

## ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 556.55; 550.4; 504.455, 551.312; 631.416.9

Д.В. Власов<sup>1</sup>, Г.Л. Шинкарева<sup>2</sup>, Н.С. Касимов<sup>3</sup>**МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОСКВЫ**

Изучен химический состав (содержание As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn и Zr) и физико-химические свойства донных отложений Косинских озер и искусственных прудов Восточной Москвы: Большого Дворцового, Владимирского, Нижнего Ивановского, Северного Выхинского, Новогиреевского, Суздальского, Восточного и Западного Терлецких и Ольхового. Распространены отложения со средним содержанием органического вещества 3,6%, нейтральной реакцией (pH 7,2) и легким гранулометрическим составом. Относительно фоновых дерново-подзолистых почв Подмосковной Мещеры аккумулируются (число – превышение фона, раз)  $Pb_{6,2}$ ,  $Sb_{6,1}$ ,  $W_{6,0}$ ,  $Zn_{4,6}$ ,  $Cd_{3,5}$ ,  $Te_{3,2}$ ,  $Fe_{2,9}$ ,  $As_{2,8}$ ,  $Rb_{2,5}$ ,  $Li_{2,5}$ ,  $Zr_{2,5}$ . Наиболее загрязнены донные отложения Владимирского и Северного Выхинского прудов, первый из которых расположен в рекреационной зоне, окруженной промзоной «Прожектор» и шоссе Энтузиастов, второй – рядом с развилкой Косинского шоссе и МКАД. Приоритетные поллютанты – Sb, W, Pb, Zn, Cd, Te и As. В донных отложениях Владимирского, Северного Выхинского, Новогиреевского прудов и Черного озера превышены нормативы для почв Pb до 18 раз, Zn – 9,8, As – 9, Cd – 4,4, Cu – 3,3, Ni – 2, Sb – до 1,6 раз. Менее опасные уровни поллютантов характерны для Святого озера и Ольхового пруда, где до 3 раз превышены ОДК As, Zn, Ni и Cd. В донных осадках по сравнению с другими минеральными компонентами городских ландшафтов (почвами, дорожной пылью и пылевой составляющей снега) накапливаются Sb и Pb, что указывает на их поступление с выбросами транспорта и дальнейшую миграцию в подчиненные позиции.

*Ключевые слова:* экогеохимия, городские ландшафты, загрязнение, аквальные системы, пруды

**Введение.** На урбанизированных территориях в результате техногенного и природного поступления взвешенных и растворенных веществ в водные объекты образуются техногенные илы, обладающие специфическими свойствами [Опекунов, 2012]. В городах с геохимических позиций лучше изучены донные отложения водотоков [Tamim et al., 2016; Zhang et al., 2017; Янин, 2018], в то время как водоемам уделяется меньше внимания [Jumbe, Nandini, 2009; Andersson, Eggen, 2015; Иванов, 2018].

Большинство химических элементов поступают в водоемы в результате латеральной миграции из различных частей водосбора, некоторые – преимущественно с выпадениями из атмосферы от локальных или удаленных техногенных источников [Frost et al., 2015]. Изучение донных отложений городских водоемов позволяет охарактеризовать влияние различных видов землепользования на загрязнение окружающей среды, оценить интенсивность техногенного воздействия и динамику загрязнения, а также выявить основные источники поллютантов [Yang et al., 2014].

Гидрографическая сеть города Москвы насчитывает более 200 водотоков и 600 водоемов, одна-

ко мониторинговые исследования последних ведутся с 2013 г. только в восточной части города в природно-историческом парке «Косинский», где расположены три озера естественного происхождения – Белое, Черное и Святое [Доклад ..., 2016]. Качество воды в озерах соответствует гигиеническим нормативам практически по всем показателям, за исключением органических веществ по биологическому и химическому потреблению кислорода и взвешенных веществ. В отдельные годы отмечались превышения нормативов по железу, сульфидам и формальдегиду [Доклад ..., 2017]. Считается, что наличие сульфидов обусловлено процессами разложения илов, однако исследование химического состава отложений не проводилось. В настоящей работе изучены физико-химические свойства и химический состав донных отложений Косинских озер, а также искусственных прудов Восточной Москвы в муниципальных районах Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокузнецкое и Косино-Ухтомский. Эколого-геохимические исследования Восточной Москвы ведутся уже более четверти века. За этот период исследованы пространственное варьирование и динамика загрязнения тя-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: vlasgeo@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: galina.shinkareva@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, зав. кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, академик РАН; e-mail: secretary@geogr.msu.ru

желыми металлами и металлоидами почв, снежно-го покрова, дорожной пыли, древесных и травянистых видов растений, охарактеризована геохимическая структура городских ландшафтов с определением латеральной и радиальной дифференциации поллютантов, фракционный состав тяжелых металлов и металлоидов в почвах и дорожной пыли [Касимов и др., 2016]. Детальное изучение геохимических особенностей нижних звеньев ландшафтно-геохимических катен Восточной Москвы – аквальных систем – проводится впервые.

В работе решались следующие задачи:

– изучить основные физико-химические свойства донных отложений водоемов Восточной Москвы;

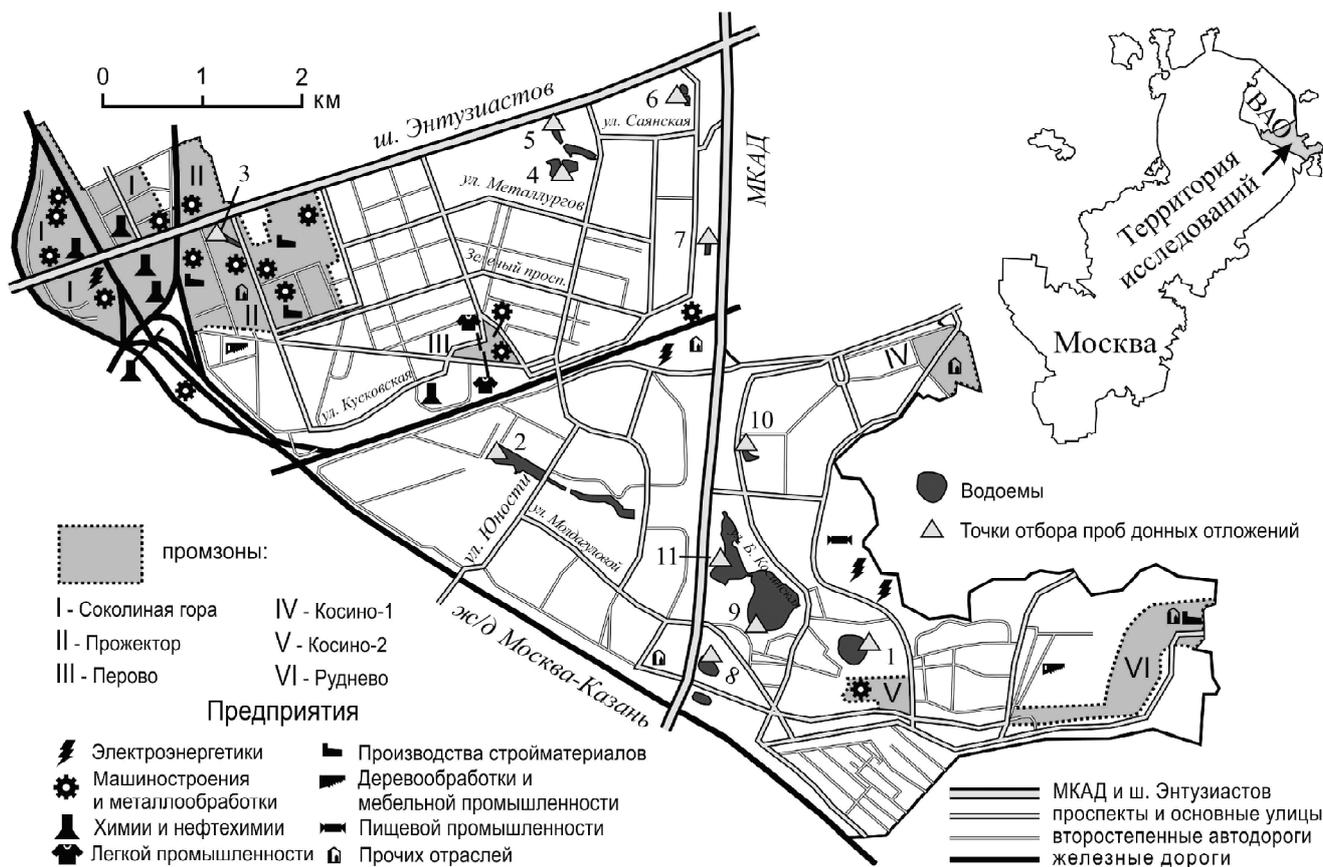
– определить содержание металлов и металлоидов в них;

– оценить экологическую опасность загрязнения донных осадков металлами и металлоидами.

**Методы и материалы.** Изучалась южная, наиболее загрязненная часть Восточного округа, где расположен ряд крупных промышленных зон и автомагистралей. Территория расположена в краевой

части Мещерской слабобрасчлененной заболоченной озерно-ледниковой равнины с общим уклоном на юго-восток, с относительно большой мощностью четвертичных водно-ледниковых, аллювиальных и техногенных отложений [Большой атлас Москвы, 2012]. Основной источник загрязнения городских ландшафтов Восточной Москвы – транспорт, составляющий около 80% суммарных выбросов, что несколько меньше по сравнению со средним их количеством в Москве (92%) [Доклад ..., 2017]. Стационарные источники техногенного воздействия сосредоточены в промышленных зонах [Касимов и др., 2016] «Соколиная гора», «Прожектор», «Перово», «Руднево», «Косино-1» и «Косино-2» (рис.).

Полевые работы проводились летом 2011 г. Изучены озера Святое, Белое и Черное в рекреационном районе Косинское Триозерье; а также пруды Большой Дворцовый в природно-историческом парке Кусково; Владимирский рядом с шоссе Энтузиастов и одноименной станцией метро; Нижний Ивановский в жилом районе рядом с пересечением шоссе Энтузиастов и МКАД; Северный Выхинский рядом с пересечением Косинского шоссе и МКАД;



Источники техногенного воздействия и точки опробования донных отложений в Восточной Москве. Здесь и в табл. 2 отмечены водоемы: 1 – Святое озеро, 2 – Большой Дворцовый пруд, 3 – Владимирский пруд, 4 – Восточный и Западный Терлецкие пруды, 5 – Ольховый пруд, 6 – Нижний Ивановский пруд, 7 – Новогиреевский пруд, 8 – Северный Выхинский пруд, 9 – Белое озеро, 10 – Суздальский пруд, 11 – Черное озеро

Sources of technogenic impact and sampling points of bottom sediments in Eastern Moscow. Here (and in Table 2) water reservoirs are marked as: 1 – Svyatoe Lake, 2 – Bolshoy Dvortsovy pond, 3 – Vladimirsky pond, 4 – Vostochny Terletsky and Zapadny Terlesky ponds, 5 – Olkhovy pond, 6 – Nizhny Ivanovsky pond, 7 – Novogireevsky pond, 8 – Severny Vyhinsky pond, 9 – Beloe Lake, 10 – Suzdalsky pond, 11 – Chernoe Lake

Новогиреевский между ул. Сталеваров и МКАД; Суздальский рядом с одноименной улицей; Восточный и Западный Терлецкие и Ольховый в Терлецком лесопарке (рис.). В геоморфологическом отношении все изученные водоемы расположены в пределах озерных равнин на древнеаллювиальных и флювиогляциальных отложениях, а также днищ балок и ложбин, то есть занимают подчиненные ландшафтно-геохимические позиции, где на загрязнение аквальных систем помимо латеральной миграции и атмосферных выпадений поллютантов некоторое влияние оказывают и грунтовые воды [Большой атлас Москвы, 2012; Касимов и др., 2016].

Опробовался верхний (0–15 см) горизонт донных отложений, где обычно аккумулируются поллютанты. Всего отобрано 11 смешанных проб в трех повторностях. Также учитывались результаты эколого-геохимической оценки состояния городских почв ( $n=52$ ), снежного покрова ( $n=51$ ) и дорожной пыли ( $n=16$ ) восточной части Москвы, проведенной авторами ранее [Касимов и др., 2016].

Физико-химические свойства донных отложений определялись в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ: рН водной вытяжки – потенциометрическим методом, гранулометрический состав – на лазерном гранулометре (Fritsch, Германия), содержание органического углерода (С орг) – методом Тюрина. Валовое содержание химических элементов анализировалось масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно связанной плазмой на приборах Elan-6100 и Optima-4300 (Perkin Elmer, США) во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского.

Гигиеническая опасность загрязнения донных отложений оценивалась с применением нормативов, разработанных для почв, поскольку предельные допустимые и ориентировочно допустимые концентрации (ПДК и ОДК соответственно) поллютантов в отложениях не разработаны и в ближайшей перспективе вряд ли будут установлены [Опекунов, 2012]. При расчете коэффициента опасности  $Ko = C/ПДК$  (ОДК) в нашем исследовании использовались следующие уровни: Sb=4,5, Mn=1500, V=150, Ni=20, Cu=33, Zn=55, As=2,0, Cd=0,5, Pb=32 мг/кг [ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09]. Однако такой способ оценки опасности загрязнения донных отложений неточен, поскольку ОДК Cd, Zn и Cu слабо отличаются от кларков этих металлов в верхней части континентальной земной коры, а As и Ni в 1,5–2 раза меньше кларков [Rudnick, Gao, 2003; Hu, Gao, 2008; Григорьев, 2009; Касимов, Власов, 2015]. Это, наряду с узким набором элементов, имеющих ПДК и ОДК, снижает применимость гигиенических нормативов.

Для эколого-геохимической оценки опасности загрязнения рассчитывались коэффициенты концентрации

$$Kc = C/Cф,$$

где  $Cф$  – фоновое содержание химического элемента в дерново-подзолистых почвах на песках, супесях и легких суглинках (10 проб) природного парка

«Мещера» Владимирской области примерно в 150 км восточнее Москвы. Использование почв в качестве фонового аналога оправданно при отсутствии данных о содержании элементов в фоновых донных отложениях, что применялось, например, в Шанхае при изучении парковых озер [Yang et al., 2014]. Для комплексной оценки загрязнения донных отложений химическими элементами рассчитывался суммарный показатель загрязнения:

$$Zc = \sum Kc - (n - 1),$$

где  $n$  – число элементов с  $Kc > 1$ . В качестве критериев экологического состояния водных объектов использовались следующие градации:  $Zc < 10$  – допустимый уровень санитарно-токсикологической опасности,  $10 \leq Zc < 30$  – умеренно-опасный,  $30 \leq Zc < 100$  – опасный,  $100 \leq Zc < 300$  – очень опасный,  $Zc \geq 300$  – чрезвычайно опасный [Янин, 2018].

Для оценки экологического риска загрязнения донных отложений применяются уровни содержания поллютантов, выше которых будет возможно негативное воздействие на бентосные организмы – probable effects level (PEL). Для учета суммарного экологического риска применяются средние коэффициенты PEL (m-PEL-Q), рассчитанные следующим образом:

$$m\text{-PEL-Q} = [\sum (C / \text{PEL})] / n,$$

где  $C$  – концентрация поллютанта, PEL – содержание поллютанта, выше которого будет иметь место негативное воздействие на бентосные организмы,  $n$  – число учитываемых элементов. В настоящей работе для расчета коэффициентов m-PEL-Q использовались уровни PEL, разработанные для пресноводных экосистем [MacDonald et al., 2000]: As=33, Cd=4,98, Cr=111, Cu=149, Pb=128, Ni=48,6, Zn=459 мг/кг. Приняты следующие градации: m-PEL-Q < 0,1 – низкий уровень;  $0,11 < m\text{-PEL-Q} < 1,5$  – средне-низкий;  $1,51 < m\text{-PEL-Q} < 2,3$  – средне-высокий; m-PEL-Q > 2,3 – высокий [Ioannides et al., 2015].

**Результаты исследований и их обсуждение.**  
**Физико-химические свойства донных отложений.** По геохимической классификации техногенных илов А.Ю. Опекунова [2012], донные отложения большинства водоемов Восточной Москвы «минеральные полиметалльные» со средним содержанием органического вещества 3,6%, которое варьирует от 0,2% в Нижнем Ивановском до 8,6% в Новогиреевском прудах (табл. 1). Отложения Северного Выхинского пруда и Черного озера «органоминеральные с примесью легкоокисляющихся веществ» с содержанием С орг 11,3–11,6%.

Реакция среды варьирует от 6,9 с нейтральной реакцией в отложениях Большого Дворцового и Новогиреевского прудов и Белого озера до 7,9 со слабощелочной реакцией в Ольховом пруду, что связано, вероятно, с поступлением техногенной пыли от промышленных и строительных источников и автотранспорта. Подщелачивание городских почв и дорожной пыли ранее было выявлено для многих городов и горнопромышленных ландшафтов [Волкова, Давыдова, 1987; Mapping ..., 2011; Касимов и др., 2016]. Донные отложения водоемов имеют легкий

Таблица 1

## Физико-химические свойства донных отложений водоемов Восточной Москвы

Водоем	pH	C орг, %	Доля физ. глины, %
Святое озеро	7,2	2,5	16,4
Большой Дворцовый пруд	7,0	0,19	1,6
Владимирский пруд	7,2	3,6	6,6
Терлецкие пруды	7,1	0,73	1,0
Ольховый пруд	7,9	0,35	5,3
Нижний Ивановский пруд	7,5	0,19	1,4
Новогиреевский пруд	6,9	8,6	7,2
Северный Выхинский пруд	7,1	11,6	7,5
Белое озеро	6,9	0,19	1,0
Суздальский пруд	7,5	0,41	1,8
Черное озеро	7,2	11,4	14,1
Среднее	7,2	3,6	5,8
Минимальное	6,9	0,19	1,0
Максимальное	7,9	11,6	16,4
Коэффициент вариации, %	4,1	128	92

гранулометрический состав – содержание физической глины (частиц с диаметром менее 0,01 мм) в большинстве водоемов составляет 1,0–7,5% (рыхлый и связный песок), достигая 14–16% (супесь) в осадках Святого и Черного озер.

**Металлы и металлоиды в донных отложениях.** В водоемах Восточной Москвы донные отложения относительно фоновых дерново-подзолистых почв Подмосковной Мещеры наиболее интенсивно аккумулируют (цифра – величина  $K_c$ ): Pb<sub>6,2</sub>, Sb<sub>6,1</sub>, W<sub>6,0</sub>, Zn<sub>4,6</sub>, Cd<sub>3,5</sub>, Te<sub>3,2</sub>, Fe<sub>2,9</sub>, As<sub>2,8</sub>, Rb, Li, Zr<sub>2,5</sub> (табл. 2). Слабое накопление многих металлов и металлоидов обусловлено физико-химическими свойствами донных отложений: незначительное содержание органического вещества определяет слабую выраженность и малую емкость органоминерального, частиц физической глины – сорбционно-седиментационного, а нейтральная реакция среды – щелочного геохимических барьеров [Кошелева и др., 2015]. С величиной pH установлен значимый коэффициент корреляции лишь для Nb ( $r=0,64$ ). Наиболее ярко выражена линейная связь между содержанием органического вещества и Zn, Sr ( $r>0,9$ ), Cu, Mo ( $r=0,8–0,9$ ), Fe, Co, Ni, As, Cd, Sn, Sb, W и U ( $r=0,66–0,8$ ), однако из-за низкого уровня C орг концентрации химических элементов в донных отложениях возрастают незначительно. С ростом доли физической глины слабо увеличивается содержание Mn, Ni, Zn, Sr и Ba ( $r=0,61–0,75$ ).

Содержание металлов и металлоидов в донных отложениях городских прудов и озер, подверженных техногенному воздействию промышленных пред-

приятий и автотранспорта, обычно в несколько раз превышают концентрации элементов в фоновых аквальных системах, имея при этом различные уровни содержаний в разных городах. Так, в отложениях водоемов Восточной Москвы концентрации Cd (табл. 2) имеют близкие значения к уровням в озерах Суанью и Мочоу в Нанкине (Китай) [Hu et al., 2011], в несколько раз выше, чем в среднем для 35 озер парков Шанхая (Китай) [Yang et al., 2014], но в десятки раз ниже, чем в озерах Суонсвэлл Пул и Уикен Пул в Ковентри (Англия) [Charlesworth, Lees, 1999]. Концентрации Sn в 2 раза меньше, а Sb в 2 раза больше, чем в отложениях озера Пампулья в Белу-Оризонти (Бразилия) [Friese et al., 2010], Cu и Zn в 2 раза меньше, чем в пруду Руж Ривер в Скарборо (Канада) [Mayer et al., 2008], Sb, As и Sr в 1,5–2 раза больше, а Cr, Co, Rb, Cs, Ba, Hf, Ta, Th и U в 2,5 раза меньше, чем в отложениях малых водоемов юга Томской области [Иванов, 2018]. Наиболее близкие к Восточной Москве уровни поллютантов в донных отложениях имеют осадки прудов городов Ричмонд-Хилл, Питерборо и Оттава в Канаде [Frost et al., 2015].

Основными путями поступления поллютантов в аквальные системы городов являются выпадения из атмосферы и миграция загрязненных ливневых стоков, интенсивность воздействия которых на принимающие водоемы или водотоки зависит от целого ряда причин – типа и содержания загрязняющих веществ в водах, возможности их перемешивания и разбавления, суммарной концентрации поллютантов и др. [Li et al., 2009].

В донных отложениях водоемов Восточной Москвы наибольшее среднее накопление характерно для Pb, Sb, W, Zn и Cd, основным источником которых является автотранспорт, особенно износ металлических деталей автомобилей, истирание шин, дорожно-покрытия и разметки, эмиссия моторного масла [Iijima et al., 2007; Gietl et al., 2010; Limbeck, Puls, 2011; Quiroz et al., 2013]. Так, в Новогиреевском и Северном Выхинском прудах и Черном озере (табл. 2), расположенных рядом с МКАД, содержание Sb в донных осадках достигает (в скобках –  $K_c$ ): 4,5–7,2 мг/кг (13–20), W – 7,6–15 мг/кг (11–22), Zn – 290–440 мг/кг (8–12), Pb – 80–100 мг/кг (6–7), Cd – 0,9–2,1 мг/кг (4–10), что близко к уровню этих элементов в мигрирующих в атмосфере и с ливневым стоком фракциях дорожной пыли размером 1–10 и 10–50 мкм [Касимов и др., 2016]. Во Владимирском пруду, расположенном в рекреационной зоне, граничащей на севере с шоссе Энтузиастов, а на западе, юге и востоке окруженной промзоной «Прожектор», содержание Pb в донных отложениях резко возрастает до 580 мг/кг ( $K_c=41$ ), что может быть связано с выбросами расположенных в промзоне предприятий машиностроения и металлообработки и по производству строительных материалов (заводы – электродный, прожекторный, высоковольтной арматуры, железобетонных изделий, Перовский комбинат строительных материалов и другие) [Demetriades, Birke, 2015]. Высокая концентрация Pb может быть также обусловле-

Таблица 2

**Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов Восточной Москвы (мг/кг) и фоновых дерново-подзолистых почвах Подмосковной Мещеры (мг/кг) и интенсивность их накопления**

Эле- мент	Водоемы Восточной Москвы														Фон	Kc
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	среднее	мин.	макс.		
Li	13	7,9	19	3,7	20	5,3	9,2	16	3,5	8,6	11	11	3,5	20	4,3	<b>2,5</b>
Be	0,65	0,48	1,1	0,29	1,6	0,4	0,69	0,78	0,34	0,65	0,54	0,68	0,29	1,6	0,4	1,7
Ti	1738	1918	1917	1858	2577	1379	2218	1319	719	1738	1079	1678	719	2577	1574	1,1
V	55	38	76	27	88	36	95	73	12	51	39	54	12	95	36	1,5
Cr	44	20	71	15	34	18	44	55	5,2	17	24	32	5,2	71	26	1,2
Mn	929	194	217	124	302	139	349	589	465	139	325	343	124	929	357	–
Fe	23 081	7694	16 786	5316	23 781	5036	18 185	44 764	2308	8393	20 983	16 030	2308	44 764	5600	<b>2,9</b>
Co	9,4	4,4	11	3,2	11	3,8	11	14	1,1	5,6	8,3	7,5	1,1	14	4,3	1,8
Ni	22	9,2	37	5	23	7,9	24	40	2,6	11	26	19	2,6	40	11	1,7
Cu	32	8,3	88	3,4	14	6,1	95	110	8	8,7	66	40	3,4	110	20	<b>2,0</b>
Zn	170	31	250	18	57	29	290	440	17	34	540	171	17	540	37	<b>4,6</b>
Ga	7,5	5,9	8,7	3,3	12	4	8,6	8,8	2,5	6,5	4,7	6,6	2,5	12	3,8	1,7
As	6,5	1,7	7,2	1,3	5,8	3,3	4	18	0,99	2,6	9,5	5,5	0,99	18	2	<b>2,8</b>
Rb	42	39	46	23	66	24	38	41	19	40	25	37	19	66	14	<b>2,5</b>
Sr	140	84	110	91	140	57	160	210	50	89	250	126	50	250	68	1,8
Zr	150	200	150	140	220	130	130	80	80	190	80	141	80	220	56	<b>2,5</b>
Nb	8,1	7,6	10	5,5	13	8,3	7,7	7,7	2,3	7	4,7	7,5	2,3	13	4,1	1,8
Mo	1,3	1,1	2,5	0,46	0,43	0,49	3,5	5	0,27	0,42	1,9	1,6	0,27	5	0,86	1,8
Cd	0,68	0,15	2,2	0,12	0,27	0,21	0,9	2,1	0,091	0,17	1,3	0,74	0,091	2,2	0,21	<b>3,5</b>
Sn	4,2	1,7	13	1,2	2,2	1,3	8,3	8	1,4	1,5	8,8	4,7	1,2	13	4,4	1,1
Sb	1,7	0,25	6,4	0,18	0,47	0,25	4,5	7,2	0,18	0,3	2,8	2,2	0,18	7,2	0,36	<b>6,1</b>
Te	0,05	0,02	0,1	0,015	0,022	0,025	0,026	0,027	0,01	0,027	0,026	0,03	0,01	0,1	0,01	<b>3,2</b>
Cs	1,6	1,1	2,2	0,41	2,5	0,55	1	2,1	0,29	1,1	0,93	1,2	0,29	2,5	0,64	1,9
Ba	360	300	360	180	410	220	330	360	170	340	520	323	170	520	138	<b>2,3</b>
Hf	4,1	5,2	3,2	3,6	4,6	2,9	2,9	1,6	2,5	4,1	1,7	3,3	1,6	5,2	1,6	<b>2,1</b>
Ta	0,65	0,56	1	0,37	1,4	0,65	0,75	0,98	0,2	0,58	0,49	0,69	0,2	1,4	0,36	<b>2,0</b>
W	4,8	0,59	9,2	0,5	1,4	0,96	7,6	15	0,37	1,5	3,8	4,2	0,37	15	0,69	<b>6,0</b>
Tl	0,29	0,28	0,41	0,15	0,47	0,17	0,26	0,32	0,13	0,29	0,35	0,28	0,13	0,47	0,14	<b>2,0</b>
Pb	26	14	580	11	22	12	81	99	8,2	18	100	88	8,2	580	14	<b>6,2</b>
Bi	0,27	0,08	0,7	0,047	0,18	0,11	0,44	0,48	0,03	0,095	0,25	0,24	0,03	0,7	0,13	<b>2,0</b>
Th	6,8	5,5	8,6	2,3	10	4,3	7,6	5,5	2,4	6,3	4,7	5,8	2,3	10	2,8	<b>2,1</b>
U	1,6	1,2	2,2	0,58	2	1	2,4	5,2	0,6	1,2	1,7	1,8	0,58	5,2	0,95	1,9

Примечание. Полужирным выделены  $Kc \geq 2$ .

на интенсивным загрязнением территории в прошлые годы, когда элемент входил в состав автомобильного топлива и его содержание в ливневом стоке городских автодорог могло в 1000–10 000 раз превышать фоновый уровень поверхностных вод [Laxen, Harrison, 1977].

Достаточно интенсивно ( $Kc$  до 5) в донных отложениях водоемов Восточной Москвы накапливается слабоизученный теллур, активно используемый в производстве солнечных батарей и для покраски керамических и стеклянных изделий. Однако наиболее вероятным источником Те является автотранспорт, поскольку этот металлоид применяется при

производстве сплавов Cu, Pb и Fe, входит в состав свинцово-кислотных аккумуляторов, а также используется для вулканизации каучука при изготовлении автомобильных шин [Goldfarb et al., 2017].

Многие металлы и металлоиды с  $1,5 \leq Kc < 3$  (Fe, As, Li, Rb, Zr, Ba, Hf, Th, Cu, Ta, Tl, Bi, Cs, U, Co, Sr, Nb, Mo, Be, Ni, Ga, V) поступают преимущественно от природных и природно-техногенных источников – вымываемых и выдуваемых частиц почвы, материала разрушения строительных материалов природного происхождения, что согласуется с данными о составе дорожной пыли и городских почв Восточной Москвы. Элементы с переменной валентностью

в нейтральных и щелочных условиях вероятно участвуют в окислительно-восстановительных реакциях на границе «вода–донные отложения», частично выносятся, что может способствовать их незначительному накоплению на слабо выраженных окислительном (Fe) и восстановительном (As, Mo, U, Cu, Co, Ni, V) геохимических барьерах [Глазовская, 1997]. Низкие уровни многих металлов и металлоидов в донных отложениях могут быть связаны с облицовкой берегов водоемов бетонными плитами, что препятствует латеральному привносу веществ, а также удалением части отложений при чистке водоемов [Касимов и др., 2016].

По сравнению с нашими данными о пылевой составляющей снега, почвах и дорожной пыли наиболее интенсивно в донных отложениях водоемов Восточной Москвы накапливаются Sb, Pb и W [Касимов и др., 2016], что указывает на замыкание латеральной миграции элементов в аквальных системах (прудах), находящихся в подчиненных геохимических позициях. Закономерности накопления большинства остальных металлов и металлоидов минеральными компонентами ландшафтов близки, только Mo интенсивно аккумулируется в пылевой составляющей снега ( $Kc=19$ ) и слабо в почвах, дорожной пыли и донных отложениях ( $Kc=2-3$ ), что связано с их щелочной реакцией среды, в которой

Mo подвижен, активно мигрирует и слабо накапливается. Геохимической особенностью ландшафтов Восточной Москвы является активная аккумуляция всеми компонентами Sb, которая поступает в ландшафты преимущественно с эмиссией моторного масла и износом тормозных колодок, механизмов и шин [Quiroz et al., 2013], являясь тем самым хорошим индикатором техногенного воздействия автотранспорта.

**Экологическая опасность загрязнения.** По величине суммарного показателя загрязнения донных отложений  $Zc$  очень опасный санитарно-токсикологический уровень ( $100 \leq Zc < 300$ ) установлен во Владимирском пруду ( $Zc=142$ ), расположенном рядом с шоссе Энтузиастов и промзоной «Прожектор», и в Северном Выхинском пруду ( $Zc=127$ ) около пересечения МКАД и Косинского шоссе с приоритетными поллютантами Sb, W, Pb, Zn, Cd, Te и As (табл. 3). Такой же перечень основных загрязнителей, но с более низкими уровнями содержания, характерен для Новогиреевского пруда рядом с МКАД ( $Zc=74$ ) и Ольхового пруда около шоссе Энтузиастов ( $Zc=66$ ), а также Черного ( $Zc=52$ ) и Святого ( $Zc=50$ ) озер в Косинском Триозерье с высокой рекреационной нагрузкой, в которых выявлен опасный санитарно-токсикологический уровень загрязнения.

Таблица 3

Геохимическая специализация донных отложений водоемов Восточной Москвы

Водоем	$Kc$				$Zc$
	>10	5–10	3–5	3–2	
Владимирский пруд	$Pb_{41}Sb_{18}W_{13}Cd_{11}Te_{10}$	$Zn_7Bi_6$	$Li_4Cu_4As_4Ni_3Cs_3Rb_3Th_3$	Be, V, Cr, Fe, Co, Ga, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, Hf, Ta, Tl, U	142
Северный Выхинский пруд	$W_{22}Sb_{20}Zn_{12}Cd_{10}$	$As_9Fe_8Pb_7Mo_6U_6Cu_5$	$Bi_4Ni_4Li_4Co_3Cs_3Sr_3$	V, Cr, Ga, Rb, Te, Ba, Ta, Tl	127
Новогиреевский пруд	$Sb_{13}W_{11}$	$Zn_8Pb_6$	$Cu_5Cd_4Mo_4Bi_4Fe_3$	Li, V, Co, Ni, Ga, As, Rb, Sr, Zr, Te, Ba, Ta, Th, U	74
Черное озеро	$Zn_{15}$	$Sb_8Pb_7Cd_6W_6$	$As_5Fe_4Ba_4Sr_4Cu_3$	Li, Ni, Mo, Sn, Te, Tl, Bi	66
Святое озеро	–	$W_7Te_5$	$Sb_5Zn_5Fe_4As_3Cd_3Li_3$	Mn, Co, Ni, Rb, Sr, Zr, Cs, Ba, Hf, Tl, Bi, Th	52
Ольховый пруд	–	–	$Li_5Rb_5Fe_4Be_4Zr_4Cs_4Ta_4Th_4$ $Tl_3Ga_3Nb_3$	V, Co, Ni, As, Sr, Te, Ba, Hf, W, U	50
Суздальский пруд	–	–	$Zr_3$	Li, Rb, Te, Ba, Hf, W, Tl, Th	20
Большой Дворцовый пруд	–	–	$Zr_4Hf_3$	Rb, Te, Ba, Tl	17
Нижний Ивановский пруд	–	–	–	Zr, Nb, Te	10
Терлецкие пруды	–	–	–	Zr, Hf	6,2
Белое озеро	–	–	–	–	2,9

Примечание. Прерывистой линией отделены водоемы по величине  $Zc$ : <10 – допустимый уровень санитарно-токсикологической опасности загрязнения донных отложений,  $10 \leq Zc < 30$  – умеренно-опасный,  $30 \leq Zc < 100$  – опасный,  $100 \leq Zc < 300$  – очень опасный [Янин, 2018].

*Умеренно-опасная санитарно-токсикологическая ситуация* ( $10 \leq Zc < 30$ ) характерна для донных отложений прудов во дворах жилых домов – Суздальского ( $Zc=20$ ) и Нижнего Ивановского ( $Zc=10$ ), а также для Большого Дворцового пруда ( $Zc=17$ ) в природно-историческом парке Кусково, где периодически проводятся работы по благоустройству территории и чистка водоемов от техногенных илов. *Допустимый уровень* загрязнения ( $Zc < 10$ ) выявлен в донных отложениях Восточного и Западного Терлецких прудов ( $Zc=6,2$ ), а также в Белом озере ( $Zc=2,9$ ).

В соответствии с гигиеническими нормативами в Восточной Москве наиболее сильно загрязнены Владимирский, Северный Выхинский, Новогиреевский пруды и Черное озеро, в донных отложениях которых аккумулируется Pb ( $Ko=3,1-18$ ), Zn (4,5–9,8), As (2,0–9,0), Cd (1,8–4,4), Cu (2,0–3,3), Ni (1,2–2,0) и Sb (1,1–1,6). Менее опасные уровни поллютантов характерны для Святого озера и Ольхового пруда, где в осадках в 1,1–3 раза превышены ОДК As, Zn, Ni и Cd. В отложениях Нижнего Ивановского и Суздальского прудов лишь концентрации As выше ОДК в 1,3–1,7 раза. В остальных водоемах концентрации металлов и металлоидов ниже нормативов.

По суммарному экологическому риску для бентосных организмов, определяемому величиной коэффициента  $m\text{-PEL-Q}$ , донные отложения Восточной Москвы дифференцированы слабо. Большинство водоемов характеризуется средне-низким уровнем экологического риска, убывающим в ряду: Владимирский пруд ( $m\text{-PEL-Q}=1,1$ ) > Северный Выхинский пруд (0,68) > Черное озеро (0,53) > Новогиреевский пруд (0,44) > Святое озеро (0,28) > Ольховый пруд (0,20) > Суздальский пруд (0,11). В Большом Дворцовом (0,098), Нижнем Ивановском (0,09), Восточном и Западном Терлецких прудах (0,06) и Белом озере (0,04) уровень суммарного экологического риска низкий.

Таким образом, наиболее загрязненными являются донные отложения Владимирского и Северного

Выхинского прудов с приоритетными поллютантами Sb, W, Pb, Zn, Cd, Te и As.

#### **Выводы:**

– донные отложения водоемов Восточной Москвы в среднем имеют относительно низкое содержание органического вещества (3,6%), легкий гранулометрический состав и нейтральную реакцию, что определяет слабое накопление большинства металлов и металлоидов на геохимических барьерах незначительной емкости: щелочном (Nb), органо-минеральном (Zn, Sr, Cu, Mo, Fe, Co, Ni, As, Cd, Sn, Sb, W, U), сорбционно-седиментационном (Mn, Ni, Zn, Sr, Ba), окислительном (Fe) и восстановительном (As, Mo, U, Cu, Co, Ni, V). В среднем относительно фоновых почв наиболее интенсивно аккумулируются Pb, Sb, W, Zn ( $Kc=4,6-6,2$ ) и Cd, Te, Fe, As, Rb, Li, Zr ( $Kc=2,5-3,5$ );

– в местах интенсивного техногенного воздействия автотранспорта и промышленных объектов загрязнение донных отложений возрастает до опасного и очень опасного санитарно-токсикологических уровней, характерных для Владимирского (в рекреационной зоне, окруженной промзоной «Прожектор» и шоссе Энтузиастов) и Северного Выхинского (рядом с развилкой Косинского шоссе и МКАД) прудов с приоритетными поллютантами – Sb, W, Pb, Zn, Cd, Te и As. Отложения остальных изученных водоемов Восточной Москвы имеют умеренно-опасный и допустимый уровни загрязнения. В донных отложениях Владимирского, Северного Выхинского, Новогиреевского прудов и Черного озера превышены гигиенические нормативы Pb (до 18 раз), Zn (до 9,8), As (до 9), Cd (до 4,4), Cu (до 3,3), Ni (до 2) и Sb (до 1,6);

– по сравнению с другими минеральными компонентами городских ландшафтов Восточной Москвы (почвами, пылевой составляющей снега, дорожной пылью) в донных отложениях накапливаются Sb, Pb и W из-за замыкания миграции этих поллютантов в подчиненных позициях городских ландшафтно-геохимических катен, занятых водоемами.

**Благодарности.** Авторы благодарны Д.К. и И.В. Черкасовым за помощь при проведении полевых работ, сотрудникам ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского за определение химических элементов. Обобщение данных о химическом составе и физико-химических свойствах донных отложений осуществлялось при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-77-30004), оценка экологической опасности загрязнения – по гранту Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 03/2018/РГО-РФФИ, проект № 17-05-41024).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Большой атлас Москвы. М.: Феория, 2012. 1000 с.
- Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1987. 188 с.
- Глазковская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 102 с.
- ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 10 с.
- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве / Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС, НИИПИ ИГСП, 2016. 269 с.
- Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве / Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС, НИИПИ ИГСП, 2017. 363 с.
- Иванов А.Ю. Экогеохимия донных отложений малых водоемов юга Томской области. Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2018. 22 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никуфорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. 2015. № 5. С. 536–553.
- Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. 224 с.
- Янин Е.П. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АРСО», 2018. 415 с.
- Andersson M., Eggen O.A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway // Environmental Science: Prospects & Impacts. 2015. Vol. 17. Iss. 4. P. 854–867.
- Charlesworth S.M., Lees J.A. The distribution of heavy metals in deposited urban dusts, Coventry, England // Environmental Geochemistry and Health. 1999. Vol. 21. P. 97–115.
- Demetriades A., Birke M. Urban geochemical mapping manual: sampling, sample preparation, laboratory analysis, quality control check, statistical processing and map plotting. Brussels: EuroGeoSurveys, 2015. 162 p.
- Friese K., Schmidt G., de Lena J.C., Nalini H.A.Jr., Zachmann D.W. Anthropogenic influence on the degradation of an urban lake – The Pampulha reservoir in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil // Limnologia. 2010. Vol. 40. P. 114–125.
- Frost P.C., Song K., Buttle J.M., Marsalek J., McDonald A., Xenopoulos M.A. Urban biogeochemistry of trace elements: what can the sediments of stormwater ponds tell us? // Urban Ecosystems. 2015. Vol. 18. Iss. 3. P. 763–775.
- Gietl J.K., Lawrence R., Thorpe A.J., Harrison R.M. Identification of brake wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 44. P. 141–146.
- Goldfarb R.J., Berger B.R., George M.W., Seal II R.R. Tellurium, chap. R // Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802 / Ed. by K.J. Schulz, J.H. DeYoung Jr., R.R. Seal II, D.C. Bradley. U.S. Geological Survey, 2017. P. R1–R27.
- Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. Vol. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.
- Hu X., Wang C., Zou L. Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China // Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92. P. 742–748.
- 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.
- Ioannides K., Stamoulis K., Papachristodoulou C., Tziamou E., Markantonaki C., Tsodoulos I. Distribution of heavy metals in sediment cores of Lake Pamvotis (Greece): a pollution and potential risk assessment // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187. Article N 4209. 16 p.
- Jumbe A.S., Nandini N. Heavy metals analysis and sediment quality values in urban lakes // American Journal of Environmental Sciences. 2009. Vol. 5(6). P. 678–687.
- Laxen D.P.H., Harrison R.M. The highway as a source of water pollution: an appraisal with the heavy metal lead // Water Research. 1977. Vol. 11. P. 1–11.
- Li L.Y., Hall K., Yuan Y., Mattu G., McCallum D., Chen M. Mobility and bioavailability of trace metals in the water-sediment system of the highly urbanized Brunette watershed // Water, Air and Soil Pollution. 2009. Vol. 197. P. 249–266.
- 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.
- MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2000. Vol. 39. P. 20–31.
- Mapping the chemical environment of urban areas / Ed. by C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. 640 p.
- Mayer T., Rochfort Q., Borgmann U., Snodgrass W. Geochemistry and toxicity of sediment porewater in a salt-impacted urban stormwater detention pond // Environmental Pollution. 2008. Vol. 156. P. 143–151.
- Quiroz W., Cortes M., Astudillo F., Bravo M., Cereceda F., Vidal V., Lobos M.G. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaiso, Chile: analytical and environmental considerations // Microchemical Journal. 2013. Vol. 110. P. 266–272.
- Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. P. 1–64.
- Tamim U., Khan R., Jolly Y.N., Fatema K., Das S., Naher K., Islam M.A., Islam S.M.A., Hossain S.M. Elemental distribution of metals in urban river sediments near an industrial effluent source // Chemosphere. 2016. Vol. 155. P. 509–518.
- Yang J., Meng X.-Z., Duan Y.-P., Liu L.-Z., Chen L., Cheng H. Spatial distributions and sources of heavy metals in sediment from public park in Shanghai, the Yangtze river delta // Applied Geochemistry. 2014. Vol. 44. P. 54–60.
- Zhang G., Bai J., Xiao R., Zhao Q., Jia J., Cui B., Liu X. Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China // Chemosphere. 2017. Vol. 184. P. 278–288.

Поступила в редакцию 04.04.2019  
 После доработки 11.04.2019  
 Принята к публикации 15.04.2019

D.V. Vlasov<sup>1</sup>, G.L. Shinkareva<sup>2</sup>, N.S. Kasimov<sup>3</sup>METALS AND METALLOIDS IN BOTTOM SEDIMENTS  
OF LAKES AND PONDS OF THE EASTERN PART OF MOSCOW

The chemical composition (concentrations of As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn and Zr) and physicochemical properties of bottom sediments of the Kosino lakes and artificial ponds (Bolshoy Dvortsovy, Vladimirsky, Nizhny Ivanovsky, Severny Vykhinsky, Novogireevsky, Suzdalsky, Olkhovy, Vostochny Terletsky and Zapadny Terletsky) in the eastern part of Moscow were studied. Bottom sediments with coarse grain size, neutral pH level (7,2) and average organic matter content of 3,6% are common within the area of study. As compared with the background sod-podzolic soils of Meshchera lowland the bottom deposits accumulate Pb<sub>6,2</sub>, Sb<sub>6,1</sub>, W<sub>6,0</sub>, Zn<sub>4,6</sub>, Cd<sub>3,5</sub>, Te<sub>3,2</sub>, Fe<sub>2,9</sub>, As<sub>2,8</sub>, Rb<sub>2,5</sub>, Li<sub>2,5</sub>, Zr<sub>2,5</sub> (numbers means background excess, times). Bottom sediments of Vladimirsky and Severny Vykhinsky ponds are the most contaminated; the first of them is located within the recreation zone surrounded by the Prozhektor industrial area and the Entuziastov highway, while the second one lies near the junction of the Kosino highway and the Moscow ring road. The following pollutants are of high priority: Sb, W, Pb, Zn, Cd, As and Te. The estimated permissible concentrations (EPC) for soils are exceeded in the bottom sediments of Vladimirsky, Severny Vykhinsky, Novogireevsky ponds and the Chernoe Lake for Pb by 18 times, Zn – 9,8, As – 9, Cd – 4,4, Cu – 3,3, Ni – 2, Sb – up to 1,6 times. Less dangerous levels of pollution are typical for the Svyatoye Lake and the Olkhovy Pond, where the EPC of As, Zn, Ni and Cd are exceeded up to 3 times. In comparison with other mineral components of urban landscapes (soils, road dust and dust in the snow cover) bottom sediments accumulate Sb and Pb, indicating their inflow with transport emissions and further migration to the inferior landscape positions.

*Key words:* environmental geochemistry, urban landscapes, contamination, aquatic systems, ponds

**Acknowledgements.** The authors would like to thank D.K. Cherkasov and I.V. Cherkasova for their assistance during field work, and the employees of Fedorovsky All-Russian Research Institute of Mineral Resources for the determination of chemical element concentrations. Analysis of the data on chemical composition and physicochemical properties of bottom sediments was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 19-77-30004), the estimation of the environmental risk of pollution was financially supported by the Russian Geographical Society and the Russian Foundation for Basic Research (project № 03/2018/RGO-RFFI, project № 17-05-41024).

## REFERENCES

- Andersson M., Eggen O.A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway // *Environmental Science: Prospects & Impacts*. 2015. V. 17. Iss. 4. P. 854–867.
- Bol'shoj atlas Moskvy [The Big Atlas of Moscow]. Moscow: Feorija, 2012. 1000 p. (In Russian)
- Charlesworth S.M., Lees J.A. The distribution of heavy metals in deposited urban dusts, Coventry, England // *Environmental Geochemistry and Health*. 1999. V. 21. P. 97–115.
- Demetriades A., Birke M. Urban geochemical mapping manual: sampling, sample preparation, laboratory analysis, quality control check, statistical processing and map plotting. Brussels: EuroGeoSurveys, 2015. 162 p.
- Doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve [Report on the state of the environment in Moscow]. Moscow: DPiOOS, NIA-Priroda, 2016. 269 p. (In Russian)
- Doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve [Report on the state of the environment in Moscow]. Moscow: DPiOOS, NIA-Priroda, 2017. 363 p. (In Russian)
- Friese K., Schmidt G., de Lena J.C., Nalini H.A.Jr., Zachmann D.W. Anthropogenic influence on the degradation of an urban lake – The Pampulha reservoir in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil // *Limnologia*. 2010. V. 40. P. 114–125.
- Frost P.C., Song K., Buttle J.M., Marsalek J., McDonald A., Xenopoulos M.A. Urban biogeochemistry of trace elements: what can the sediments of stormwater ponds tell us? // *Urban Ecosystems*. 2015. V. 18. Iss. 3. P. 763–775.
- Gietl J.K., Lawrence R., Thorpe A.J., Harrison R.M. Identification of break wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road // *Atmospheric Environment*. 2010. V. 44. P. 141–146.
- Glazovskaya M.A. Metodologicheskie osnovy ocenki ehkologo-geohimicheskoy ustojchivosti pochv k tekhnogennym vozdeystviyam [Methodological basis for assessing the ecological and geochemical resistance of soils to anthropogenic impacts]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1997. 102 p. (In Russian)
- GN 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy [Maximum Permissible Concentrations (MPCs) of chemicals in soil: hygienic standards]. Moscow: Federal'nyj centr gigeny i ehpidemiologii Rospotrebnadzora, 2006. 15 p. (In Russian)

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: vlasgeo@yandex.ru.

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: galina.shinkareva@gmail.com.

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Head of the Department, D.Sc. in Geography, Academician of RAS; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru.

- GN 2.1.7.2511-09. Orientirovochno dopustimye koncentracii (ODK) himicheskikh veshchestv v pochve: gigenicheskie normativy [Estimated permissible concentration (ODC) of chemicals in the soil: hygienic standards]. Moscow: Federal'nyj centr gigeny i ehpidemiologii Rospotrebnadzora, 2009. 10 p. (In Russian)
- Goldfarb R.J., Berger B.R., George M.W., Seal II R.R. Tellurium, chap. R // Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802 / Ed. by K.J. Schulz, J.H. DeYoung Jr., R.R. Seal II, D.C. Bradley. U.S. Geological Survey, 2017. P. R1–R27.
- Grigoriev N.A. Raspređenje himicheskikh jelementov v verhnjej chasti kontinental'noj kory [Chemical element distribution in the upper continental crust]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p. (In Russian)
- Hu X., Wang C., Zou L. Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China // Journal of Environmental Management. 2011. V. 92. P. 742–748.
- Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.
- 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. V. 41. P. 4908–4919.
- Ioannides K., Stamoulis K., Papachristodoulou C., Tziadou E., Markantonaki C., Tsodoulos I. Distribution of heavy metals in sediment cores of Lake Pamvotis (Greece): a pollution and potential risk assessment // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. V. 187. Article. № 4209. 16 p.
- Ivanov A.Yu. Ekogeohimiya donnyh otlozhenij malyh vodoemov yuga Tomskoj oblasti [Ecogeochemistry of bottom sediments of small reservoirs in the south of the Tomsk Oblast]. PhD Thesis in Geology and Mineralogy. Tomsk, 2018. 22 p. (In Russian)
- Jumbe A.S., Nandini N. Heavy metals analysis and sediment quality values in urban lakes // American Journal of Environmental Sciences. 2009. V. 5(6). P. 678–687.
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh jelementov kak jetalony sravnenija v jekogeohimii [Clarks of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry] // Vestnik Mosk. Un-ta, Ser. 5. Geografija. 2015. № 2. P. 7–17. (In Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geohimija landshaftov Vostochnoj Moskvy [Landscape Geochemistry of Eastern Moscow]. Moscow: APR, 2016. 276 p. (In Russian)
- Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Factors of the accumulation of heavy metals and metalloids at geochemical barriers in urban soils // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. Issue 5. P. 476–492.
- Laxen D.P.H., Harrison R.M. The highway as a source of water pollution: an appraisal with the heavy metal lead // Water Research. 1977. V. 11. P. 1–11.
- Li L.Y., Hall K., Yuan Y., Mattu G., McCallum D., Chen M. Mobility and bioavailability of trace metals in the water-sediment system of the highly urbanized Brunette watershed // Water, Air and Soil Pollution. 2009. V. 197. P. 249–266.
- 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, 2011. P. 63–79.
- MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2000. V. 39. P. 20–31.
- Mapping the chemical environment of urban areas / Ed. by C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. 640 p.
- Mayer T., Rochfort Q., Borgmann U., Snodgrass W. Geochemistry and toxicity of sediment porewater in a salt-impacted urban stormwater detention pond // Environmental Pollution. 2008. V. 156. P. 143–151.
- Opekunov A.Yu. Ekologicheskaya sedimentologiya [Ecological sedimentology]. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo SPbGU, 2012. 224 p. (In Russian)
- Quiroz W., Cortes M., Astudillo F., Bravo M., Cereceda F., Vidal V., Lobos M.G. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaíso, Chile: analytical and environmental considerations // Microchemical Journal. 2013. V. 110. P. 266–272.
- Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. P. 1–64.
- Tamim U., Khan R., Jolly Y.N., Fatema K., Das S., Naher K., Islam M.A., Islam S.M.A., Hossain S.M. Elemental distribution of metals in urban river sediments near an industrial effluent source // Chemosphere. 2016. V. 155. P. 509–518.
- Volkova V.G., Davydova N.D. Tekhnogenez i transformacija landshaftov [Techogenesis and transformation of landscapes]. Novosibirsk: Nauka, 1987. 188 p. (In Russian)
- Yang J., Meng X.-Z., Duan Y.-P., Liu L.-Z., Chen L., Cheng H. Spatial distributions and sources of heavy metals in sediment from public park in Shanghai, the Yangtze river delta // Applied Geochemistry. 2014. V. 44. P. 54–60.
- Yanin E.P. Tekhnogennye rechnye ily (usloviya formirovaniya, veshchestvennyj sostav, geohimicheskie osobennosti) [Technogenic river silts (formation conditions, material composition, geochemical features)]. Moscow: NP ARSO, 2018. 415 p. (In Russian)
- Zhang G., Bai J., Xiao R., Zhao Q., Jia J., Cui B., Liu X. Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China // Chemosphere. 2017. V. 184. P. 278–288.

Received 04.04.2019

Revised 11.04.2019

Accepted 15.04.2019