ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.54.05:625.71, 504.53.054 (470.311)

Н.Е. Кошелева[1], М.Ф. Дорохова[2], Н.Ю. Кузьминская[3], А.В. Рыжов[4], Н.С. Касимов[5]

ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ В ЗАПАДНОМ АДМИНИСТРАТИВНОМ ОКРУГЕ МОСКВЫ

В Западном административном округе (ЗАО) г. Москвы проведены эколого-геохимические исследования засоления, загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами и состава альго-цианобактериальных сообществ в почвах вблизи автодорог с разной интенсивностью движения и во дворах с автостоянками. Использование противогололедных реагентов на автодорогах приводит к подщелачиванию (pH 6,9–7,4) и засолению почв ЗАО. Наибольшая концентрация водорастворимых солей наблюдается весной на глубине 20–30 см (плотный остаток 0,15%). В составе солей доминируют ионы Ca^{2+}, Na^{+} и HCO_3^-, NO_3^-, Cl^-. Осенью максимум солей смещается в верхний почвенный горизонт с доминированием Ca^{2+}, Mg^{2+} и HCO_3^-.

Выбросы автотранспорта в ЗАО являются источником загрязнения придорожных почв W, Sb, Cu и Zn, средняя концентрация которых – 3,0, 1,0, 29,8 и 120 мг/кг – в 1,7–2,8 раза превышает фоновый уровень. Почвы ЗАО отличаются слабым засолением и неопасным уровнем загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами (Z_c 9,2), без существенных различий в накоплении поллютантов вблизи дорог с разной интенсивностью движения.

Альго-цианобактериальные сообщества в придорожных почвах образованы преимущественно видами, устойчивыми к щелочной реакции среды, засолению, загрязнению, высокой инсоляции и низкой влажности, что указывает на высокий уровень антропогенной нагрузки на почвы.

Ключевые слова: городские почвы, тяжелые металлы и металлоиды, противогололедные реагенты, загрязнение, засоление, микробиота.

Введение. Автотранспорт – самый мощный источник загрязнения городской среды в Москве: уровень автомобилизации столичного населения в 2015 г. составил 320 ед./1000 чел., количество выхлопных газов и твердых частиц, образующихся при износе частей автомобилей, – 93% от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города [Гос. доклад …, 2016]. Выбросы автотранспорта содержат значительное количество тяжелых металлов и металлоидов (ТММ). От эмиссии частиц машинного масла и выбросов продуктов сжигания топлива в атмосферу поступают Sb, Zn, Cu, Pb, Mo, абразия дорожного покрытия и разметки дает Zn, As, W, Cr, V, Co, истирание шин – Sb, Cd, Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Cr, износ тормозных колодок и легированных поверхностей – Sb, Zn, Cu, Pb, Ni, W, Cr [Gietl et al., 2010; Limbeck, Puls, 2011; Власов, 2015]. Значительная часть ТММ аккумулируется в придорожных почвах.

Придорожные почвы подвергаются также воздействию противогололедных реагентов (ПГР), применяемых в холодное время года. Большая часть ПГР на 93–95% состоит из технической поваренной соли [Систер, Корецкий, 2004], которая обычно смешивается с мраморной крошкой. Расход ПГР при разовой обработке дорог составляет 80–200 г/м^2, при 50 обработках в среднем за зиму на 1 м^2 пешеходной зоны Москвы поступает как минимум от 4 до 10 кг солей, а при 75 обработках – от 6 до 15 кг [Хомяков, 2015].

Засоление и загрязнение ТММ городских почв активно изучается во многих городах [Геохимия ..., 1990; Экогеохимия ..., 1995; Регионы и города России, 2014; Касимов с соавт., 2016], однако работ, в которых бы рассматривалось не только химическое загрязнение, но и его экологические последствия для почвенной биоты, еще очень мало [Smagin et al., 2006; Prokof'eva et al., 2016; Terekhova et al., 2014].

При мониторинге городских почв используются фототрофные представители микробиоты (водоросли и цианобактерии), чрезвычайно чувствительные к изменениям среды обитания. Состав жизненных форм микрофототрофов, то есть экологических групп со сходными приспособлениями к жизни в по-

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, вед. науч. с., докт. геогр. н.; *e-mail*: natalk@mail.ru

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с., канд. биол. н.; *e-mail*: dorochova@mail.ru

[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, магистрант второго года обучения; *e-mail*: natasha.kislyackova@yandex.ru

[4] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, магистрант второго года обучения; *e-mail*: 88nujabes88@mail.ru

[5] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, зав. кафедрой, акад. РАН, докт. геогр. н.; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru

чве, характеризует почвенные условия в разных биотопах. С, Н, Х-формы теневыносливы и влаголюбивы, но различаются по приспособлениям к иссушению почвы. С-форма – водоросли и цианобактерии, реагирующие на уменьшение влажности почвы образованием обильной слизи, имеющей высокую водоудерживающую способность. Х-форма – одноклеточные водоросли, избегающие низкой влажности почвы обитанием в ее толще и способные и к фотосинтезу, и к использованию органического углерода. Н-форма – нитчатые водоросли, рассеянные среди почвенных частиц или образующие налеты на поверхности почвы под укрытием высших растений. К М- и Р-формам относятся нитчатые цианобактерии, обладающие устойчивым к низкой влажности почвы протопластом клеток, М-форма имеет также гидрофильные чехлы. В-форма – диатомовые водоросли: холодостойкие, светолюбивые, многие солевыносливые. Ch-форма – одноклеточные и колониальные зеленые и частично охрофитовые водоросли с исключительно высокой устойчивостью к экстремальным условиям среды благодаря особенностям протопласта и способности к гетеротрофному питанию.

Степень трансформации состава альго-цианобактериальных сообществ отражает общий уровень антропогенной нагрузки на городскую среду, которая включает геохимическое (засоление, загрязнение), механическое (уплотнение) и физическое (увеличение или уменьшение инсоляции поверхности, иссушение или переувлажнение) воздействие [Кондакова, Домрачева, 2011; Дорохова с соавт., 2015; Суханова, 2016]. Соотношение в них микрофототрофов с различными требованиями к кислотно-основным условиям, увлажнению и содержанию солей в среде позволяет диагностировать техногенные процессы подкисления-подщелачивания, переувлажнения-иссушения и засоления городских почв [Дорохова с соавт., 2015].

Цель исследования – интегральная оценка эколого-геохимического состояния городских почв, находящихся под воздействием выбросов автотранспорта и ПГР в Западном административном округе (ЗАО) г. Москвы, где автотранспорт является основным источником загрязнения. Решались следующие задачи:

– определить состав легкорастворимых солей и его сезонные изменения в поверхностном слое придорожных почв;

– оценить уровни накопления и особенности распределения ТММ в поверхностном слое почв ЗАО вблизи автодорог с разной интенсивностью движения и во дворах жилых домов с автостоянками;

– выявить экологическое состояние почв по составу альго-цианобактериальных сообществ.

Объект исследования. Бóльшая часть территории ЗАО расположена на Теплостанской возвышенности – части Москворецко-Окской пологоувалистой вторичной ледниковой равнины. Изученная территория входит в Смоленско-Московский округ Среднерусской южнотаежной провинции дерново-мелкоподзолистых почв зоны дерново-подзолистых почв южной тайги. В качестве фоновых выбраны дерново-подзолистые почвы в Одинцовском районе Московской области под елово-березовым разнотравным лесом и злаково-разнотравными лугами, развитые на покровных суглинках [Большой атлас …, 2012].

На территории Москвы преобладают антропогенные почвы, среди которых наиболее распространены урбаноземы и квазиземы [Prokof'eva et al., 2011]. Профиль урбаноземов включает поверхностный синлитогенный горизонт урбик UR, формирующийся одновременно с культурным слоем и залегающий на техногенно-преобразованном горизонте AY природной почвы. Квазиземы образуются при подсыпке торфо-песчаных рекультивационных смесей, из которых состоит поверхностный горизонт RAT, на предварительно подготовленную поверхность техногенного субстрата ТСН. Поэтому содержание органического вещества в квазиземах выше, чем в урбаноземах. Морфологически горизонт RAT отличается от UR темно-серым, близким к черному цветом без бурого оттенка, мелкокомковатой структурой и легким гранулометрическим составом.

На окружающую среду ЗАО оказывают влияние крупные автомагистрали – МКАД, Рублевское, Можайское и Боровское шоссе, Рябиновая, Новопеределкинская улицы, проспект Маршала Жукова и др. [Восток–запад …, 2016]. По плотности выбросов автомобильные дороги округа можно объединить в 4 группы: 500–1000 т/км^2 в год – дворы и придомовые территории; 1000–1500 – МКАД; 1500–2000 – крупные автомагистрали; 2000–4000 – внутрирайонная дорожная сеть [Попов с соавт., 2016].

Особое внимание уделено почвам во дворах с автостоянками. При периметральной застройке группа домов образует замкнутое дворовое пространство. Каждый опробованный двор – это своеобразный «колодец» из двух-четырех 9–16-этажных зданий с узкими проездами. В таких условиях скорость проникающего снаружи ветра может увеличиваться на 80%, а внутри двора его скорость стабилизируется в пределах 0–1 м/с [Гутников с соавт., 2002]. Таким образом, возникает зона застоя приземного воздуха, в которой осаждаются поллютанты.

Методы и материалы. ***Полевые методы.*** Почвенно-геохимическая съемка проведена в апреле–мае 2015 г. в Ново-Переделкино, Крылатском и Можайском районах ЗАО. Отобрано 28 проб в 3–5 повторностях из поверхностных (0–10 см) горизонтов городских почв в 2–3 м от дорог, и 11 фоновых проб в Одинцовском районе. Засоление почв ПГР изучалось в трех почвенных разрезах в Ново-Переделкино, Крылатском и на фоновом участке, в которых в мае и в сентябре 2015 г. из основных горизонтов отобрано по 20 проб.

Опробовался также свежий незагрязненный рекультивационный материал, используемый для замены верхнего горизонта почв и состоящий из смеси песка и торфа. Замена поверхностного гори-

зонта в Москве проводится по закону Правительства Москвы № 31 «О городских почвах». Рекультивационный материал должен удовлетворять требованиям Постановления Правительства Москвы № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве»: содержание $C_{орг}$ – 10–20%, физической глины – 15–25%, pH_{KCl} – 5–7,5, отсутствие превышения ОДК ТММ.

Лабораторные исследования. Образцы почв высушивались при температуре 40°С и после дезагрегирования резиновым пестиком просеивались через сито с диаметром ячеек 1 или 0,25 мм, для анализа на содержание ТММ почва растиралась в агатовой ступке до состояния пудры. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ определялись величины pH и TDS почвенной суспензии потенциометрическим методом, содержание органического углерода $C_{орг}$ – косвенным методом Тюрина с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав – методом лазерной гранулометрии на микроанализаторе «Analyzette 22 comfort» (Германия). Анионы (HCO_3^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}) в водной вытяжке определялись на ионном хроматографе «Стайер» с пределом детектирования по хлорид-иону 0,02 мг/л, катионы Na^+, K^+ – с помощью пламенной фотометрии, Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрическим методом.

Валовое содержание ТММ в почве анализировалось масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным (ICP-AES) методами с индуктивно-связанной плазмой во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского на приборах Elan-6100 и Optima-4300 (Perkin Elmer, США). Для детального анализа выбрано 16 элементов, относящихся к I (Zn, As, Pb, Cd), II (Cr, Co, Cu, Mo, Ni, Sb), III (V, Mn, W) классам опасности (ГОСТ 17.4.1.02–83 2008), а также Fe, Sn и Bi. В вытяжке ацетатно-аммонийного буфера с pH = 4,8 проанализированы подвижные (водорастворимые и обменные) формы Zn, Cu, Cd, Pb, Mo.

Почвенные водоросли и цианобактерии изучались общепринятыми в почвенной альгологии методами: с помощью чашечных культур со стеклами обрастания, а также накопительных водных культур на среде Болда. Они выращивались при дневном освещении и температуре 20 °С в течение 2 месяцев и за это время просматривались 5 раз. Диатомовые водоросли изучались в постоянных препаратах на среде Эльяшева. Для их изготовления использовались стекла обрастания, удаление органического вещества из створок диатомовых проводилось прокаливанием на медной пластинке в течение 1 часа. Видовой состав водорослей и цианобактерий устанавливался с помощью определителей [Ettl, Gärtner, 1995; Krammer, Lange-Bertalot, 1997; Anagnostidis, Komárek, 1988].

Обработка данных. Засоление почв оценивалось по величине плотного остатка *P*, который рассчитывался путем суммирования концентраций ионов *Ci* в пробе с учетом их молярной массы *Mi*: $P=\Sigma Ci\cdot(Mi/\text{заряд})\cdot 10^{-3}\%$. Из-за отсутствия классификации городских почв по степени засоления содержание и профильное распределение солей оценивались по классификации, используемой для природных засоленных почв. В качестве допустимого уровня (порога токсичности) принят предел засоления *P*=0,1%, установленный для нормального произрастания древесных насаждений. В зависимости от величины плотного остатка выделено пять степеней засоления: слабое, среднее, сильное, очень сильное и солончаки с интервалами *P*: 0,1–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,8; 0,8–1,0; >1,0% [Засоленные …, 2006].

Почвенно-геохимический фон сравнивался с кларками ТММ в верхней части континентальной коры *K* [Касимов, Власов, 2015]: Mn, Fe, Cr, Ni, Zn, As, Sb, W, Pb – Rudnick, Gao [2003]; V, Co, Cu, Bi, Cd – Григорьев [2009]; Mo – Hu, Gao [2008]; Sn – Wedepohl [1995], относительно которых рассчитывались кларки концентрации $KK=C_ф/K$ и рассеяния $KP=K/C_ф$. Для городских почв использовались коэффициенты накопления ТММ относительно фоновых почв $K_c=C_{гор}/C_ф$ и показатель суммарного загрязнения $Z_c=\Sigma K_c-(n-1)$, где $C_{гор}$ и $C_ф$ – содержание элемента, мг/кг, в городской и фоновой почвах, соответственно, *n* – число ТММ с $K_c>1,0$ [Геохимия ..., 1990]. Показатель Z_c имеет 5 градаций загрязнения и экологической опасности: низкий, неопасный ($Z_c<16$), средний, умеренно-опасный ($16<Z_c<32$), высокий, опасный ($32<Z_c<64$), очень высокий, очень опасный ($64<Z_c<128$), максимальный, чрезвычайно опасный ($Z_c>128$) [Геохимия …, 1990; Регионы и города …, 2014].

Условия и факторы накопления ТММ в придорожных почвах определялись путем построения регрессионных деревьев в пакете SPLUS [MathSoft, 1999]. Оценивалось влияние основных почвенных свойств: pH, физической глины, содержания гумуса и полуторных оксидов, а также легкорастворимых солей.

Для альго-цианобактериальных сообществ оценивались следующие биологические параметры: состав и жизненные формы водорослей и цианобактерий; соотношение экологических групп диатомовых водорослей, число доминирующих видов, среднее число видов в сообществе. Экологические характеристики диатомовых водорослей–индикаторов щелочно-кислотных условий и содержания водорастворимых солей взяты из [Баринова с соавт., 2006], жизненных форм цианобактерий и водорослей – из [Штина, Голлербах, 1976]. Для оценки степени увлажнения почвы нами предложено использовать отношение видов, требовательных к влажности почвы (C+X+H-жизненные формы), к видам, устойчивым к ее иссушению (P+M-формы).

Среди возможных факторов, определяющих видовое разнообразие диатомовых водорослей и цианобактерий, рассматривались основные физико-химические свойства почв, валовое содержание и содержание подвижных форм ТММ, уровень и характер засоления. Они выявлены путем построения регрессионных деревьев в пакете SPLUS.

Результаты и их обсуждение. ***Физико-химические свойства почв.*** Основные физико-химические свойства городских почв заметно отличаются от

фоновых (табл. 1). В фоновых дерново-подзолистых почвах реакция среды поверхностных горизонтов слабокислая, pH городских почв примерно на 1 ед. больше, что связано с поступлением большого количества карбонатной пыли и ПГР, а также рекультивационного материала с нейтральной реакцией. Среднее содержание $C_{орг}$ в почвах ЗАО (5,4%) вдвое, а в рекультивационном материале – в 2,5 раза (7,8%) больше фонового. Фоновые почвы легкосуглинистые, городские варьируют от песчаных до среднесуглинистых. Внесение рекультивационой смеси с низким содержанием физической глины приводит к опесчаниванию верхних горизонтов почв ЗАО.

Свойства почв вдоль дорог с разной интенсивностью движения различаются незначительно, за исключением МКАД, где почвы по своим характеристикам наиболее близки к фоновым. К МКАД и Боровскому шоссе приурочены почвы с низким pH (6,9 и 6,3 соответственно). Более высокие значения pH характерны для почв внутрирайонной дорожной сети – в среднем 7,3 при максимальном значении 8,2 на ул. Приречной. Вблизи МКАД, где не вносится рекультивационная смесь, почвы содержат больше физической глины (до 35%). Дополнительным источником тонких фракций в этих почвах является пыль, выдуваемая с дорожного полотна [Власов, 2015]. Содержание $C_{орг}$ в придорожных почвах определяется, главным образом, происхождением поверхностного горизонта: в гор. UR содержание углерода меньше, чем в рекультивационном материале и гор. RAT.

Засоление придорожных почв. В зимнее время в почвы поступают легкорастворимые соли из ПГР, что вызывает засоление. Весной в фоновых почвах в водной вытяжке преобладают Ca^{2+}, HCO_3^- и NO_3^-. В поверхностном слое почв ЗАО доминируют катионы Na^+ и Ca^{2+}, анионы HCO_3^-, Cl^- и NO_3^- (табл. 1); многократно увеличивается содержание Na^+ и Cl^-, особенно вблизи крупных автомагистралей и внутрирайонных дорог ($K_{c_{Na}}$ =10,6 и 9,1; $K_{c_{Cl}}$ =3,0 и 2,8 соответственно), во дворах концентрации этих ионов превышают фон в 6,8 и 1,9 раза. Высокое содержание NO_3^- в почвах города обусловлено широким применением рекультивационной смеси и выбросами оксидов азота автотранспортом, а HCO_3^- – выпадениями карбонатной строительной пыли [Касимов с соавт., 2016]. Различия в уровнях засоления почв между разными типами дорог и дворами несущественны.

Сопоставление почвенно-геохимических показателей ЗАО с данными по Восточному округу Москвы за 2010 г. [Nikifirova et al., 2014] показало, что в 2015 г. плотный остаток в поверхностном слое городских почв уменьшился в среднем в 3,4 раза из-за уменьшения солевой нагрузки [Хомяков, 2015] вследствие менее продолжительной и более теплой

Таблица 1

Физико-химические свойства и состав водной вытяжки (ммоль/100 г почвы) в поверхностном (0–10 см) слое фоновых и придорожных почв ЗАО г. Москвы (весна 2015 г.)

Показатель	$pH_{водн}$	$C_{орг}$	Физическая глина	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Плотный остаток, %
		%										
Одинцовский район, фон (*n** = 11)												
Среднее	6,3	2,6	23,0	0,07	0,08	0,41	0,13	0,28	0,10	0,28	0,05	0,05
Cv, %	4,4	29,2	25,7	112,5	74,9	20,1	55,1	26,8	66,7	26,8	54,4	27,3
МКАД (*n* = 4)												
Среднее	6,9	3,8	22,4	0,59	0,08	0,61	0,38	0,69	0,25	0,69	0,03	0,13
Cv, %	7,1	29,5	55,0	28,6	34,8	41,5	25,8	42,6	47,3	41,8	58,2	37,5
K_c				8,4	1,0	1,5	2,9	2,5	2,5	2,5	0,6	2,6
Крупные автомагистрали (*n* = 7)												
Среднее	7,2	5,7	9,7	0,84	0,10	0,71	0,32	0,82	0,33	0,74	0,06	0,15
Cv, %	7,3	46,4	47,3	22,3	58,0	52,0	77,8	38,2	37,7	22,7	96,0	25,5
K_c				12	1,2	1,7	2,5	2,9	3,3	2,6	1,2	3,0
Внутрирайонная дорожная сеть (*n* = 10)												
Среднее	7,4	5,6	9,2	0,72	0,10	0,63	0,28	0,72	0,22	0,73	0,04	0,14
Cv, %	7,6	61,7	66,5	24,9	29,7	35,4	54,5	38,9	58,9	21,3	41,2	24,5
K_c				10,3	1,2	1,5	2,2	2,6	2,2	2,6	0,8	2,8
Дворы (*n* = 7)												
Среднее	7,1	4,8	11,1	0,54	0,10	0,72	0,38	0,85	0,14	0,68	0,05	0,13
Cv, %	4,9	31,1	62,5	34,3	27,0	47,9	49,5	49,5	128,0	27,3	40,5	27,5
K_c				7,7	1,2	1,8	2,9	3,0	1,4	2,4	1,0	2,6
В целом по ЗАО (*n* = 28)												
Среднее	7,2	5,2	11,7	0,67	0,1	0,67	0,34	0,77	0,23	0,71	0,05	0,14
Cv, %	6,9	49,6	69,1	30,6	37,0	45,3	54,7	40,8	68,9	25,0	70,8	26,6
K_c				9,6	1,2	1,6	2,6	2,8	2,3	2,5	1,0	2,8

* *n* – число проб.

Таблица 2

Содержание ТММ в фоновых дерново-подзолистых почвах в Одинцовском районе Московской области и в почвах ЗАО

Элемент*	Кларк литосферы, мг/кг	Фоновые почвы (*n***=11)			Городские почвы (*n*=28)			
		$C_ф$, мг/кг	*КК*	*КР*	*C*, мг/кг	$К_с$	C_{min}, мг/кг	C_{max}, мг/кг
W	2,03	0,94	–	2,2	2,98	3,2	1,35	11,2
Sb	0,81	0,38	–	2,1	0,97	2,6	0,48	1,96
Cu	27	16	–	1,7	29,8	1,9	15,9	48,7
Zn	75	71	–	1,1	119,5	1,7	52,9	312,9
As	5,6	2,84	–	2,0	4,34	1,5	2,09	7,14
Mo	1,1	0,48	–	2,3	0,72	1,5	0,4	1,24
Cd	0,64	0,25	–	2,6	0,365	1,5	0,14	0,93
Sn	2,5	1,6	–	1,6	2,34	1,5	1,1	4,13
Bi	0,23	0,16	–	1,4	0,194	1,2	0,05	0,41
Pb	17	20	1,2	–	23,1	1,2	16,3	40,1
Ni	50	21	–	2,4	20,65	1,0	10,8	34,2
Fe	40 600	21 880	–	1,9	19610	0,9	11 410	28 000
Cr	92	49	–	1,9	40,4	0,8	18,6	79,7
Co	15	8,2	–	1,8	6,71	0,8	3,32	23,2
V	106	79	–	1,3	46,8	0,6	25,3	80,6
Mn	770	1161	1,5	–	565	0,4	236	707

*Элементы ранжированы по величине $К_с$ в городских почвах.
**Число проб.

зимы 2014–2015 гг. по сравнению с зимой 2009–2010 гг. Изменения произошли и в типе засоления: бóльшая часть почв ВАО в 2010 г. имела хлоридно-натриевый тип засоления, в 2015 г. в почвах ЗАО преобладал нитратно-гидрокарбонатно-натриевый тип. В обоих случаях почвы во дворах жилых домов отличались по составу водной вытяжки от придорожных. Во дворах почвы имели хлоридно-кальциевое засоление в ВАО и нитратно-гидрокарбонатно-кальциевое в ЗАО, что связано с применением реагента на основе $CaCl_2$.

Сезонные изменения состава и соотношения ионов в водной вытяжке, значений pH и плотного остатка изучены в почвенном разрезе, заложенном в 2 м от Боровского шоссе, на пересечении с Новопеределкинской улицей. Весной в составе водной вытяжки преобладали Ca^{2+}, Mg^{2+} и Na^+, HCO_3^-, Cl^- и NO_3^-, pH оставался нейтральным по всему профилю почвы, а плотный остаток варьировал от 0,16 до 0,055% (рис. 1). Максимумы солей в почвенном профиле связаны с использованием больших доз ПГР после снегопадов и таянием засоленного снега. Максимум солей (плотный остаток 0,15%) на глубине 20–30 см в начале мая можно объяснить миграцией ПГР во время зимней оттепели после снегопада.

Весной бóльшая часть почв (88,5% проб) засолена слабо – плотный остаток 0,13–0,14%. В почвах вдоль автомагистралей плотный остаток составляет в среднем 0,19%, что превышает порог токсичности для древесных насаждений почти в 2 раза. Отдельные поверхностные пробы имеют среднюю степень засоления с плотным остатком 0,20–0,23%.

Осенью максимум солей переместился в верхний горизонт, в составе солей начали преобладать Ca^{2+}, Mg^{2+} и HCO_3^-, реакция среды стала слабощелочной, pH 7,7–8,0. За летний период из-за вымывания и поглощения нитратов биотой уменьшились концентрации Cl^-, NO_3^- и Na^+, а концентрации Ca^{2+}, Mg^{2+} и HCO_3^- увеличились вследствие накопления в верхнем слое почвы пыли и измельченной мраморной крошки.

Загрязнение придорожных почв ТММ. Фоновые дерново-подзолистые почвы на покровных суглинках обеднены большинством ТММ (табл. 2), за исключением Mn и Pb, *КК* которых равны 1,5 и 1,2 соответственно.

Приоритетные загрязнители придорожных почв Западного округа – W, Sb, Cu, Zn с $К_c$ 1,7–3,2. При сильном варьировании содержаний W и Sb почвы внутрирайонной дорожной сети обогащены ими сильнее ($К_c$ 4,2 и 3,0 соответственно), чем почвы вдоль МКАД ($К_c$ 3,0 и 2,5) и крупных автомагистралей (2,4 и 2,2). As, Mo, Cd, Sn накапливаются не столь активно ($К_c$ 1,5), различия между дорогами с разной интенсивностью движения и дворами незначимы. Содержания Pb, Bi, Ni, Co, Fe и Cr близки к фоновым, V и Mn рассеиваются.

Во всех почвах превышен ОДК As (I класс опасности), близко или выше норматива содержание Zn (I класс). Концентрации Cd (I класс), Cu и Ni (II класс) редко превышают ОДК, а для Pb (I класс)

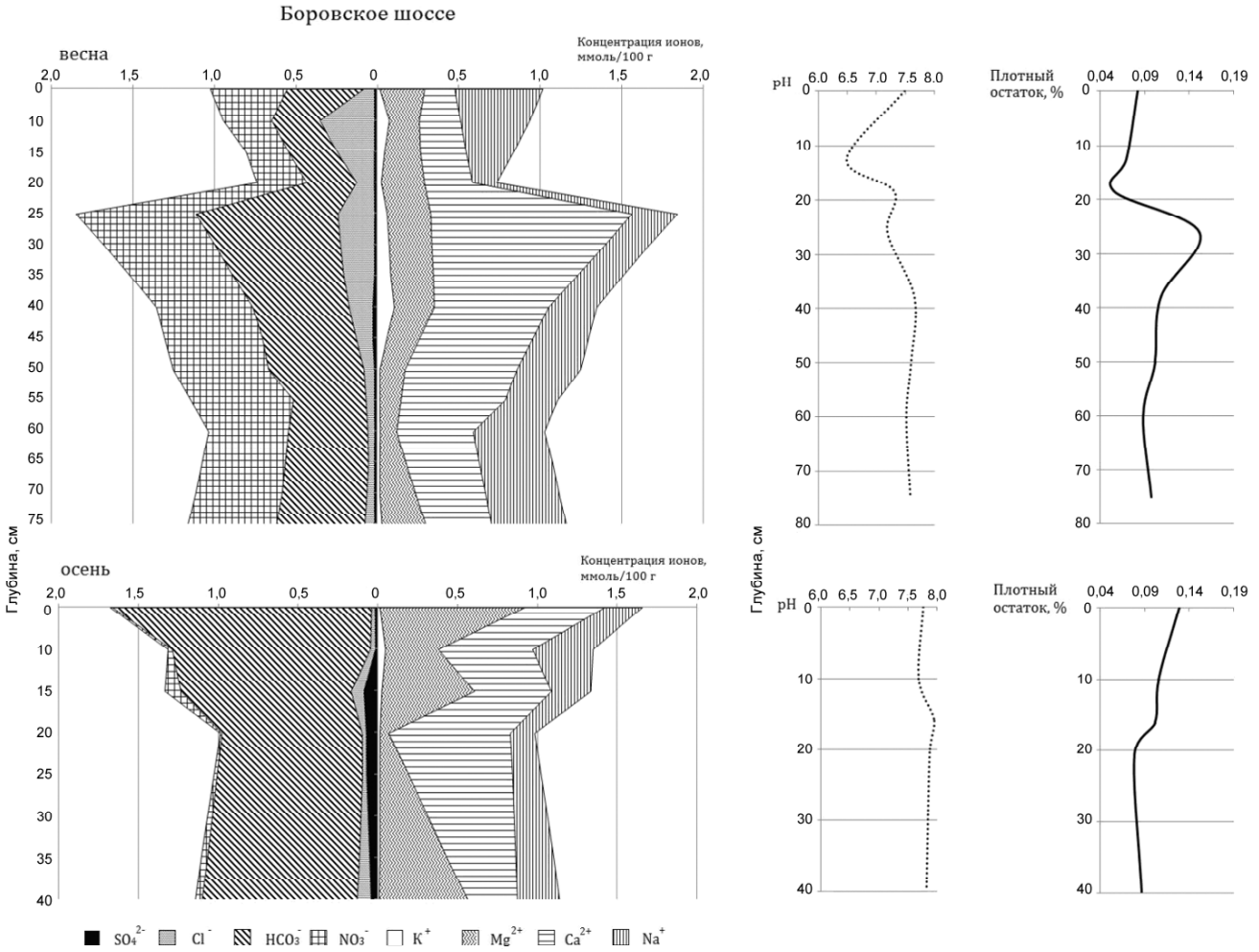

Рис. 1. Сезонная (весна–осень) динамика засоления почвенного профиля вблизи Боровского шоссе (25 апреля–26 сентября 2015 г.)

Fig. 1. Seasonal (spring–autumn) dynamics of salinization of the soil profile near the Borovskoye motorway (25 April–26 September 2015)

установлены единичные превышения норматива (ГН 2.1.7.2041-06).

Различия суммарного загрязнения ТММ почв вдоль внутрирайонных дорог (Z_c=10,3), МКАД (Z_c=9), крупных автомагистралей (Z_c=8) и во дворах (Z_c=8,8) незначительны (рис. 2). Максимальное загрязнение выявлено на ул. Приречная, д. 5 (Z_c=20,8). Уровень загрязнения ТММ городских почв ЗАО в целом соответствует неопасной экологической ситуации со средней величиной Z_c=9,2, что значительно меньше, чем в транспортной зоне и дворах Восточного округа (Z_c=50,3), где все изученные элементы имеют более высокие значения K_c, а набор приоритетных поллютантов, кроме характерных для ЗАО ТММ, включает Cd, Pb, Bi, Fe, Cr [Власов, 2015]. Это объясняется более интенсивным промышленным развитием Восточного округа и преобладанием в Москве западных ветров [Локощенко, 2015], а также регулярной заменой верхнего горизонта придорожных почв в ЗАО.

В привозном рекультивационном материале, образующем гор. RAT городских почв, содержание большинства ТММ в 1,5–4,3 раза меньше, чем в фоновых почвах, Mo, Ni, W, Fe – близки к фону, а As больше его в 2,6 раза. Высокое содержание гумуса ($C_{орг}$ 7,8%) создает лучшие условия для закрепления ТММ [Kosheleva et al., 2015]. Гор. RAT интенсивнее накапливает почти все ТММ, кроме Zn и Pb вследствие сокращения их поставки в последние годы [Власов, 2015] и малого содержания физической глины. Загрязнение придорожных почв Zn и Pb уменьшается благодаря регулярно проводимой в ЗАО рекультивации.

Накопление ТММ существенно зависит от свойств почв. Содержания As, Mo, Sb, Zn, Cu положительно коррелируют с засолением. Анион NO_3^- усиливает вынос из верхнего горизонта почв Bi, Cd и Cu вследствие высокой подвижности нитратов этих металлов. С ростом pH в почвах увеличивается накопление W, Cd, Co, Mo, что обусловлено их поступлением с подщелачивающими выпадениями тонких фракций дорожной пыли [Восток–запад …, 2016]. Для As характерна отрицательная связь с pH, что объясняется анионогенными свойствами элемента.

Трансформация альго-цианобактериальных сообществ в городских почвах. В фоновых лесных дерново-подзолистых почвах в составе альго-

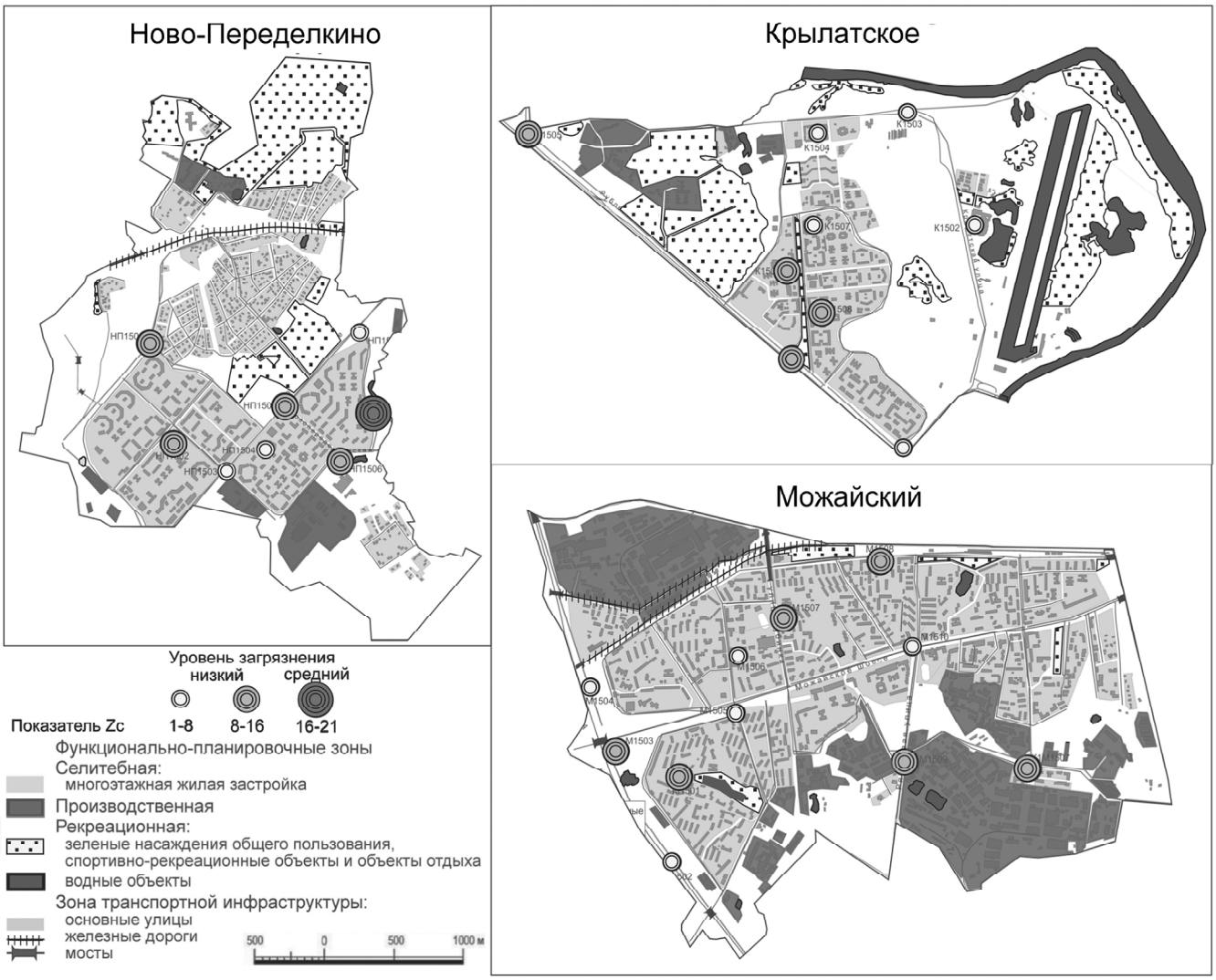

Рис. 2. Суммарное загрязнение городских почв ЗАО по показателю Z_c

Fig. 2. Total pollution of urban soils in the Western district of Moscow according to Z_c value

цианобактериальных сообществ резко преобладают зеленые и стрептофитовые водоросли (табл. 3). Рост диатомовых и цианобактерий подавляется обилием органического вещества и гетеротрофных микроорганизмов в горизонте лесной подстилки, это определяет невысокое среднее число видов в сообществе. Среди водорослей преобладают теневыносливые виды, требовательные к влаге (C, X и H-жизненные формы), а также виды, хорошо развивающиеся в лесной подстилке – представители Ch-формы. Отношение $\frac{C + X + H}{P + M} = 22{,}3$ свидетельствует о высокой влажности верхних горизонтов лесных почв.

В фоновых дерново-подзолистых почвах под сеяными лугами увеличивается роль цианобактерий и диатомовых водорослей (табл. 3), что характерно для альго-цианобактериальных сообществ тайги под травянистой растительностью. В составе цианобактерий наиболее разнообразны виды, предпочитающие незадернованные участки и обладающие высокой устойчивостью к высыханию почвы (представители P-жизненной формы). Интенсивно развиваются виды цианобактерий, устойчивые к низкой влажности почвы и высоким температурам (M-форма). Среди диатомовых водорослей преобладают виды-индикаторы нейтральной реакции среды (60% от числа видов диатомовых), галофильные виды отсутствуют. Отношение влаголюбивых видов к видам-ксерофитам свидетельствует о более низкой влажности верхнего горизонта почвы под луговой растительностью по сравнению с почвой под лесом, заметно возрастает среднее число видов в сообществе. Характерной чертой альго-цианобактериальных сообществ в лесных и луговых фоновых почвах является многокомпонентный состав доминирующих видов.

В городских почвах под посевами газонных трав вдоль дорог и во дворах альго-цианобактериальные сообщества формируются по типу «луговых» и отличаются бóльшим разнообразием цианобактерий и диатомовых водорослей, что характерно также для почв населенных пунктов в лесной, лесостепной и степной зонах Южного Урала [Суханова, 2016].

Таблица 3

Состав альго-цианобактериальных сообществ в фоновых дерново-подзолистых почвах и почвах ЗАО г. Москвы

Показатель	Фоновые участки		МКАД, (n = 2)	Крупные автомагистрали (n = 4)	Внутрирайонная дорожная сеть (n = 4)	Дворы (n = 4)
	лес (n = 4)	луг (n = 4)				
Цианобактерии	3*/8,6	18/32,7	6/15,8	14/28,0	16/23,3	9/17,0
Водоросли: зеленые + стрептофитовые	21/60,0	22/40,0	17/44,7	22/44,0	31/44,9	21/39,6
охрофитовые	10/28,5	6/10,9	7/18,4	6/12,0	11/15,9	8/15,1
диатомовые	1/2,9	9/16,4	8/21,1	8/16,0	11/15,9	15/28,3
Всего видов	35/100,0	55/100,0	38/100,0	50/100,0	69/100,0	53/100,0
Среднее число видов в сообществе	16	24	22	26	29	24
Число доминирующих видов	11	11	4	7	9	2
Отношение $\frac{C+X+H}{P+M}$ жизненных форм	22,3	1,6	2,3	2,0	2,0	2,5

* Над чертой – число видов, под чертой – % от общего числа видов.

Под влиянием изменения физико-химических свойств, неустойчивой влажности и сильной инсоляции городских почв чувствительные виды водорослей и цианобактерий замещаются устойчивыми Ch, M, P и B-жизненными формами. Среди диатомовых водорослей возрастает доля индифферентов, предпочитающих нейтральную реакцию среды (70–80%), появляются галофильные виды, что указывает на подщелачивание и засоление почв ПГР. Видами-индикаторами антропогенного засоления являются *Luticola nivalis* (Ehr.) Mann, *Luticola ventricosa* (Kütz.) Mann, *Navicula minima* Grunow. Число доминантов сокращается.

Преимущественное развитие устойчивых видов в альго-цианобактериальных сообществах свидетельствует о принадлежности всех изученных почв вблизи автодорог и во дворах к зоне резистентности с высоким уровнем техногенной нагрузки, при котором развиваются адаптированные к загрязнению виды [Звягинцев с соавт., 1986]. Разнообразие и среднее число видов в сообществе во всех придорожных почвах остаются на высоком уровне, что связано с рекультивацией почв в ЗАО.

При малой пространственной изменчивости содержаний ТММ, солей и щелочно-кислотных условий в почвах ЗАО показатели альго-цианобактериальных сообществ указывают на относительно бóльшую трансформированность почв вблизи МКАД и во дворах с автостоянками, где сильнее изменена структура сообщества микрофототрофов: существенно возрастает доля диатомовых водорослей и уменьшается – цианобактерий. Разнообразие диатомовых водорослей (табл. 3) увеличивается в основном за счет галофильных видов: в почвах вблизи МКАД они составляют 33,3%, во дворах – 25,0%, а в почвах вдоль крупных автомагистралей и внутрирайонных дорог, – 16,7%. Это свидетельствует о длительном слабом техногенном засолении почв вблизи МКАД и во дворах, где редко осуществляют замену верхнего горизонта почвы. Развитию диатомовых водорослей способствует и относительно бóльшая влажность этих почв, что видно из отношения числа влаголюбивых видов к ксерофильным. В альго-цианобактериальных сообществах этих почв отмечено также малое число доминирующих видов и наименьшее среднее число видов на пробу, что указывает на более высокую антропогенную нагрузку [Звягинцев с соавт., 1986].

Результаты регрессионного анализа обнаружили сильное влияние типа фитоценоза на разнообразие диатомовых водорослей. Под лесными ценозами со сплошным горизонтом подстилки и под посадками деревьев вблизи МКАД число видов диатомовых в альго-цианобактериальных сообществах минимально (1–2). Под луговыми группировками в фоновых дерново-подзолистых почвах, в почвах вдоль крупных автомагистралей и внутрирайонных дорог число видов диатомовых в одной пробе возрастает в среднем до 5–6 (в городе за счет галофильных видов). При относительно высоком содержании солей (плотный остаток P>0,16%) число видов диатомовых в одной пробе максимально (6–9).

Число видов цианобактерий сильно различается в почвах лесных и луговых фитоценозов. В лесных сообществах фонового участка и вблизи МКАД число видов на одну пробу минимально (1–3). В луговых сообществах фоновой территории, во дворах и вблизи городских автомагистралей оно возрастает в среднем до 6–7, при этом обнаружена его зависимость от содержания Mo, который необходим цианобактериям, так как он входит в состав фермента, фиксирующего атмосферный азот [Rubio, Ludden, 2008]. В отличие от большинства ТММ, Mo как анионогенный элемент подвижен в нейтральной и щелочной среде и в этих условиях доступен для мик-

роорганизмов. При превышении содержания подвижных (в вытяжке ААБ) форм Mo 0,002 мг/кг и повышенном валовом содержании (>0,5 мг/кг) он становится токсичным, и число видов цианобактерий на пробу сокращается в среднем до четырех. Максимальное число видов (в среднем 9) наблюдается при низких содержаниях подвижных форм и валового Mo. По сравнению с почвами транспортной и селитебной зон СЗАО [Дорохова с соавт., 2015], придорожные почвы ЗАО в целом испытывают меньшее антропогенное влияние из-за отсутствия крупных промышленных предприятий.

Выводы:

– применение на автодорогах ЗАО противогололедных реагентов приводит к слабому засолению и подщелачиванию придорожных почв. Весной максимум солей наблюдается на глубине 20–30 см, преобладают ионы Na^+, Ca^{2+}, HCO_3^-, Cl^- и NO_3^-, поступающие с талыми водами. Осенью он смещается в верхний горизонт, доминируют Ca^{2+}, Mg^{2+} и HCO_3^- из-за активного поступления в течение лета карбонатной пыли, вымывания Na^+ и Cl^- и биопоглощения NO_3^- из верхнего горизонта почвы;

– приоритетные загрязнители придорожных почв ЗАО – W, Sb, Cu, Zn. Во всех почвах, включая фоновые, превышен ОДК для As; близко или выше норматива содержание Zn. Концентрации Cd, Cu и Ni редко превосходят ОДК, а для Pb установлены единичные превышения норматива. По сравнению с Восточным округом спектр приоритетных загрязнителей уже, уровни их накопления в придорожных почвах заметно ниже (K_c 1,7–3,2 в ЗАО против 4–19 в ВАО). Обнаружена положительная связь содержания As, Mo, Sb, Zn, Cu с засолением и отрицательная – Bi, Cd и Cu с концентрацией NO_3^-. Накопление W, Cd, Co, Mo усиливается при увеличении pH в почвах, для As характерна отрицательная связь с pH;

– вдоль автодорог и во дворах с автостоянками в почвах развиваются преимущественно резистентные виды водорослей и цианобактерий, являющиеся индикатором высокого уровня общей антропогенной нагрузки на почвы. Состав сообществ микрофототрофов индицирует подщелачивание, сезонное засоление ПГР и загрязнение придорожных почв ТММ. Вблизи МКАД и во дворах, где не производится ежегодная замена верхнего слоя почвы рекультивационной смесью, альго-цианобактериальные сообщества наиболее трансформированы: в них возрастает доля диатомовых (в том числе галофильных) водорослей, резко уменьшается число доминирующих и среднее число видов в сообществе;

– рекультивация придорожных почв приводит к изменению их физико-химических свойств и формированию гор. RAT, обедненного большинством ТММ. Повышенная аккумулирующая способность рекультивационного материала с высоким содержанием органического вещества обусловливает прочное закрепление и ускоренное накопление в нем ТММ. Необходима оптимизация параметров рекультивационных смесей, обеспечивающих устойчивое функционирование городских почв и разнообразие почвенной микробиоты.

Благодарности. Полевые и химико-аналитические работы выполнены при финансовой поддержке Русского географического общества (договор № 03/2017РГО-РФФИ), обработка и интерпретация данных – при участии Российского научного фонда (проект № 14-27-00083-П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Большой атлас Москвы. М.: Феория, 2012. 1000 с.

Власов Д.В. Геохимия тяжелых металлов и металлоидов в ландшафтах Восточного округа Москвы. Дис. … канд. геогр. н. М.: Географический ф-т МГУ, 2015. 160 с.

Восток–запад Москвы: пространственный анализ социально-экологических проблем / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Географический ф-т МГУ, 2016. 70 с.

Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

Гутников В.А., Кирякин В.Ю., Лифанов И.К., Сетуха А.Н. Математическое моделирование аэродинамики городской застройки. М.: ПАСЬВА, 2002. 244 с.

Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 году». М.: Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 2016. 269 с.

Дорохова М.Ф., Кошелева Н.Е., Терская Е.В. Экологическое состояние городских почв в условиях антропогенного засоления и загрязнения (на примере Северо-Западного округа Москвы) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 11–20.

Засоленные почвы России / Отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 854 с.

Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В. Изменения в комплексе почвенных микроорганизмов при антропогенных воздействиях // Успехи почвоведения: Советские почвоведы к XIII Международному конгрессу почвоведов (Гамбург, 1986). М., 1986. С. 64–68.

Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Малхазова С.М. и др. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. № 2. С. 7–17.

Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.

Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Специфика альго-микологических комплексов городских почв // Биологический мониторинг природно-техногенных систем / Под ред.: Т.Я. Ашихминой, Н.М. Алалыкиной. Сыктывкар: Коми научный центр УрО-РАН, 2011. С. 267–287.

Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Влияние геохимических барьеров на накопление тяжелых металлов в городских почвах // Доклады Академии наук. 2014. Т. 458. № 2. С. 220–224.

Локощенко М.А. Направление ветра в Москве // Метеорология и гидрология. 2015. Т. 40. № 10. С. 5–15.

Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика антропогенного засоления почв Москвы (на примере Восточного округа) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 351–363.

Попов А.А., Саульская Т.Д., Шатило Д.П. Промышленные зоны как фактор экологической ситуации и дифференциации цен на жилье в Москве // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 2. С. 32–38.

Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.

Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. М.: Центр МГУИЭ, 2004. 159 с.

Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л., Мягкова А.Д., Курбатова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603–615.

Суханова Н.В. Цианобактериально-водорослевые ценозы почв урбанизированных территорий Южно-Уральского региона. Дис. … докт. биол. н. Уфа, 2016. 326 с.

Терехова В.А., Пукальчик М.А., Яковлев А.С. «Триадный» подход к экологической оценке городских почв // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1145–1152.

Хомяков Д.М. Москва солям не верит. О противогололедных реагентах, используемых в Москве за зимний период, и их объеме // Дорожная держава. 2015. Вып. 58. С. 91–95.

Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.

Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales // Algological Studies. 1988. V. 50–53. P. 327–472.

Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Stuttgart, Jena, New York: G. Fischer, 1995. 722 p.

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.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chemical Geology. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Teil1: Naviculaceae / Eds.: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning and D. Mollenhauer. Süsswasserflora von Mitteleuropa (Begründet von A. Pascher). Nachdr. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. 1997. № 2. 876 p.

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.

Prokof'eva T.V., Kiryushin A.V., Shishkov V.A., Ivannikov F.A. The importance of dust material in urban soil formation: the experience on study of two young Technosols on dust depositions // J. of Soils & Sediments. 2017. № 2. P. 515–524. DOI 10.1007/s11368-016-1546-7.

Rubio L.M., Ludden P.W. Biosynthesis of the Iron-Molybdenum Cofactor of Nitrogenase // Annu. Rev. Microbiol. 2008. V. 62. P. 93–111.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. Treatise on geochemistry. 2003. V. 3. 659 p.

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

Поступила в редакцию 21.09.2017
Принята к публикации 01.11.2017

N.E. Kosheleva[1], M.F. Dorokhova[2], N.Yu. Kuzminskaya[3], A.V. Ryzhov[4], N.S. Kasimov[5]

IMPACT OF MOTOR VEHICLES ON THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS IN THE WESTERN DISTRICT OF MOSCOW

Ecological and geochemical studies of salinization, contamination with heavy metals and metalloids (HMMs) and the composition of soil algae and cyanobacteria in soils near roadways with different traffic intensities and in courtyards with parking lots were carried out in the Western Administrative District of Moscow. Application of deicing reagents on roads leads to the alkalization (pH 6,9–7,4) and salinization of soils in WAD. The highest concentration of water soluble salts was observed in spring at a depth of 20–30 cm (the sum of ions equals to 0,15%). The ions of Ca^{2+}, Na^{+} and HCO_3^-, NO_3^- and Cl^- dominate the salt composition. In autumn, the maximum of salts shifts to the upper soil layer with the dominance of Ca^{2+}, Mg^{2+} and HCO_3^-.

Motor vehicle emissions in WAD are the main source of contamination of roadside soils with W, Sb, Cu and Zn, average concentrations of which (3,0, 1,0, 29,8 and 120 mg/kg) are 1,7–2,8 times higher than the background level. The soils of WAD are characterized by low salinity and non-hazardous level of contamination with HMMs (Zc 9,2), without significant differences in the accumulation of readily soluble salts and HMMs near roads with different traffic intensities.

[1] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; *e-mail*: natalk@mail.ru

[2] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Scientific Researcher, PhD. in Biology; *e-mail*: dorochova@mail.ru

[3] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, second year master student; *e-mail*: natasha.kislyackova@yandex.ru

[4] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, second year master student; *e-mail*: 88nujabes88@mail.ru

[5] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Head of the department, Academician of the RAS, D.Sc. in Geography; *e-mail*: secretary@geogr.msu.ru

Algal-cyanobacterial communities in roadside soils are dominated by species resistant to the alkaline reaction of the environment, salinity, pollution, high insolation and low humidity, thus indicating rather high level of anthropogenic load on soils.

Key words: urban soils, heavy metals and metalloids, deicing reagents, pollution, salinization, microbiota.

Acknowledgements. Field and chemical-analytical work was financially supported by the Russian Geographical Society (project № 03/2017 RGS-RFBR), processing and interpretation of data were partially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-27-00083-П).

REFERENCES

Anagnostidis K., Komárek J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales // Algological Studies. 1988. V. 50–53. P. 327–472.

Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. Bioraznoobrazie vodoroslej-indikatorov okruzhayushhej sredy [Biodiversity of algae-indicators of the environment]. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006. 498 s. (in Russian).

Bol'shoj atlas Moskvy [Grand atlas of Moscow]. M.: Feorija, 2012. 1000 p. (in Russian).

Doklad «O sostoyanii okruzhayushhej sredy v gorode Moskve v 2015 godu» [The report «On the state of the environment in Moscow in 2015»]. Departament prirodopol'zovaniya i ohrany okruzhayushhej sredy goroda Moskvy. M., 2016. 269 s. (in Russian).

Dorohova M.F., Kosheleva N.E., Terskaya E.V. Ekologicheskoe sostoyanie gorodskih pochv v usloviyah antropogennogo zasoleniya i zagryazneniya (na primere Severo-Zapadnogo okruga Moskvy) [The ecological state of urban soils under anthropogenic salinization and pollution (case study of the North-Western district of Moscow)] // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2015. № 1. S. 11–20 (in Russian).

Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Stuttgart, Jena, New York: G. Fischer, 1995. 722 p.

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.

Grigor'ev N.A. Raspredelenie himicheskih elementov v verhnej chasti kontinental'noj kory [Distribution of chemical elements in the upper continental crust]. UrO RAN., Ekaterinburg, 2009. 382 s. (in Russian).

Gutnikov V.A., Kiryakin V.Yu., Lifanov I.K., Setukha A.N. Matematicheskoe modelirovanie aerodinamiki gorodskoj zastrojki [Mathematic modeling of the aerodynamics of urban fabric]. M.: PAS'VA, 2002. 244 s. (in Russian).

Homyakov D.M. Moskva solyam ne verit. O protivogololednyh reagentah, ispol'zuemyh v Moskve za zimnij period, i ih ob'eme [Moscow doesn't believe salts. About deicing reagents applied in Moscow during winter and their amount] // Dorozhnaya derzhava. 2015. Vyp. 58. S. 91–95 (in Russian).

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chemical Geology. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.

Ekogeohimiya gorodskih landshaftov [Ecogeochemistry of urban landscapes] / Pod red. N.S. Kasimova. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1995. 336 s. (in Russian).

Kasimov N.S., Bityukova V.R., Malhazova S.M. i dr. Regiony i goroda Rossii: integral'naya ocenka ekologicheskogo sostoyaniya [The regions and cities of Russia: integrated assessment of the ecological state]. M.: IP Filimonov M.V., 2014. 560 s. (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskih elementov kak etalony sravneniya v ekogeohimii [Clarks of chemical elements as standards for comparison in ecogeochemistry] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5, geogr. 2015. № 2. S. 7–17 (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geohimiya landshaftov Vostochnoj Moskvy [Geochemistry of landscapes of the Eastern Moscow]. M.: APR, 2016. 276 s. (in Russian).

Kondakova L.V., Domracheva L.I. Specifika al'go-mikologicheskih kompleksov gorodskih pochv [Specific features of algae-mycological complexes of urban soils] // Biologicheskij monitoring prirodno-tehnogennyh system / Pod red. T.Ja. Ashihminoj, N.M. Alalykinoj. Syktyvkar, 2011. S. 267–287 (in Russian).

Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Impact of geochemical barriers on the accumulation of heavy metals in urban soils // Doklady Earth Sciences (Russian Federation). 2014. V. 458. № 1. P. 1149–1153.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae, Teil1: Naviculaceae / Eds.: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heyning and D. Mollenhauer. Süsswasserflora von Mitteleuropa (Begründet von A. Pascher). Nachdr. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. 1997. № 2. 876 p.

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.

Lokoshchenko M.A. Wind direction in Moscow // Russian Meteorology and Hydrology (United States). 2015. V. 40. № 10. P. 639–646.

Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Long-term dynamics of the anthropogenic salinization of soils in Moscow (by the example of the Eastern district) // Eurasian Soil Science (Russian Federation). 2014. V. 47. № 3. P. 203–215.

Popov A.A., Saul'skaya T.D., Shatilo D.P. Promyshlennye zony kak faktor ekologicheskoj situacii i differenciacii cen na zhil'e v Moskve [Industrial zones as a factor of environmental situation and differentiation of housing prices in Moscow] // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2016. V. 20. № 2. S. 32–38 (in Russian).

Prokof'eva T.V., Kiryushin A.V., Shishkov V.A., Ivannikov F.A. The importance of dust material in urban soil formation: the experience on study of two young Technosols on dust depositions // J. Soils Sediments. 2017. № 2. P. 515–524. DOI 10.1007/s11368-016-1546-7

Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils // Eurasian Soil Science (Russian Federation). 2011. V. 44. № 5. P. 561–571.

Rubio L.M., Ludden P.W. Biosynthesis of the Iron-Molybdenum Cofactor of Nitrogenase // Annu. Rev. Microbiol. 2008. V. 62. P. 93–111.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. 2003. V. 3. 659 p.

Saet Ju.E., Revich B.A., Janin E.P. I dr. Geohimiya okruzhayushhej sredy [Geochemistry of the environment]. M.: Nedra, 1990. 335 s. (in Russian).

Shtina Je.A., Gollerbah M.M. Ekologiya pochvennyh vodoroslej [Ecology of soil algae]. M.: Nauka, 1976. 143 s. (in Russian).

Sister V.G., Koreckij V.E. Inzhenerno-ekologicheskaya zashhita vodnoj sistemy severnogo megapolisa v zimnij period [Engineering-ecological protection of the water system of Northern megapolis in winter]. CentrMGUIJe. M., 2004. 159 s. (in Russian).

Smagin A.V., Azovtseva N.A., Smagina M.V., Stepanov A.L. Criteria and methods to assess the ecological status of soils in relation to the landscaping of urban territories // Eurasian Soil Science (Russian Federation). 2006. V. 39. № 5. P. 539–551.

Suhanova N.V. Cianobakterial'no-vodoroslevye cenozy pochv urbanizirovannyh territorij Yuzhno-Ural'skogo regiona [Cyanobacterial-algae cenoses in soils of urban territories of the Southern Urals region]. Dis. … d. b. n. Ufa, 2016. 326 s. (in Russian).

Terekhova V.A., Pukalchik M.A., Yakovlev A.S. The triad approach to ecological assessment of urban soils // Eurasian Soil Science (Russian Federation). 2014. V. 47. № 9. P. 952–958.

Vlasov D.V. Geohimiya tyazhelyh metallov i metalloidov v landshaftah Vostochnogo okruga Moskvy [Geochemistry of heavy metals and metalloids in the landscapes of the Eastern district of Moscow]. Dis. … k. g. n. Geograficheskij fakul'tet MGU, M., 2015. 160 s. (in Russian).

Vostok–Zapad Moskvy: prostranstvennyj analiz social'no-ekologicheskih problem [East–West of Moscow: a spatial analysis of socio-environmental problems] / Pod red. N.S. Kasimova. Geograficheskij f-t MGU, M., 2016. 70 s. (in Russian).

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

Zasolennye pochvy Rossii [Saline soils of Russia] / Otv. red. L.L. Shishov, E.I. Pankova. M.: IKC «Akademkniga», 2006. 854 s. (in Russian).

Zvyagincev D.G., Guzev V.S., Levin S.V. Izmeneniya v komplekse pochvennyh mikroorganizmov pri antropogennyh vozdejstviyah [Changes in the complex of soil microorganisms under anthropogenic impacts] // Uspehi pochvovedeniya: Sovetskie pochvovedy k XIII Mezhdunarodnomu kongressu pochvovedov (Gamburg, 1986). Moscow, 1986. S. 64–68 (in Russian).

Received 21.09.2017
Accepted 01.11.2017