

УДК 631.48

**МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕНИЯ СНЕГА И ПОЧВ ВОСТОЧНОГО
ОКРУГА МОСКВЫ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ СМЕСЯМИ****Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Власов Д.В.***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, e-mail: vlasgeo@yandex.ru*

На основе данных мониторинга за 21-летний период дана оценка воздействия противогололедных смесей на снег и почвы Восточного округа Москвы. Определен химический состав противогололедных смесей, уровни содержания и особенности распределения легкорастворимых солей в снеговых водах и почвах разных функциональных зон округа за отдельные годы наблюдений. Составлены карты засоления почвенного покрова округа на 1989, 2005 и 2010 гг. Выявлены многолетние тренды накопления ионов-загрязнителей в поверхностном слое почв. Отмечено расширение площадей аномалий солей и усиление солевого процесса в пределах отдельных функциональных зон. Экстремально высокое содержание солей (до 2,8% плотно-го остатка) было установлено в почвах транспортной зоны весной 2010 г. Темпы соленакопления в почвах округа в 2005–2010 гг. возросли в 3,8 раза по сравнению с периодом 1989–2005 гг.

Ключевые слова: антропогенное засоление, динамика, городские почвы, снежный покров, противогололедные реагенты, легкорастворимые соли

**MONITORING OF SNOW AND SOILS SALINIZATION BY DE-ICING COMPOUNDS
IN EASTERN ADMINISTRATIVE OKRUG OF MOSCOW****Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Vlasov D.V.***Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: vlasgeo@yandex.ru*

Based on monitoring data for the 21-year period the impact of de-icing compounds on snow and soils salinization in the Eastern Administrative Okrug of Moscow was assessed. Chemical composition of de-icing compounds, concentrations and spatial distribution of soluble salts in snow waters and soils of different functional areas of the Okrug were determined. Maps of soils salinization in Okrug for 1989, 2005 and 2010 were compiled. Temporal trends in ion-pollutants accumulation in the surface layer of urban soils were identified. Increasing of the area of salts concentration anomalies and intensity of soils salinization within individual functional areas were revealed. Extremely high content of salts (up to 2,8% of solid residue) was found in soils of transport area in spring 2010. Rates of salts accumulation in soils of the Okrug in 2005–2010 were increased by 3,8 times compared to the period 1989–2005.

Keywords: anthropogenic salinization, dynamics, urban soils, snow cover, de-icing compounds, water soluble salts

Широкое применение в зимний период противогололедных смесей (ПС) имеет неблагоприятные экологические последствия для городской среды, связанные с засолением снега и почв. Реагенты ПС представляют собой химически активные вещества, отрицательно влияющие на здоровье горожан, способствующие коррозии машин и металлических конструкций, разрушающие здания и исторические памятники.

Компоненты смесей, поступаая из снега в городские почвы, негативно сказываются на процессах их функционирования, изменяют свойства, химический состав и строение профиля. Аккумуляция солей в поверхностных слоях почв приводит к деградации растительного покрова и является одной из причин гибели зеленых насаждений в городе [1, 8, 10–12, 14]. Засоление почв влияет на подвижность многих токсичных тяжелых металлов и ПАУ [6, 7, 11, 15] и способствует образованию их вторичных аккумуляций в городской среде [12]. Катион натрия, содержащийся в ПС, вытесняет катионы кальция и магния из поглощающего комплекса

почв, разрушая структуру и усиливая подвижность органического вещества [8, 13].

Цель данной работы – изучение многолетней динамики содержания легкорастворимых солей в снеге и почвах разных функциональных зон Восточного административного округа (ВАО) Москвы в связи с применением ПС, которые применяются в округе во все возрастающих объемах [4, 9]. В основу статьи положены результаты геохимического мониторинга за 21-летний (1989–2010 гг.) период. Для достижения цели решались следующие задачи:

– определить химический состав ПС, уровни содержания и особенности распределения легкорастворимых солей в снеговых водах и почвах разных функциональных зон округа за отдельные годы наблюдений;

– выявить многолетние тренды накопления ионов-загрязнителей в поверхностном слое почв ВАО.

Территория ВАО Москвы расположена на водоразделе рек Москвы и Клязьмы, относится к южно-таежным ландшафтам

Подмосковной Мещеры и представляет собой плоскую задровую равнину с отметками абс. высот 150–160 м, сложенную песками и супесями. На большей части территории распространены антропогенно-преобразованные почвы, сформированные на культурном слое, насыпных, переотложенных и перемешанных грунтах и реже – на естественных почвообразующих породах. Значительные площади почв находятся под асфальтобетоном, жилыми и промышленными постройками. Природные (зональные) дерново-подзолистые, подзолисто-болотные и болотные почвы сохранились лишь в периферийной части округа, а также на отдельных участках крупных лесопарков.

Мониторинг засоления снега и почв проводился по общепринятой методике в южной части ВАО с плотной дорожной сетью, включающей МКАД, ш. Энтузиастов, Свободный просп., ул. Плеханова, Металлургов и др. В 1989, 2005 и 2010 гг. на территории муниципальных районов Вешняки, Кусково, Ивановское, Перово, Новогиреево, Новокосино и Косино-Ухтомский проведены три почвенно-геохимические и две снегомерные съемки.

Снежный покров опробовался в конце февраля – начале марта по сетке с шагом 500–700 м. Пробы снега отбирались по всей его глубине пластиковой трубой с площадью поперечного сечения 20 см² в тех же точках, что и почвы. После оттаивания при комнатной температуре из снега выделялись две фракции – твердая (взвесь) и жидкая. Анионный состав раствора (HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻) определялся методом жидкостной хроматографии, катионный (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) – атомно-абсорбционным методом с пламенной атомизацией в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. При опробовании почв пробы отбирались из поверхностного (0–15 см) горизонта. Фоновые почвы и снег изучались на территории Подмосковной Мещеры, в 45–50 км к востоку от города. Состав легкорастворимых солей в пробах ПС и почв определялся в водной вытяжке.

Для основных ионов рассчитывались коэффициенты накопления в снеге и почвах $K_c = C_{гор}/C_{фон}$, где $C_{гор}$, $C_{фон}$ – среднее содержание иона в городских и фоновых пробах. В связи с отсутствием классификации городских почв по степени засоления уровень содержания солей оценивался по классификации, разработанной для природных засоленных почв [3]. В качестве порога токсичности принят предел засоления городских почв 0,1 % плотного остатка, установленный для нормального произрастания древесных насаждений.

Функциональное зонирование территории округа и картографирование уровней содержания легкорастворимых солей в почвах выполнено Т.С. Хайбрахмановым в программном пакете ArcGIS 9.0.

Характеристика противогололедных смесей

В северных странах с гололедом на дорогах борются с помощью различных по составу химических и механических реагентов [4]. Основными средствами, используемыми в мире для удаления снега и льда с городских магистралей и тротуаров, являются поваренная соль (NaCl), песок и мелкий щебень [9]. К альтернативным органическим смесям, которые не обладают корродирующими свойствами NaCl, относят муравьинокислый калий (Kfo), ацетат калия (KAc) и кальциево-магниевый ацетат (СМА).

В Москве набор средств борьбы с гололедом представлен преимущественно хлоридной группой – реагентами на основе хлоридов кальция, магния, натрия, калия, а также их смесями в различных сочетаниях. При зимней уборке дорог Москвы обычно проводится система превентивных мер: в зависимости от метеопрогноза, еще до выпадения снега дороги обрабатывают жидкими реагентами – 28%-м раствором CaCl₂ и NaCl [4]. Всего в зимнее время дорожные службы Москвы используют в среднем около 270 тыс. т солевых реагентов. С 2011 г. объемы закупок твердых химикатов заметно увеличились и за зиму 2012–2013 гг. составили 450 тыс. т. При этом экологически приемлемый уровень валовой нагрузки по Cl⁻ на природную среду Москвы составляет не более 30–40 тыс. т в год [9]. Если до 1993 г. в городе применялась песчано-солевая смесь с небольшим количеством соли – до 8–10% NaCl [8], то в последнее время – практически чистая поваренная соль с добавлением CaCl₂ [9].

Химический состав ПС и снежного покрова на территории ВАО

На территории Москвы применяются реагенты, которые не менее чем на 93 % состоят из технической поваренной соли [9]. По нашим данным, используемые на территории округа ПС также практически полностью образованы поваренной солью, содержание которой достигает 95–96 %. Ионы других солей в смесях содержатся в незначительных количествах, преобладают сульфаты кальция. Содержание суммы солей в реагентах составляет в среднем 3260 смоль(экв)/кг.

Из талых вод компоненты ПС поступают в почвы. На урбанизированных территориях наряду со смесями снежный покров

аккумулирует многие химические элементы и их соединения, загрязняющие атмосферу города, поэтому его считают индикатором антропогенной нагрузки на городскую среду. Химический состав снега дает информацию об имиссии загрязняющих веществ, т.е.

об их выпадении на снежный покров в течение всего холодного периода [14]. Средняя величина pH, состав солей и минерализация снеговых вод в условиях загрязнения территории ВАО и фоновых ландшафтов Подмосковной Мещеры приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Кислотность (pH), среднее содержание и сумма основных ионов (мг/л) в снежном покрове Подмосковной Мещеры и ВАО Москвы

Показатель	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ³⁺	NH ₄ ⁺	Сумма ионов
Подмосковная Мещера, фон (n* = 5)												
Среднее	5,6	1,80	1,74	1,55	1,36	1,40	0,13	0,74	0,30	0,18	0,30	9,50
ВАО Москвы, весна 2005 г. (n = 10)												
Среднее	6,1	2,91	3,50	2,62	1,76	2,89	0,24	0,89	0,38	0,23	0,58	16,0
Min	6,0	2,14	3,06	2,21	1,55	2,63	0,20	0,64	0,25	0,20	0,50	
Max	6,4	3,82	4,10	3,50	1,93	3,23	0,30	1,80	0,57	0,28	0,73	
Kc**	1,1	1,6	2,0	1,7	1,2	2,1	1,85	1,2	1,3	1,3	1,9	1,7
ВАО Москвы, весна 2010 г. (n = 51)												
Среднее	6,2	4,07	2,09	7,00	1,54	3,37	0,13	1,74	0,55	–	0,05	20,5
Min	4,5	0,06	0,05	0,01	0,05	0,92	0,05	0,18	0,05		0,05	3,0
Max	7,6	23	5,89	160	3,33	23	0,30	48	5,22		0,05	236
Kc	1,2	2,3	1,2	4,5	1,1	2,4	1,0	2,4	1,8	–	–	2,0

Примечание. *n – число проб. **Kc рассчитан относительно фоновых содержаний ионов. **Жирным** выделены концентрации Kc доминирующих ионов. Прочерк – не определялось.

Снеговые воды природных ландшафтов Подмосковной Мещеры имеют низкую минерализацию, в среднем 9,5 мг/л. Среднее фоновое содержание ионов хлора и натрия в талых водах составляет 1,55 и 0,74 мг/л. По преобладающему ионному составу воды относятся к сульфатно-хлоридному кальциевому классу.

Величина pH талого снега на территории округа, по данным 2005 и 2010 гг., изменяется в пределах 4,5–7,6 при средних значениях 6,1–6,2. Подщелачивание снежного покрова относительно фоновых территорий составляет 0,5–0,6 единиц. Наиболее высокие значения pH приурочены к промышленным зонам и автомагистралям, что обусловлено поступлением карбонатной пыли [5] и солевых реагентов [9]. Средняя минерализация талой воды составляет 16,0 и 20,5 мг/л, что в 1,7 и 2,2 раза превышает фоновые значения. Величина минерализации и концентрации отдельных ионов в снеге ВАО за 5-летний период увеличилась в 1,2–2,7 раза.

В 2005 г. среди анионов в снеговых водах доминировали сульфаты (Kc 2,0) и хлориды (Kc 1,7), а среди катионов – кальций (Kc 2,1). В 2010 г. в талых водах стали пре-

обладать хлориды (Kc 4,5), кальций (2,4) и натрия (2,4). Всего за пять лет сульфатно-хлоридный кальциевый состав снеговых вод в округе сменился на хлоридно-кальциевый и хлоридно-натриевый, что обусловлено интенсивным и бесконтрольным применением ПС, таких как CaCl₂ и NaCl [9]. На юге ВАО встречаются воды сульфатно-кальциевого класса, которые сформировались под воздействием ТЭЦ-22, а близ ш. Новоухтомского и Энтузиастов – нитратно-кальциевого класса, обусловленного воздействием автотранспорта [5].

Приведенные данные согласуются с результатами многолетних (1999–2006 гг.) исследований кислотности и химического состава снега на территории Московского региона [2], согласно которым средние величины pH снега составляют 6,09 для Москвы и 5,63 для Подмосковья, при минерализации 15,9 и 9,4 мг/л соответственно. По ионному составу снеговые воды ВАО Москвы отнесены к сульфатно-хлоридному кальциевому классу. Средняя минерализация снеговых вод округа зимой 2005 г. была близка к полученным нами данным и составила 9,4 мг/л с доминированием в их составе сульфатов и хлоридов.

**Многолетняя динамика
легкорастворимых солей в почвенном
покрове ВАО**

Фоновые дерново-подзолистые почвы Московской области содержат легкорастворимые соли в незначительных количествах. По-

чвы фоновых ландшафтов имеют в среднем кислую реакцию среды (рН 4,9), очень низкое содержание солей (0,75 смоль(экв)/кг), преимущественно бикарбонатно-кальциевый состав ионов и небольшой плотный остаток (0,03%), что указывает на отсутствие засоления (табл. 2).

Таблица 2

Величина рН и среднее содержание легкорастворимых солей (смоль(экв)/кг почвы) в поверхностном (0–15 см) слое почв Подмосковной Мещеры и ВАО Москвы

Показатель	рН	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Сумма ионов	Плотный остаток, %
Подмосковная Мещера, фон (n = 5)											
Среднее	4,9	0,18	0,06	0,06	0,08	0,26	0,05	0,04	0,02	0,75	0,03
ВАО, лето 1989 г. (n = 47)											
Среднее	7,22	0,46	0,23	4,31	0,17	1,46	0,30	3,09	0,24	10,2	0,31
Min	6,05	0,19	0,10	1,08	0,07	0,21	0,13	0,15	0,10	2,99	0,098
Max	8,14	1,52	0,43	12,1	0,32	3,10	0,60	11,3	0,50	28,6	0,877
Cv, %	7,8	84,6	42,1	78,9	46,9	59,2	50,0	99,2	49,0	75,6	75,1
Kc	–	2,6	3,8	71,8	2,1	5,6	6,0	77,2	12,0	100,8	10,4
ВАО, лето 2005 г. (n = 50)											
Среднее	7,8	0,67	0,30	5,09	0,21	1,76	0,35	3,89	0,27	12,5	0,39
Min	6,4	0,23	0,12	1,31	0,10	0,25	0,17	0,80	0,12	3,54	0,116
Max	8,8	2,28	0,65	14,6	0,44	5,24	0,64	13,9	0,52	35,8	1,10
Cv, %	7,8	97,7	45,9	80,0	48,9	71,6	48,3	94,5	46,4	78,3	78,2
Kc	–	3,7	5,0	84,8	2,6	6,8	7,0	97,2	13,5	16,7	13,0
ВАО, лето 2010 г. (n = 52)											
Среднее	7,2	1,72	0,32	5,15	0,42	2,99	0,57	3,97	0,07	15,2	0,48
Min	6,0	0,31	0,08	1,24	0,06	0,49	0,10	0,46	0,002	5,15	0,16
Max	8,5	5,03	1,44	18,2	6,34	10,8	1,83	16,7	0,60	52,5	1,64
Cv, %	7,7	56,0	75,7	70,0	210,3	69,5	60,9	90,5	205,6	64,2	64,1
Kc	–	9,6	5,3	85,8	5,2	11,5	11,4	99,2	3,5	20,3	16,0

В условиях города значительная часть легкорастворимых соединений снеговых вод аккумулируется почвами, что приводит к их прогрессирующему засолению (табл. 2).

В 1989 г. почвы ВАО имели в основном нейтральную реакцию среды: средняя величина рН равнялась 7,2 при колебаниях 6,0–8,1, подщелачивание почв относительно фоновых ландшафтов составляло в среднем 2,3 единиц, а уровень содержания солей – 10,2 смоль(экв)/кг почвы. Почвы характеризовались повышенным плотным остатком (0,31%), что соответствует средней степени засоления с преобладанием в составе солей ионов хлора и натрия, содержание которых превысило фоновое в 72–77 раз. Почвы ВАО отличались высокой неоднородностью содержания солей с коэффициентами вариации Cv для хлоридов натрия 79–99%.

В 2005 г. процесс антропогенного подщелачивания почв ВАО привел к росту зна-

чений рН, которые достигли в среднем слабощелочных значений (7,8) при колебаниях 6,4–8,8 (табл. 2). Подщелачивание почв по сравнению с фоном составило в среднем 2,9 единиц. Содержание солей относительно фона увеличилось почти в 17 раз и составило 12,5 смоль(экв)/кг почвы. Величина плотного остатка выросла до 0,39%, что определило средний уровень засоления почв [3]. При этом характер засоления почв остался хлоридно-натриевым, но уровень содержания доминирующих ионов значительно вырос: содержание хлоридов натрия превысило фон в 85–97 раз. Неоднородность их содержания в почвах осталась высокой: Cv составил 80–94%.

В 2010 г. средняя величина рН в поверхностном слое почв по сравнению с 2005 г. уменьшилась до нейтральной и составила 7,2 при колебаниях 6,0–8,5, а уровень содержания солей по сравнению с фоном вырос в 20 раз и достиг 15,2 смоль(экв)/кг

(табл. 2). Средняя величина плотного остатка увеличилась до 0,48%, свидетельствуя о сильной степени засоления почв с преобладанием в составе почвенного раствора ионов хлора, натрия и кальция. Содержание хлоридов натрия превысило фоновые концентрации в 86–99 раз. Среди катионов одно из доминирующих мест занял ион кальция с превышением фона в 11,5 раз, что объясняется использованием в последние годы в качестве ПС CaCl_2 [9]. Неоднородность уровней содержания хлоридов натрия и кальция в почвенном покрове округа сохранилась на высоком уровне (C_v 70–90%).

Распределение легкорастворимых солей в поверхностном слое почв ВАО отражают карты (рисунок), составленные по данным о содержании суммы солей и выраженные в градациях плотного (сухого) остатка в июле 1989, 2005 и 2010 гг. Анализ карты 1989 г. показывает, что значительные площади почв в центре и на востоке округа – от Терлецких озер до Кусковского парка, относящиеся преимущественно к рекреационной и селитебной зонам, были не засолены (плотный остаток < 0,1%) или засолены слабо (0,1–0,2%), что объясняется небольшими объемами внесения ПС в городе в 1990-е гг. [9]. На этом фоне отдельными пятнами вдоль ш. Энтузиастов и МКАД выделяются техногенные аномалии солей со средним (0,2–0,4%) уровнем засоления почв.

К 2005 г. выявленные ранее техногенные аномалии солей в почвенном покрове округа значительно увеличили свои размеры и контрастность (рисунок), а уровень засоления почв (по осредненному значению плотного остатка) вырос за 16-летний период в 1,3 раза (табл. 2). Наиболее контрастные аномалии с плотным остатком более 0,8%, что соответствует очень сильному засолению, сформировались на северо-западе и севере округа вдоль ш. Энтузиастов, а также в месте пересечения ш. Энтузиастов и МКАД. Участки среднего (0,2–0,4%) и сильного (0,4–0,8%) засоления почв располагались преимущественно вдоль ш. Энтузиастов и МКАД и в пос. Кожухово. Незасоленные и слабозасоленные почвы встречались отдельными небольшими пятнами в центральной и северо-восточной частях округа.

В 2010 г. (рисунок) наблюдалось дальнейшее увеличение размеров и интенсивности техногенных аномалий солей в почвах ВАО. Аномалия с максимально высоким (более 1%) содержанием плотного остатка в почвах выявлена в транспортной и промышленной зонах в северо-западной части округа. Почвы с очень сильным засолением (плотный остаток 0,8–1,0%) выявлены

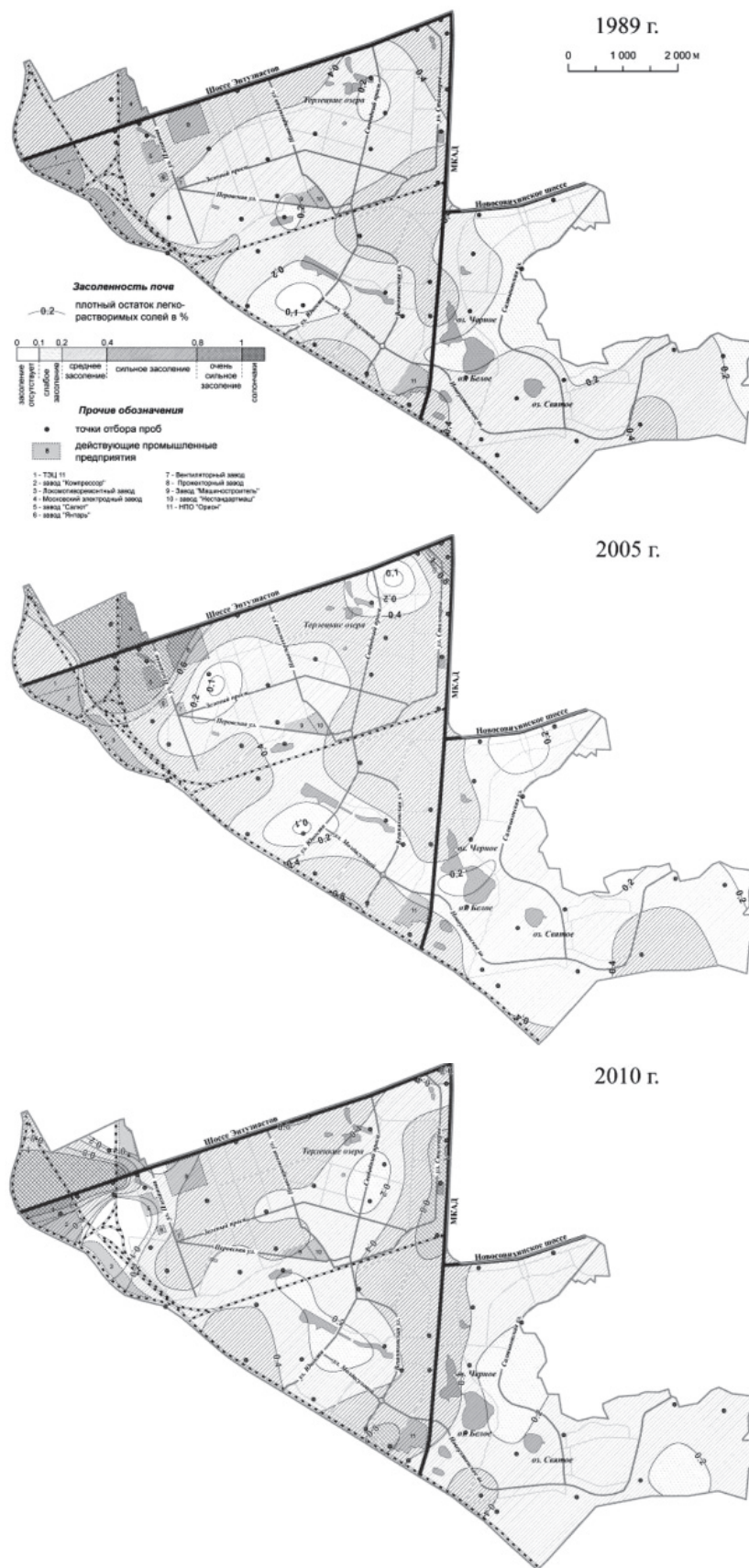
на отдельных участках вблизи МКАД. Наиболее протяженные аномалии с сильным засолением почв образовали сплошные достаточно широкие полосы по обеим сторонам автомагистралей. Аномалии среднего уровня засоления сформировались в центральной части территории округа и восточнее МКАД. Незасоленные и слабозасоленные почвы занимают небольшие площади в районе Свободного просп., улиц Юности, Молдагуловой и Салтыковской, а также западнее ул. Плеханова. По сравнению с 2005 г. усилилась степень засоления почв селитебной зоны, а в центральной части округа исчезли локальные пятна незасоленных почв.

Солевой состав почвенного раствора по территории округа довольно неоднороден и изменяется по функциональным зонам следующим образом: почвы транспортной и промышленной зон имеют преимущественно хлоридно-натриевый тип засоления, рекреационной и сельскохозяйственной – бикарбонатно-кальциевый, селитебной – хлоридно-кальциевый.

Максимальное содержание солей наблюдалось весной 2010 г. в поверхностном слое почв вблизи крупных автомагистралей, где плотный остаток достигал 2,1–2,8%, а сумма солей – 78,8–79,6 смоль(экв)/кг, что соответствует очень сильной степени засоления, которая не свойственна природным почвам южно-таежных ландшафтов, а наблюдается только в солончаках аридных регионов. Содержание хлоридов на глубине 0–10 см в почвах транспортной и промышленной зон составляет 39,4 и 38,7, а ионов натрия – 32,6 и 33,9 смоль(экв)/кг соответственно, что негативно влияет на произрастание растений. Некоторые виды древесных насаждений, в частности липа, переносят очень незначительное содержание хлора в почве – до 7 смоль(экв)/кг, а устойчивость тополя и березы еще ниже [8]. Плотный остаток 0,2–0,4% (среднее засоление почв) является пределом для роста и развития ряда деревьев и кустарников, используемых в столице для озеленения [8]. Средняя степень засоления почв характерна для верхних горизонтов почв в селитебной зоне округа. Незасоленными остаются только почвы рекреационной и сельскохозяйственной зон: плотный остаток в них не превышает 0,1%.

Темпы аккумуляции доминирующих ионов в почвах округа

Тенденции накопления основных ионов солей в почвах округа оценивались для двух периодов: 1989–2005 и 2005–2010 гг. путем расчета средней скорости ежегодного прироста суммы солей и содержания доминирующих ионов в поверхностном слое почв (табл. 3).



Техногенные аномалии легкорастворимых солей (по плотному остатку) в поверхностном (0–15 см) горизонте почв ВАО Москвы (данные июля 1989, 2005, 2010 гг.)

Таблица 3

Средняя скорость ежегодного прироста содержания доминирующих ионов и суммы солей в почвах ВАО Москвы за 1989–2005 и 2005–2010 гг.

Период наблюдений, гг.	Прирост содержания ионов солей в почвах, смоль(экв)/кг в год				
	Na ⁺	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Сумма солей
1989–2005	0,050	0,049	0,019	0,003	0,144
2005–2010	0,016	0,012	0,077	0,014	0,540

Темпы антропогенного соленакопления в почвах округа в 2005–2010 гг. были в 3,8 раза выше по сравнению с 1989–2005 гг. В 1989–2005 гг. средняя скорость ежегодного прироста суммы солей в поверхностном слое почв составила 0,144, а прироста ионов Na и Cl – 0,05 смоль(экв)/кг. В 2005–2010 гг. темпы накопления солей увеличились до 0,54 смоль(экв)/кг, а Na и Cl – уменьшились в 3 раза. Обратная картина наблюдалась для ионов Ca и Mg, скорость прироста которых за второй период возросла в 4–4,5 раза. Это можно объяснить переходом на новые антигололедные реагенты, в составе которых стали преобладать кальций и магний. Тем не менее при сохранении объемов внесения антигололедных реагентов в ближайшем будущем можно ожидать ухудшения экологического состояния почв ВАО в связи с ростом их засоления.

В составе поглощающего комплекса почв ВАО обнаружено высокое содержание обменного натрия, что свидетельствует о развитии их осолонцевания, которое является наиболее экологически опасным видом засоления городских почв. Если в 1980-е гг. солонцеватость в почвах Москвы не проявлялась [8], то с начала 2000-х гг. этот процесс уже зафиксирован вблизи ряда крупных автомагистралей города, где содержание обменного натрия в поверхностном слое почв достигло 24–43 % от суммы катионов [10].

Для уменьшения засоления городских почв требуется проведение специальных мелиоративных мероприятий. Высокая токсичность хлоридов снижается путем промывки почвенного профиля от солей, а щелочная реакция нейтрализуется гипсованием, внесением серы, квасцов, сульфидов железа и ряда других кислотных веществ.

Выводы

1. Большие объемы и длительность применения ПС на территории ВАО Москвы вызвали антропогенное засоление и подщелачивание снежного покрова и почв, то есть развитие процессов, не ха-

рактерных для зональных почв южно-таежных ландшафтов. За 21-летний период минерализация (сумма солей) почвенного раствора и плотный остаток в округе увеличились в среднем в 1,5 раза, а по сравнению с региональным фоновым уровнем – в 16–20 раз. Хлоридно-натриевое засоление почв к 2010 г. сменилось на хлоридно-натриево-кальциевое, что обусловлено изменением состава применяемых смесей.

2. Мониторинговые наблюдения выявили рост размеров и контрастности техногенных аномалий легкорастворимых солей в почвах ВАО, что подтверждают карты 1989, 2005 и 2010 гг. Многолетняя динамика засоления почв отличается усилением солевого процесса и высокой вариабельностью содержания солей в пределах отдельных функциональных зон. Экстремально высокое содержание солей – до 2,1–2,8 % плотного остатка – наблюдалось в почвах транспортной зоны весной 2010 г. Темпы соленакопления в почвах округа в 2005–2010 гг. возросли в 3,8 раза по сравнению с периодом 1989–2005 гг.

3. Мониторинг антропогенной галогенизации городских почв должен обеспечивать выявление ее многолетних трендов и разработку научно обоснованных норм внесения солевых реагентов, принимая во внимание потенциальную опасность их многолетней аккумуляции в почвах. Для рассоления почв ВАО и улучшения их водно-физических свойств требуется проведение комплекса специальных химических мелиораций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества (проект № 13-05-41191).

Список литературы

1. Александровская Е.А., Мазелова В.Ч., Бережная Ю.А., Розов Ю.Н. Влияние противогололедных солей на придорожные почвы в районе г. Пушкино // Экология малого города. – Пушкино, 1987. – С. 144–152.
2. Еремина И.Д., Григорьев А.В. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999–2006 гг. // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2010. – № 3. – С. 56–60.

3. Засоленные почвы России / под ред. Л.Л. Шишова и Е.И. Панковой. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 854 с.
4. Иностраный опыт: 5 реагентов в борьбе с гололедом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.the-village.ru/village/situation/abroad/111529-vstrechaem-ldom-i-solyu-5-sposobov-izbavitsya-ot-sneга> (дата обращения 26.08.2014).
5. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. – 2012. – № 4. – С. 14–25.
6. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Полициклические ароматические углеводороды в городских почвах (Москва, Восточный округ) // Почвоведение. – 2011. – № 9. – С. 1114–1127.
7. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Фракционный состав соединений свинца в почвах Москвы и Подмосковья // Почвоведение. – 2009. – № 8. – С. 940–951.
8. Обухов А.И., Лепнева О.М. Экологические последствия применения противогололедных соединений на городских автомагистралях и меры по их устранению // Экологические исследования в Москве и Московской области: мат-лы науч.-практ. конф. – М., 1990. – С. 197–202.
9. Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. – М.: Центр МГУИЭ, 2004. – 159 с.
10. Черноусенко Г.И., Ямнова И.А., Скрипникова М.Н. Антропогенное засоление почв Москвы // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 97–105.
11. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 336 с.
12. Joutti A., Schultz E., Pessala P., Nistén T., Hellstén P. Ecotoxicity of Alternative de-Icers // J. Soils & Sediments. – 2003. – Vol. 3(4). – P. 269–272.
13. Novotny V., Muehring D., Zitomer D.H., Smith D., Facey R. Cyanide and metal pollution by urban snowmelt: Impact of deicing compounds // Water Science and Technology. – 1998. – Vol. 38(10). – P. 223–230.
14. Ramakrishna D., Viraraghavan T. Environmental impact of chemical deicers – a review // Water Air Soil Pollut. – 2005. – Vol. 166. – P. 49–63.
15. Tromp K., Lima A.T., Barendregt A., Verhoeven J.T.A. Retention of heavy metals and polyaromatic hydrocarbons from road water in a constructed wetland and the effect of de-icing // J. of Hazardous Materials. – 2012. – Vol. 203. – P. 290–298.
2. Eremina I.D., Grigoriev A.V. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5, geogr.*, 2010, no. 3, pp. 56–60.
3. *Saline soils of Russia* / Ed. by L.L. Shishov & E.I. Pan-kova. Moscow: IKC «Academkniga», 2006, 854 p.
4. Foreign experience: 5 reagents in the fight against ice (2014), available at: <http://www.the-village.ru/village/situation/abroad/111529-vstrechaem-ldom-i-solyu-5-sposobov-izbavitsya-ot-sneга> (accessed 26 August 2014).
5. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5, geogr.*, 2012, no. 4, pp. 14–25.
6. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, no. 9, pp. 1018–1030.
7. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. *Eurasian Soil Science*, 2009, vol. 42, no. 8, pp. 874–884.
8. Obukhov A.I., Lepneva O.M. *Proc. of sci. and practical conf. «Ecological studies in Moscow and Moscow region»*. Moscow, 1990, pp. 197–202.
9. Sister V.G., Koretskiy V.E. *Engineering and ecological protection of the water system in the northern megapolis in winter*. Moscow, CenterMGUIE, 2004, 159 p.
10. Chernousenko G.I., Yamnova I.A., Skripnikova M.N. *Eurasian Soil Science*, 2003, no. 1, pp. 97–105.
11. *Environmental geochemistry of urban landscapes* / Ed. By N.S. Kasimov. Moscow: Moscow Univ. Publ. House, 1995, 336 p.
12. Joutti A., Schultz E., Pessala P., Nistén T., Hellstén P. *J. Soils & Sediments*, 2003, vol. 3(4), pp. 269–272.
13. Novotny V., Muehring D., Zitomer D.H., Smith D., Facey R. *Water Science and Technology*, 1998, vol. 38(10), pp. 223–230.
14. Ramakrishna D., Viraraghavan T. *Water Air Soil Pollut.*, 2005, vol. 166, pp. 49–63.
15. Tromp K., Lima A.T., Barendregt A., Verhoeven J.T.A. *J. of Hazardous Materials*, 2012, vol. 203, pp. 290–298.

Рецензенты:

Красовская Т.М., д.г.н., профессор кафедры физической географии мира и геоэкологии, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва;

Пиковский Ю.И., д.г.н., ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 06.10.2014.

References

1. Alexandrovskaya E.A., Mazepova V.Ch., Berezhnaya U.A., Rozov U.N. The effect of de-icing salts on roadside soils in the vicinity of Puschino town. In: *Ecology of small town. Puschino*, 1987, pp. 144–152.