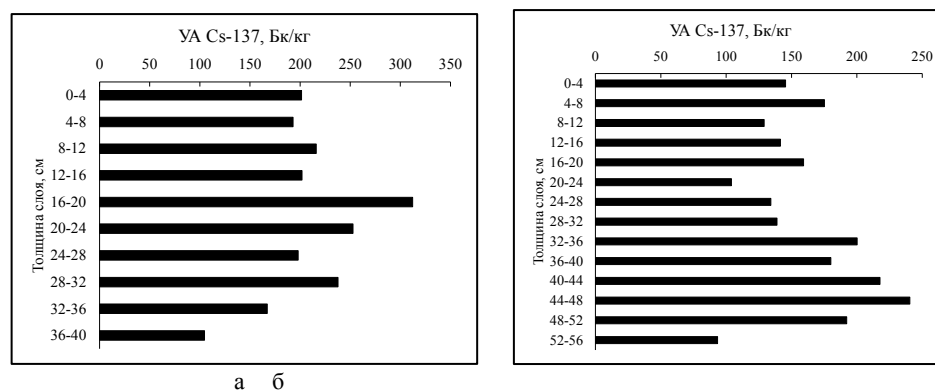


Рисунок 5 – Вертикальные профили распределения удельной активности (УА) Cs-137 в водоемах в Харитоновском саду (а) и Чемоданчик (б). Показана средняя удельная активность в слое донных отложений

Элементный состав отобранных проб. Статистические параметры распределения концентраций элементов в компонентах окружающей среды водосборов и водоемов показаны в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Статистические параметры распределения концентраций элементов в компонентах окружающей среды водосборов

Показатель	Число проб	Концентрация, мг/кг					
		Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Минимум-максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Ti	87	2 480	2 135	2 589	575–5 299	1 205	49
V	87	85	73	79	20–184	42	50
Cr	87	165	97	83	14–5 912	178	108
Mn	87	741	605	580	115–2 113	492	66
Co	87	17	14	12	3–40	12	68
Ni	87	125	67	59	6–467	143	115
Cu	87	54	43	51	7–122	33	62
Zn	87	94	77	73	21–297	62	66
As	87	6	5	5	1–21	5	79
Sn	87	1	1	1	0,4–5	1	64
Sb	87	1	1	1	1–3	1	74
Pb	87	27	21	18	9–106	24	89
U	87	2	2	2	1–2	1	50
Th	87	4	4	4	1–11	2	48

Таблица 2 – Статистические параметры распределения концентраций элементов в компонентах окружающей среды водоемов

Показатель	Число проб	Концентрация, мг/кг					
		Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Минимум-максимум	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Ti	96	4 093	3 693	3 532	317–9 320	1 829	45
V	96	123	113	108	17–258	49	40
Cr	96	258	138	90	8–3 996	470	182
Mn	96	787	642	540	127–3 519	627	80
Co	96	21	18	18	1,1–57	12	55
Ni	96	105	72	49	3,9–497	99	94
Cu	96	55	49	51	4,5–345	36	65
Zn	96	81	76	74	6,5–191	30	37
As	96	7	4	4	0,27–250	25	382
Sn	96	2	2	2	0,35–17	2	94
Sb	96	1	1	1	0,06–5	1	68
Pb	96	25	20	23	0,9–175	23	90
U	96	3	2	3	0,1–7	1,49	56
Th	96	4	3	5	1,2–8	2,77	65

Минеральный состав проб. Минеральный состав отобранных проб с водосборов и водоемов представлен на рис. 6 и 7 соответственно.

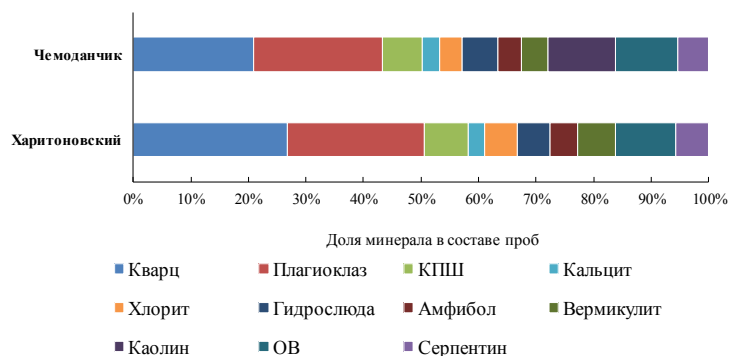


Рисунок 6 – Минеральный состав отобранных проб с водосборов: ОВ – органическое вещество, КПШ – калиевый полевой шпат. Представлены средние содержания



Рисунок 7 – Минеральный состав донных отложений водоемов: ОВ – органическое вещество, КПШ – калиевый полевой шпат. Представлены средние содержания

Корреляция минерального и элементного состава проб. Результаты корреляционного анализа концентраций элементов и минерального состава в компонентах окружающей среды водосборов и водоемов представлены в таблицах 3 и 4 для трансект-катен Чемоданчик и Харитоновский сад. Показан статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена (при $p < 0,05$) между различными показателями компонентов окружающей среды выше 0,6 (за исключением Cs-137).

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа концентраций элементов и минерального состава в компонентах окружающей среды трансект-катены Чемоданчик

Показатель	Каолин	Sn	Sb	As	Zn	Ni	Cu	Co	Mn	Cr	V	Ti	Cs-137
Кальцит	0,97	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Гидрослюда	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,64
Амфибол	–	0,63	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,59
Серпентин	–	0,87	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ОВ	–	–	–	0,91	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pb	–	0,71	–	–	0,63	–	0,60	–	–	–	–	–	–
Sn	–	–	0,63	–	0,72	–	0,72	0,70	–	0,65	0,69	–	–
Sb	–	–	–	–	0,68	0,81	0,80	0,68	0,60	0,67	–	–	–

Показатель	Каолин	Sn	Sb	As	Zn	Ni	Cu	Co	Mn	Cr	V	Ti	Cs-137
As	–	–	–	–	–	–	0,71	–	0,62	–	–	–	–
Zn	–	–	–	–	–	0,72	0,79	0,81	–	0,67	0,60	–	–
Ni	–	–	–	–	–	–	0,82	0,75	–	0,86	0,61	–	–
Cu	–	–	–	–	–	–	–	0,67	0,63	0,70	0,60	–	–
Co	–	–	–	–	–	–	–	–	0,68	0,83	0,74	–	–
Cr	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,80	–	–
V	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,69	–

Обсуждение

Результаты опробования. Использование подхода трансект-катен в эколого-геохимических исследованиях урбанизированной территории, в которой есть сопряженные зоны разного функционального назначения, является вполне оправданным. Похожим методом исследуются торфяные болота, почвы, парковые зоны, однако есть ряд принципиальных отличий данного исследования. В эколого-геохимический анализ включены территории с многоэтажной жилой застройкой непосредственно являющейся частью водосбора водоема. Используемый подход к эколого-геохимическому исследованию урбанизированной среды на основе опробования современных антропогенных отложений с водосборов позволяет уверенно охарактеризовать эколого-геохимическую ситуацию на участках ландшафта достаточно большой площади. Методы на эколого-геохимической оценки на основе опробования современных антропогенных отложений и подход трансект-катены позволяют получить информацию об интегральном характере загрязнении как водосбора, так и донных отложений самого водоема.

Ландшафтный анализ функциональных участков водосборов позволяет выявить процессы, обуславливающие современное осадконакопление в городской среде. Образование, перенос и накопление рыхлых наносов на урбанизированной территории в теплый период года вызвано комплексом природных и антропогенных факторов. Функциональные участки на водосборе урбанизированной среды связаны друг с другом, вследствие этого происходит поступление на один участок ландшафта седиментационного материала с соседних с дальнейшим латеральным переносом седимента в водоем.

Радионуклидный состав проб. Удельные активности Cs-137 в водосборах соответствуют времени формирования поверхностей урбанизированных ландшафтов в Екатеринбурге, как и грунтов и почв, после 2000 г. [31; 39]. К таким удельным активностям нуклида на участках ландшафтов водосборов, по-видимому, привела эрозия верхнего слоя грунта, реконструкция ландшафтов, рекультивация и засыпка нового грунта, а также обустройство новых газонных покрытий на участках. Высокие УА нуклида в донных отложениях в обследованных водоемах говорят о том, что водоемы не подвергались очистке от донных отложений за период с 1945 г. до настоящего времени. Паттерны накопления Cs-137 в донных отложениях в водоемах Чемаданчик и в Харитоновском саду согласуются с данными, получаемыми по накоплению нуклида в озерах в северном полушарии в Европе [31]. Согласно литературным данным при анализе вертикальных профилей Cs-137 в донных отложениях пик УА Cs-137 ближе к поверхностному горизонту интерпретируется как Чернобыльские выпадения Cs-137 в 1986 г. Второй пик в более низких слоях соответствует максимальным глобальным испытаниям 1963 г.

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа концентраций элементов и минерального состава в компонентах окружающей среды трансект-катены Харигоновский сад

Показатель	Pb	Th	U	Sn	Sb	As	Zn	Ni	Cu	Co	Mn	Cr	V	Ti	Cs-137
Хлорит	-	-	-	-	-	-	-	0,62	-	-	-	-	-	-	-
Вермикулит	-	-	-	-	-	-	-	0,82	-	0,84	-	0,84	0,85	0,84	0,63
ОВ	0,60	-	-	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Монтмориллонит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,71	-	-	-	-
Pb	-	0,77	0,79	0,88	0,88	0,88	0,89	-	0,61	-	-	-	-	-	-
Th	-	-	0,84	0,61	0,62	0,74	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-0,72
U	-	-	-	0,70	0,79	0,77	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	-	-	0,85	0,79	0,84	-	0,62	-	-	-	-	-	-
Sb	-	-	-	-	-	0,84	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-
As	-	-	-	-	-	-	0,83	-	0,62	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73	-	0,85	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	-	-	-	-
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91	0,74	0,60	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	0,58
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59

Средняя УА Cs-137 в донных отложениях в водоеме Харитоновского сада в горизонте 16–20 см для 1986 г. составила 312 Бк/кг, а в водоеме Чемоданчик – 159 Бк/кг в горизонте 16–20 см (высокая УА Cs-137 175 Бк/кг в слое 4–8 см связана с перемешиванием верхних слоев донных отложений в результате купания отдыхающих в водоеме Чемоданчик). Удельные активности Cs-137 в малых водоемах в г. Екатеринбурге сопоставимы с УА низкоактивных радиоактивных отходов [50]. Происходит очищение склоновых участков ландшафта за счет современных седиментационных процессов, плоскостного смыва частиц с водосбора. Цезий, поступивший в виде атмосферных выпадений, в составе материала наносов при эрозии верхнего слоя грунта поступает в понижение мезорельефа, где находится водоем.

Элементный состав проб. Согласно таблицам 1 и 2 коэффициент вариации концентраций элементов для рассматриваемых компонентов водоема и водосбора показывает достаточно высокие значения. Распределение концентраций элементов в сопряженных ландшафтных компонентах водосборов сильно неоднородно, что и было ожидаемо. Такая неоднородность объясняется разным временем существования опробованных компонентов (дорожная пыль является более «короткоживущим» компонентом в трансект-катене нежели почва лесопарка), разным генезисом материала, различными источниками поступления элементов (например, Pb, который остался в грунтах и почвах с периода использования этилированного бензина). При этом в среднем наибольшую вариабельность показывают в водосборах и водоемах As, Cr, Ni, Sn, Pb, наименьшую вариабельность – литофильные элементы (Ti, Th, U). Неоднородность содержания элементов в донных отложениях объясняется неоднородностью распределения концентраций между разными слоями в колонках. Паттерн накопления Cs-137 в донных отложениях подтверждает естественный послойный характер седиментации за период их накопления.

Характерные геохимические ассоциации металлов для отобранных компонентов окружающей среды водосборов и водоемов в порядке убывания средней геометрической концентрации элемента Ti-Mn-Cr-Zn-V-Ni-Cu-Pb-Co-As-Th-U-Sn-Sb схожи для компонентов водосборов и донных отложений водоемов. Ассоциации схожи с ассоциациями в грунтах в Екатеринбурге, донных отложениях других водоемов, отложениях пониженных участков микрорельефа и почв города, что подтверждает общий генезис металлов в этих компонентах городской среды [38].

Минеральный состав проб. Минеральный состав компонентов окружающей среды водосборов формируется в первую очередь следующими минералами: кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат. Минералами, формирующими оставшуюся часть минерального состава, являются силикаты (в т.ч. вермикулит, гидрослюда, амфибол, серпентин и хлорит). Около 5 % минерального вещества компонентов водосбора составляет кальцит, который является продуктом выветривания строительных конструкций (бетон, строительный раствор, штукатурка и т.п.). Распределение минерального состава в компонентах водосборов неодинаково, что может быть связано с локальными геологическими условиями территории города Екатеринбурга. В районе нахождения озера Чемоданчик литогенный субстрат сформирован на гранитном массиве, в то время как литогенную основу в районе расположения Харитоновского сада сформировали осадочные породы, образовавшиеся на ультраосновных.

Компоненты водосборов и водоемов имеют схожий минеральный состав, включающий породообразующие минералы. Соотношение породообразующих минералов в материале донных отложений и компонентов окружающей среды водосборов связано с локальными геологическими условиями. Однако в Харитоновском саду в донных отложениях преобладают слоистые минералы, монтмориллонит и хлорит, а также арагонит, который встречается в комплексе с кальцитом, составляющие минерально-сырьевую базу строительной отрасли в Уральском регионе. В целом, различие в минеральном составе донных отложений водоема может быть обусловлено расположением водоемов и их возрастом. Чемоданчик находится в лесном массиве на окраине города и является относительно молодым водоемом, в то время как Хари-

тоновский сад располагается в центре города и водоем там существует почти двести лет. Центр города подвержен постоянному воздействию от строительной отрасли (как многоэтажного, так и дорожного), что может привести к поступлению в донные отложения пыли минерального происхождения в большем объеме, нежели в трансект-катене Чемоданчика.

Содержание органического вещества в компонентах окружающей среды водосборов составляет до 15 %, что сопоставимо с содержанием органического вещества в почвах урбанизированных зон. При этом содержание органического вещества в донных отложениях водоемов Чемоданчик и в Харитоновском саду значительно меньше чем в компонентах водосборов.

Корреляционный анализ. Корреляционный анализ минерального и элементного состава проб компонентов окружающей среды водосборов и водоемов позволяет получить информацию о генезисе элементов и минерального вещества в трансект-катене и путях поступления вещества в донные отложения водоемы с водосбора, а также более точно интерпретировать ранее полученные данные минерального и элементного анализа. Так, корреляция каолина и кальцита в трансекте Чемоданчик также может говорить о поступлении этих минералов из одного источника, предположительно, в результате выветривания строительных конструкций, пыли со строек, при дорожном строительстве.

Слоистые минералы (гидрослюда, амфибол, серпентин, вермикулит) ассоциированные с рядом элементов (Ni, Co, Cr, V, Ti, Sn, Mn). При этом слоистые минералы могут обуславливать дополнительное поступление микроэлементов в окружающую среду. Также слоистые минералы представляют депо техногенного радионуклида Cs-137.

В донных отложениях происходит накопление как типичных поллютантов городской среды Pb, Zn и Cu, так и элементов различных минеральных ассоциаций (серпентина, амфибола и хлорита), которые одновременно составляют ресурсную базу для строительных материалов в г. Екатеринбурге и участвуют в образовании литогенного субстрата на территории города и его окрестностей. Основным механизмом переноса элементов в системе «водоем и его водосбор» является очищение склоновых ландшафтов за счет современных седиментационных процессов и плоскостного смыва частиц (эрозия верхнего слоя грунтов), а также выпадения из атмосферы.

Заключение. Полученные с помощью различных методов вещественного и ландшафтного анализа результаты эколого-геохимического исследования водоемов и их водосборов позволят получить комплексную картину переноса и накопления поллютантов и материала наносов в мезоландшафте урбанизированной среды. Плоскостная эрозия, терригенный смыв твердого материала в замкнутой мезокатене урбанизированной среды приводят к накоплению материала донных отложений водоема, геохимически связанного с функциональными участками различного происхождения в искусственно созданной среде. При этом техногенная нагрузка на сопряженные участки трансект-катены имеет основополагающее значение при формировании локальных геохимических условий в системе водоем и его водосбор в городской среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-35-60011. Лабораторные анализы проведены с использованием оборудования ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 075-15-2021-680. Работа Окуновой Т.Г., Рянской А.Д. и Киселевой Д.В. поддержана государственным заданием ИГГ УрО РАН, тема № АААА-А18-118053090045-8.

Список литературы

1. Alghamdi M. A., Shamy M., Redal M. A., Khoder M., Awad A. H., Elserougy S. Microorganisms associated particulate matter: A preliminary study / *Sci. Total Environ.* 2014, 479–480, P. 109–116.
2. Alves C. A., Evtuygina M., Vicente A. M. P., Vicente E. D., Nunes T. V., Silva P. M. A., Duarte M., Pio C., Amato F. Querol X. Chemical profiling of PM10 from urban road dust / *Sci. Total Environ.* 2018, 634, P. 41–51.
3. Chen S., Zhang, X., Lin J., Huang J., Zhao D., Yuan T., Huang K., Luo Y., Jia Z., Zang Z., et al. Fugitive Road Dust PM2.5 Emissions and Their Potential Health Impacts / *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, P. 8455–8465.
4. Chin A., Beach T., Luzzadder-Beach S., Solecki W.D. Challenges of the “Anthropocene”. *Anthropocene*, 2017, 20, P. 1–3.
5. Cohen A. J., Brauer M., Burnett R., Anderson H. R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 / *Lancet*, 2017, 389, P. 1907–1918.
6. Cui M., Lu H., Etyemezian V., Su Q. Quantifying the emission potentials of fugitive dust sources in Nanjing, East China / *Atmos. Environ.* 2019, 207, P. 129–135.
7. Ercoli R. F., Matias V. R. S., Zago V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil / *Front. Environ. Sci.* 2020, 8, 52.
8. Ferreira C. S. S., Walsh R. P. D., Blake W. H., Kikuchi R., Ferreira A. J. D. Temporal Dynamics of Sediment Sources in an Urbanizing Mediterranean Catchment / *Land Degrad. Dev.* 2017, 28, 2354–2369.
9. Ferreira C. S. S., Walsh R. P. D., Ferreira A. J. D. Degradation in urban areas. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 2018, 5, P. 19–25.
10. Förstner U., Heise S., Schwartz R., Westrich B., Ahlf W. Historical Contaminated Sediments and Soils at the River Basin Scale / *Journal of Soils and Sediments*, 2004 4, 247–260.
11. Froger C., Ayrault S., Evrard O., Monvoisin G., Bordier L., Lefèvre I., Quantin C. Tracing the sources of suspended sediment and particle-bound trace metal elements in an urban catchment coupling elemental and isotopic geochemistry, and fallout radionuclides / *Environ Sci Pollut Res.* 2018, 25, 28667–28681.
12. Groulx N., Urch B., Duchaine C., Mubareka S., Scott J. A. The Pollution Particulate Concentrator (PoPCon): A platform to investigate the effects of particulate air pollutants on viral infectivity. *Sci. Total Environ.* 2018, 628–629, P. 1101–1107.
13. Gustafsson M., Blomqvist G., Järnskog I., Lundberg J., Janhäll S., Elmgren M., Johansson C., Norman M., Silvergren S. Road dust load dynamics and influencing factors for six winter seasons in Stockholm, Sweden / *Atmos. Environ. X* 2019, 2, 100014.
14. Hong Y., Bonhomme C., Le M.-H., Chebbo G. A new approach of monitoring and physically-based modelling to investigate urban wash-off process on a road catchment near Paris / *Water Research*, 2016, 102, P. 96–108.
15. URL^ <https://www.epa.gov/nps>
16. URL: <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution>
17. Kayhanian M. Trend and concentrations of legacy lead (Pb) in highway runoff / *Environmental Pollution*, 2012, 160, P. 169–177.
18. Kayhanian M., Fruchtman B. D., Gulliver J. S., Montanaro C., Ranieri E., Wuertz S. Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications / *Water Research*, 2012, 46(20), P. 6609–6624.
19. Knox E. G., Bouchard C. E., Barrett J. G. Erosion and Sedimentation in Urban Areas. In *Agronomy Monographs*; American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 2015; P. 179–197.
20. Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A.L., Kotze D.J. Urban snow indicates pollution originating from road traffic / *Environ Pollut*, 2014, 195, P. 56–63.
21. Landrigan P. J., Fuller R., Acosta N. J. R., Adeyi O., Arnold R., Basu N., Baldé A.B., Bertollini R., Bose-O’Reilly S., Boufford J.I. et al. The Lancet Commission on pollution and health / *Lancet*, 2018, 391, P. 462–512.
22. Liu A., Egodawatta P., Guan Y., Goonetilleke A. Influence of rainfall and catchment characteristics on urban stormwater quality / *Science of The Total Environment*, 2013, 444, P. 255–262.
23. Lundy L., Ellis J.B., Revitt D.M. Risk prioritisation of stormwater pollutant sources / *Water Research*, 2012, 46 (20), P. 6589–6600.

24. Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources / *Science of The Total Environment*, 2020, 709, 136125.
25. Okaikue-Woodi F. E. K., Cherukumilli K., Ray J. R. A critical review of contaminant removal by conventional and emerging media for urban stormwater treatment in the United States / *Water Research*, 2020, 187, 116434.
26. Owens P. N., Blake W. H., Gaspar L., Gateuille D., Koiter A. J., Lobb D. A., Petticrew E. L., Reiffarth D. G., Smith H. G., Woodward J. C. Fingerprinting and tracing the sources of soils and sediments: Earth and ocean science, geoarchaeological, forensic, and human health applications. *Earth-Science Reviews*, 2016, 162, 1–23.
27. Owens P. N., Caley K. A., Campbell S., Koiter A. J., Droppo I. G., Taylor K. G. Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment / *J Soils Sediments*, 2011, 11(6):1040–1051.
28. Perez M.A., Zech W.C., Donald W.N., Fang X. Design Methodology for the Selection of Temporary Erosion and Sediment Control Practices Based on Regional Hydrological Conditions / *J. Hydrol. Eng.* 2016, 21, 05016001.
29. Perez M. A., Zech W. C., Donald W. N., Turochy R., Fagan B. G. Transferring Innovative Erosion and Sediment Control Research Results into Industry Practice / *Water*, 2019, 11, 2549.
30. Pitt R. E., Williamson D., Voorhees J., Clark S., Harrisburg P. S. Review of Historical Street Dust and Dirt Accumulation and Washoff Data / *JWMM* 2005.
31. Putyrskaya V., Klemt E. Modeling ¹³⁷Cs migration processes in lake sediments. *Journal of Environmental Radioactivity* 96 (2007) 54–62.
32. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution–REVIHAAP Project: Final Technical Report; The WHO European Centre for Environment and Health: Bonn, Switzerland, 2013.
33. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds. *Earth Sci. Rev.* 2017, 168, P. 73–80.
34. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Urban catchment runoff increases bedload sediment yield and particle size in stream channels / *Anthropocene*, 2018, 23, P. 53–66.
35. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Urban sediment supply to streams from hillslope sources / *Sci. Total Environ*, 2019, 653, P. 684–697.
36. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D., Urban sediment supply to streams from hillslope sources. *Science of The Total Environment*, 2019. 653, 684–697.
37. Santikari V. P., Murdoch L. C. Effects of construction-related land use change on stream-flow and sediment yield / *J. Environ. Manag.* 2019, 252, 109605.
38. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment. *Environmental Technology & Innovation*, 2014. 1–2. P. 1–7.
39. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. ¹³⁷Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment. *J. Environ. Radioact.*, 2015. – 142. – P. 9–13.
40. Taylor K. Urban environments. In *Environmental Sedimentology*; Perry, C., Taylor, K., Eds., Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2007, P. 190–222.
41. Taylor K. G., Owens P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J Soils Sediments*, 2009, 9, P. 281–303.
42. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Baglaeva E., Seleznev A. A Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban Environment / *Atmosphere* 2020, 11, 1320.
43. Yoon B., Woo, H. Sediment Problems in Korea / *J. Hydraul. Eng.* 2000, 126, P. 486–491.
44. Zafra C. A., Temprano J., Tejero I. Particle size distribution of accumulated sediments on an urban road in rainy weather / *Environ. Technol.* 2008, 29, P. 571–582.
45. Zhu Y., Huang L., Li J., Ying Q., Zhang H., Liu X., Liao H., Li N., Liu Z., Mao Y., Fang H., Hu J. Sources of particulate matter in China: Insights from source apportionment studies published in 1987–2017 / *Environment International*, 2018, 115, 343–357.
46. Лабузова О. М., Носкова Т. В., Лысенко М. С., Ильина Е. Г., Папина Т. С. Оценка поступления нефтяных углеводородов с территории города Барнаула в природные водотоки. Труды Карельского научного центра РАН. 2017. – № 3. – С. 48–54.
47. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Москва: Наука, 1975. 240 с.
48. Методика определения элементного состава почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа НСАМ № 499-Х. ФГУП ВИМС. 2008.

49. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами (Ю. Е. Сает, Л. Н. Алексинская, Е. П. Янин). М.: ИМГРЭ. 1982. 74 с.
50. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 N 47 "Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09" (вместе с "НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы") (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 N 14534)
51. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом УТВЕРЖДЕНО Госкомгидрометом 6 января 1984 года. Ленинград: Гидрометеозидат, 1986, 91 с.
52. Устинов М.Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен. Сибирский экологический журнал. 2001.– Том 8. – Номер: 3. С. 285–291.
53. Янин Е. П. Особенности гранулометрического состава русловых отложений малой реки в зоне влияния промышленного города. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. – 3. – С. 69–74.
54. Янин Е. П. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка). Москва : ВИНТИ, 2013. – 196 с.
55. Янин Е. П. Формы нахождения тяжелых металлов в техногенных речных илах. Разведка и охрана недр. 2016. – 11. – С. 54–59.

References

1. Alghamdi M. A., Shamy M., Redal M. A., Khoder M., Awad A. H., Elserougy S. Microorganisms associated particulate matter: A preliminary study / *Sci. Total Environ.* 2014;479–480:109–116.
2. Alves C. A., Evtugina M., Vicente A. M. P., Vicente E. D., Nunes T. V., Silva P. M. A., Duarte M., Pio C., Amato F. Querol X. Chemical profiling of PM10 from urban road dust. *Sci. Total Environ.* 2018;634:41–51.
3. Chen S., Zhang, X., Lin J., Huang J., Zhao D., Yuan T., Huang K., Luo Y., Jia Z., Zang Z., et al. Fugitive Road Dust PM2.5 Emissions and Their Potential Health Impacts / *Environ. Sci. Technol.* 2019;53:8455–8465.
4. Chin A., Beach T., Luzzadder-Beach S., Solecki W.D. Challenges of the “Anthropocene”. *Anthropocene.* 2017;20:1–3.
5. Cohen A. J., Brauer M., Burnett R., Anderson H. R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet.* 2017;389: 907–1918.
6. Cui M., Lu H., Etyemezian V., Su Q. Quantifying the emission potentials of fugitive dust sources in Nanjing, East China. *Atmos. Environ.* 2019;207:129–135.
7. Ercoli R. F., Matias V. R. S., Zago V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Brazil. *Front. Environ. Sci.* 2020;8;52.
8. Ferreira C. S. S., Walsh R. P. D., Blake W. H., Kikuchi R., Ferreira A. J. D. Temporal Dynamics of Sediment Sources in an Urbanizing Mediterranean Catchment. *Land Degrad. Dev.* 2017;28:2354–2369.
9. Ferreira C. S. S., Walsh R. P. D., Ferreira A. J. D. Degradation in urban areas. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health.* 2018;5:19–25.
10. Förstner U., Heise S., Schwartz R., Westrich B., Ahlf W. Historical Contaminated Sediments and Soils at the River Basin Scale. *Journal of Soils and Sediments.* 2004;4:247–260.
11. Froger C., Ayrault S., Evrard O., Monvoisin G., Bordier L., Lefèvre I., Quantin C. Tracing the sources of suspended sediment and particle-bound trace metal elements in an urban catchment coupling elemental and isotopic geochemistry, and fallout radionuclides / *Environ Sci Pollut Res.* 2018;25:28667–28681.
12. Groulx N., Urch B., Duchaine C., Mubareka S., Scott J.A. The Pollution Particulate Concentrator (PoPCon): A platform to investigate the effects of particulate air pollutants on viral infectivity. *Sci. Total Environ.* 2018;628–629:1101–1107.
13. Gustafsson M., Blomqvist G., Järskog I., Lundberg J., Janhäll S., Elmgren M., Johansson C., Norman M., Silvergren S. Road dust load dynamics and influencing factors for six winter seasons in Stockholm, Sweden. *Atmos. Environ. X.* 2019;2:100014.

14. Hong Y., Bonhomme C., Le M.-H., Chebbo G. A new approach of monitoring and physically-based modelling to investigate urban wash-off process on a road catchment near Paris / *Water Research*. 2016;102:96–108.
15. URL: <https://www.epa.gov/nps>
16. URL: <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution>
17. Kayhanian M. Trend and concentrations of legacy lead (Pb) in highway runoff / *Environmental Pollution*. 2012;160:169–177.
18. Kayhanian M., Fruchtman B. D., Gulliver J. S., Montanaro C., Ranieri E., Wuertz S. Review of highway runoff characteristics: Comparative analysis and universal implications / *Water Research*. 2012;46(20):6609–6624.
19. Knox E. G., Bouchard C. E., Barrett J. G. Erosion and Sedimentation in Urban Areas. In *Agronomy Monographs; American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA*. 2015:179–197.
20. Kuoppamäki K., Setälä H., Rantalainen A. L., Kotze D. J. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environ Pollut*, 2014;195:56–63.
21. Landrigan P. J., Fuller R., Acosta N. J. R., Adeyi O., Arnold R., Basu N., Baldé A. B., Bertollini R., Bose-O'Reilly S., Boufford J. I. et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*. 2018;391:462–512.
22. Liu A., Egodawatta P., Guan Y., Goonetilleke A. Influence of rainfall and catchment characteristics on urban stormwater quality. *Science of The Total Environment*. 2013;444:255–262.
23. Lundy L., Ellis J.B., Revitt D.M. Risk prioritisation of stormwater pollutant sources. *Water Research*. 2012;46(20):6589–6600.
24. Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of The Total Environment*. 2020;709:136125.
25. Okaikue-Woodi F. E. K., Cherukumilli K., Ray J. R. A critical review of contaminant removal by conventional and emerging media for urban stormwater treatment in the United States. *Water Research*. 2020;187:116434.
26. Owens P. N., Blake W. H., Gaspar L., Gateuille D., Koiter A. J., Lobb D. A., Petticrew E.L., Reiffarth D.G., Smith H.G., Woodward J.C. Fingerprinting and tracing the sources of soils and sediments: Earth and ocean science, geoarchaeological, forensic, and human health applications. *Earth-Science Reviews*, 2016, 162, 1–23.
27. Owens P. N., Caley K. A., Campbell S., Koiter A. J., Droppo I. G., Taylor K. G. Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment / *J Soils Sediments*, 2011;11(6):1040–1051.
28. Perez M. A., Zech W. C., Donald W. N., Fang X. Design Methodology for the Selection of Temporary Erosion and Sediment Control Practices Based on Regional Hydrological Conditions. *J. Hydrol. Eng*. 2016;21:05016001.
29. Perez M. A., Zech W. C., Donald W. N., Turochy R., Fagan B. G. Transferring Innovative Erosion and Sediment Control Research Results into Industry Practice. *Water*. 2019;11:2549.
30. Pitt R. E., Williamson D., Voorhees J., Clark S., Harrisburg P.S. Review of Historical Street Dust and Dirt Accumulation and Washoff Data. *JWMM*. 2005.
31. Putyrskaya V., Klemm E. Modeling 137Cs migration processes in lake sediments. *Journal of Environmental Radioactivity* 96. 2007:54–62.
32. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution–REVIHAAP Project: Final Technical Report; The WHO European Centre for Environment and Health: Bonn, Switzerland. 2013.
33. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds. *Earth Sci. Rev*. 2017;168:73–80.
34. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Urban catchment runoff increases bedload sediment yield and particle size in stream channels. *Anthropocene*. 2018;23:53–66.
35. Russell K.L., Vietz G.J., Fletcher T.D. Urban sediment supply to streams from hillslope sources. *Sci. Total Environ*. 2019;653:684–697.
36. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Urban sediment supply to streams from hillslope sources. *Science of The Total Environment*. 2019;653:684–697.
37. Santikari V.P., Murdoch L.C. Effects of construction-related land use change on streamflow and sediment yield. *J. Environ. Manag*. 2019;252:109605.
38. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment. *Environmental Technology & Innovation*. 2014;1–2:1–7.

39. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergee A. P. 137Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment. *J. Environ. Radioact.* 2015;142:9–13.
40. Taylor K. Urban environments. In *Environmental Sedimentology*; Perry, C., Taylor, K., Eds., Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA. 2007:190–222.
41. Taylor K. G., Owens P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J Soils Sediments.* 2009;9:281–303.
42. Yarmoshenko I., Malinovsky G., Baglaeva E., Seleznev A. A Landscape Study of Sediment Formation and Transport in the Urban Environment. *Atmosphere.* 2020;11:1320.
43. Yoon B., Woo, H. Sediment Problems in Korea. *J. Hydraul. Eng.* 2000;126:486–491.
44. Zafra C.A., Temprano J., Tejero I. Particle size distribution of accumulated sediments on an urban road in rainy weather. *Environ. Technol.* 2008;29:571–582.
45. Zhu Y., Huang L., Li J., Ying Q., Zhang H., Liu X., Liao H., Li N., Liu Z., Mao Y., Fang H., Hu J. Sources of particulate matter in China: Insights from source apportionment studies published in 1987–2017. *Environment International.* 2018;115:343–357.
46. Labuzova O. M., Noskova T. V., Lysenko M. S., Ilyina E. G., Papina T. S. Assessment of the flow of petroleum hydrocarbons from the territory of the city of Barnaul into natural watercourses. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2017;3:48–54 (In Russ.)
47. Metodika izucheniya biogeocенозов vnutrennih vodoemov. M.: Nauka. 1975:240 (In Russ.)
48. Metodika opredeleniya elementnogo sostava pochv, gruntov i donnyh otlozhenij atomno-emissionnym i mass-spektral'nym metodami analiza NSAM № 499-H. FGUP VIMS. 2008. (In Russ.)
49. Metodicheskie rekomendacii po geohimicheskoj ocenke zagryazneniya poverhnostnyh vodotokov himicheskimi elementami (YU.E. Saet, L.N. Aleksinskaya, E. P. Yanin). M.: IMGRE. 1982:74 (In Russ.)
50. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 07.07.2009 N 47 "Ob utverzhdenii SanPiN 2.6.1.2523-09" (vmeste s "NRB-99/2009. SanPiN 2.6.1.2523-09. Normy radiacionnoj bezopasnosti. Sanitarnye pravila i normativy") (Zaregistrovano v Minyuste RF 14.08.2009 N 14534) (In Russ.)
51. Rukovodstvo po opredeleniyu gidrograficheskikh harakteristik kartometricheskim sposobom Utverzhdeno Goskomgidrometom 6 yanvarya 1984 goda. L. Gidrometeoizdat. 1986: 91 (In Russ.)
52. Ustinov M. T. Katenografiya i ekologo-meliorativnaya ocenka pochvennogo pokrova metodom transekt-katen. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal.* 2001;8;3:285–291. (In Russ.)
53. Yanin E. P. Osobennosti granulometricheskogo sostava ruslovyh otlozhenij maloj reki v zone vliyaniya promyshlennogo goroda. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geologiya i razvedka.* 2009;3:69–74. (In Russ.)
54. Yanin E. P. Tekhnogennye rechnye ily (veshchestvennyj sostav, geohimicheskie osobennosti, ekologicheskaya ocenka). M.: VINITI. 2013 : 196 (In Russ.)
55. Yanin E. P. Formy nahozhdeniya tyazhelyh metallov v tekhnogennyh rechnyh ilah. *Razvedka i ohrana neдр.* 2016;11:54–59. (In Russ.)

Информация об авторах

А. А. Селезнев – старший научный сотрудник;
А. Д. Рянская – младший научный сотрудник;
Т. Г. Окунева – младший научный сотрудник;
И. В. Ярмошенко – директор ИПЭ;
Г. П. Малиновский – заместитель директора по науке ИПЭ.

Information about the authors

A. A. Seleznev – senior researcher;
A. D. Ryanskaya – researcher;
T. G. Okuneva – researcher;
I. V. Yarmoshenko – director IPE;
G. P. Malinovsky – vicedirector IPE.

Вклад авторов

Окунева Т. Г. и Киселева Д. В. – проведение элементного анализа;
Рянская А. Д. – проведение минерального анализа;
Селезнев А. А. – концептуализация, обработка и анализ данных, разработка методологии, полевые исследования, написание текста статьи, подготовка рисунков и таблиц;
Ярмошенко И. В. и Малиновский Г. П. – полевые исследования.

Contribution of the authors

Okuneva T. G. and Kiseleva D. V. – elemental analysis;
Ryanskaya A. D. – mineral analysis;
Seleznev A. A. – conceptualization, data processing and analysis, development of methodology, field research, writing the text of the article, preparation of figures and tables;
Yarmoshenko I. V. and Malinovsky G. P. – field research.

Статья поступила в редакцию 16.08.2022; одобрена после рецензирования 24.08.2022; принята к публикации 02.09.2022.

The article was submitted 16.08.2022; approved after reviewing 24.08.2022; accepted for publication 02.09.2022.