

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.265>

## Влияние противогололёдных реагентов на свойства почв придорожных газонов г. Новосибирска

© 2024 П. А. Барсуков , О. А. Русалимова 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,  
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

**Цель исследования.** Оценить влияние применения противогололёдных реагентов на изменение свойств почв придорожных газонов г. Новосибирска.

**Место и время проведения.** Сквер и примыкающие к нему придорожные газоны в центральной части г. Новосибирска. Полевые и лабораторные работы выполнены в конце 2023 г. – начале 2024 г.

**Методы.** Анализ почвенных образцов выполнен следующими методами: приготовление водной вытяжки – при соотношении почва:раствор равном 1:5; определение удельной электрической проводимости и водного pH – с использованием электродов HI763123 и ЭСК-10603, соответственно; водорастворимых сульфатов – с осаждением сульфат-ионов хлористым барием и определением сульфата бария турбидиметрическим методом; водорастворимого натрия – на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией Квант-2А; водорастворимых хлоридов – с помощью ионоселективного электрода Эконикс ЭКОМ-С1; водорастворимых фосфатов – спектрофотометрическим методом с образованием молибденовой сини. Статистическая обработка данных проведена методами главных компонент, вариационного, регрессионного, корреляционного и дисперсионного анализов.

**Основные результаты.** Применение противогололёдных реагентов (ПГР) для обработки дорог и тротуаров наиболее значительно изменяет содержание водорастворимых натрия и хлора в почвах придорожных газонов: уровень Na достигает 443 мг/кг почвы, Cl – 511 мг/кг. Концентрация сульфатов и фосфатов в газонных почвах при использовании ПГР изменяется в значительно меньшей степени. Взаимозависимость содержания хлора и натрия в почве описывается уравнением линейной регрессии с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2$ ), равным 0,92:  $Cl = 1,503 \times Na - 34,655$ , где концентрации Cl и Na представлены в мг/кг. Обнаружена тесная положительная связь ( $R^2 = 0,87$ ) между суммой всех четырёх анализируемых ионов (SI) и удельной электропроводности (ЕС), описываемая линейным уравнением  $SI = 0,0078 \times EC - 0,985$ , где SI (сумма ионов  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  и  $PO_4^{2-}$ ) представлена в смоль(экв)/кг, а ЕС – в мкСм/см.

**Заключение.** В почвах придорожных газонов, по сравнению с центральной частью прилегающего сквера, установлено значительное повышение содержания водорастворимых натрия и хлора: в 7–24 раза и 30–80 раз, соответственно. Увеличение концентрации этих элементов сопровождалось повышением в 3,3 раза величины удельной электрической проводимости (характеризующей общий уровень засоления почвы легкорастворимыми солями) и изменением реакции среды со «слабощелочной» на «умеренно щелочную». Такие значительные изменения химических свойств придорожных урбаноземов обусловлены применением ПГР, что может вызывать угнетение роста и развития газонных растений, прежде всего древесных культур, менее адаптированных к солевому загрязнению почвы, вплоть до их гибели.

**Ключевые слова:** почвы придорожных газонов; урбаноземы; противогололёдные реагенты; антропогенное засоление; хлориды; сульфаты; фосфаты; водорастворимый натрий; щёлочность.

**Цитирование:** Барсуков П.А., Русалимова О.А. Влияние противогололёдных реагентов на свойства почв придорожных газонов г. Новосибирска // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 2. e265. DOI: [10.31251/pos.v7i2.265](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.265).

### ВВЕДЕНИЕ

Применение противогололёдных реагентов (ПГР) в крупных городах является общераспространённой практикой в странах, где в зимний период хотя бы периодически температура опускается ниже нуля градусов по Цельсию. Среди ПГР для дорог самыми популярными в мире являются хлористые соли (Cunningham et al., 2008; Hofman et al., 2012). Масштабы и интенсивность воздействия на окружающую среду солей для борьбы с гололедом на дорогах беспокоит ученых-экологов уже несколько десятилетий (Hawkins, 1971). В последние годы количество применяемых соледержащих ПГР увеличивается, несмотря на то что последствия применения солей до сих пор остаются малоизученными. Существует множество доказательств того, что соли накапливаются в водных системах, угнетают рост наземной растительности и могут изменять состав растительных сообществ. Однако, достоверно не установлено, как далеко эти реагенты распространяются от места из использования (дорог), какие механизмы наиболее важны для их миграции, какое их количество

закрепляется в почве, поглощается растениями, выщелачивается с внутрипочвенным стоком и мигрирует с поверхностным стоком в водные объекты (Cunningham et al., 2008).

За последние два десятилетия во многих городах России произошло значительное увеличение применения соледержащих смесей для противогололедной обработки дорожных покрытий и пешеходных зон (Шевченко и др., 2008; Пироговская, Хмелевский, 2010; Лысиков, 2017; Никифорова и др., 2016; Лопатина и др., 2020). В частности, для Москвы установлено, что ПГР являются одними из основных загрязнителей почвенного покрова (Николаев и др., 2001; Доклад ..., 2018; Малышева и др., 2018; Наместникова, Бузаева, 2019).

Поскольку большинство ПГР представляют собой химически активные соединения – хлористые соли (содержащие, преимущественно, ионы хлора, натрия и кальция), то неблагоприятные экологические последствия для городской среды при интенсивном применении ПГР связаны с засолением почв, которое в естественных условиях более характерно для солончаков с хлоридным типом засоления. Большинство растений (особенно древесных) очень чувствительны к засолённости почвы. Накопление солей в корнеобитаемом слое почв приводит к угнетению, а в ряде случаев и к гибели зелёных насаждений города. Кроме того, при засолении разрушается агрегатная структура почв и даже их гранулометрический состав, в результате чего наблюдается увеличение фракции мелкой пыли (Малышева и др., 2018), что вероятно может повысить содержание мелкодисперсных пылевых частиц в приземном воздухе.

Масштабное применение ПГР вызывает обеспокоенность не только экологов и широкой общественности, но и привлекает внимание контролирующих органов. Одним из распространённых ПГР в России является «Бионорд» (Противогололедные ..., 2016), который производится с 2006 г. и имеет противоречивые отзывы о его воздействии на биоту (Шишова и др., 2017; Лопатина и др., 2020).

Загрязнение городских почв ПГР является серьёзной проблемой на сегодняшний день, поэтому исследования по оценке последствий, эффективности и экологической безопасности применения ПГР представляются крайне актуальными (Крятов и др., 2014; Водянова и др., 2016). В дополнении к этому, ряд авторов отмечает, что система экологического мониторинга объектов окружающей среды (почвы, растительность, водные объекты), подвергающихся воздействию различных реагентов, требует контроля химической безопасности (Малышева и др., 2018). При долговременном применении соледержащих смесей необходимо иметь представление о пределах устойчивости почвы к этому виду химического загрязнения, от которого, в том числе, зависит и устойчивость растительного компонента.

На территории России данные об исследованиях изменений химического состава почв под влиянием ПГР немногочисленны, и преимущественно выполнены в Европейской ее части. Поэтому цель работы – оценить влияние применения ПГР на изменение свойств почв придорожных газонов г. Новосибирска, в частности, на кислотность/щёлочность и содержание ионов легкорастворимых солей в поверхностном слое почв придорожных газонов вдоль центральных улиц города.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевая часть экспериментальной работы проведена в центре города Новосибирска, на территории Первомайского сквера (55°01'37" ... 55°01'43" с.ш., 82°55'01" ... 82°55'15" в.д.) и вблизи Собора Александра Невского (55°01'04" ... 55°01'07" с.ш., 82°55'25" в.д.). Отбор почвенных образцов выполнен на следующих участках:

- Участок № 1 – газон разделительной полосы между двумя проезжими частями Красного проспекта, вблизи Собора Александра Невского; древесная культура на газоне – берёза.
- Участок № 2 – газон Первомайского сквера вдоль Красного проспекта; древесная культура на газоне – липа.
- Участок № 3 – газон Первомайского сквера вдоль ул. Максима Горького; древесная культура на газоне – лиственница.
- Участок № 4 – газон Первомайского сквера вдоль ул. Советская; древесная культура на газоне – яблоня.
- Участок № 5 – центральная часть территории Первомайского сквера, равноудалённая от всех улиц, его окружающих и, соответственно, удалённая от источников загрязнения противогололедными реагентами; древесные культуры – сосна обыкновенная, рябина, ель, лиственница. Этот участок можно рассматривать в качестве внутригородского **условного фона (УФ)**.

Смешанные почвенные образцы с каждого участка отобраны из поверхностного слоя почвы тростевидным буром в 10-кратной повторности, причём каждый смешанный образец составляли из 4–5 индивидуальных образцов. На участках № 1–4 почвенные образцы отбирали на расстоянии 1–2 м от

дорожного полотна. Глубина отбора образцов с участков № 1, 4 и 5 составляет – 0–30 см, на участке № 2 – 0–10 см, на участке № 3 – 0–10/15 см. Ограниченная глубина слоя отбора почвенных образцов с участков № 2 и 3 связана с тем, что ниже 10/15 см от поверхности почвы залегают прослойки фрагментов строительных отходов. Срок отбора всех почвенных образцов – 25 ноября 2023 г.

Термины «почвы» и «почвенные образцы» используются в определенной степени как условные, поскольку тот субстрат, который был отобран для анализа, строго говоря, не является почвой, а в соответствии с современной классификацией почв России (Классификация ..., 2004) представляет собой «техногенные поверхностные образования» (ТПО) и относится к группе «Квазиземы», подгруппе «Урбиквазиземы». Эта подгруппа отчасти соответствует урбаноземам в классификации городских почв М.Н. Строгановой (Полевой ..., 2008). В соответствии с международной классификацией почв (IUSS ..., 2022) ТПО относятся к реферативной почвенной группе Technosols. Поскольку классификация городских почв не является целью данной публикации, то ниже по тексту исследуемые почвы газонов обозначаются, в т.ч., и как урбаноземы.

В последние годы в г. Новосибирске получило распространение применение на дорожных покрытиях в зимнее время противогололедного реагента «Бионорд». В соответствии с техническими условиями «Бионорд» выпускается в 4 модификациях (Противогололедные ..., 2016), химический состав которых приводится в таблице 1. Наиболее распространённой разновидностью является «Бионорд Универсальный», состоящий на 45–89% из хлорида натрия и на 10–30% – из хлорида кальция. По остальным 4 компонентам регламентируется только верхняя граница их содержания; поэтому даже в случае отсутствия этих соединений в ПГР его состав будет соответствовать заявленному. Поскольку у нас отсутствуют достоверные сведения о количестве и разновидностях вносимых ПГР в пределах исследуемой территории г. Новосибирска, мы не можем с уверенностью вычленить влияние ПГР «Бионорд» среди других ПГР, применяемых в последние годы. Однако, учитывая, что химический состав применяемых ПГР относительно однороден (включает преимущественно ионы Cl и Na), то с точки зрения фитотоксичности, различные ПГР приблизительно в равной степени опасны для растений в случае их внесения в эквивалентных дозах по хлору и натрию.

**Таблица 1**

Химический состав основных разновидностей твёрдых противогололёдных материалов «Бионорд»

Массовая доля соединений	Универсальный	Тротуары	Экстра	Концентрат
хлорид кальция, %	10–30	не более 20	60–98	40–90
хлорид натрия, %	45–89	не более 60	не более 10	10–30
хлорид калия, %	не более 10	не более 20	не более 10	–
карбамид, %	не более 10	не более 20	не более 10	–
формиат натрия, %	не более 15	не более 30	не более 40	не более 30
формиат калия, %	не более 15	не более 30	не более 40	–

Анализ отобранных образцов выполнен в соответствии со следующими методами: приготовление водной вытяжки – при соотношении почва : раствор (дистиллированная вода) равном 1 : 5 с последующим анализом в этой вытяжке нижеперечисленных показателей; определение удельной электрической проводимости и водного pH – потенциометрическим способом с использованием электродов HI763123 и ЭСК-10603, соответственно; определение водорастворимых сульфатов – с осаждением сульфат-ионов хлористым барием и определение сульфата бария турбидиметрическим методом; определение водорастворимого натрия – на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией Квант-2А, Россия; определение водорастворимых хлоридов – с помощью ионоселективного электрода Эконикс ЭКОМ-Cl; определение водорастворимых фосфатов – спектрофотометрическим методом с образованием молибденовой сини (Теория ..., 2006).

Статистическая обработка данных (вариационный, регрессионный, корреляционный и дисперсионный анализы и анализ нормированных данных методом главных компонент) выполнена с помощью пакета программ Statistica v.13.3.0 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA). Дисперсионный анализ (стандартный анализ по Фишеру) выполнен при полной рандомизации. Результаты этого анализа (приводимые в таблицах), представлены в виде латинских букв, следующих за числом – средним арифметическим значением того или иного показателя. Одинаковые латинские буквы означают отсутствие достоверных различий, а разные буквы указывают на то, что различия

между средним арифметическим превышают наименьшую существенную разницу (НСР) при уровне значимости 0,05 и 0,01 (доверительной вероятности 95% и 99%, соответственно).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учитывая химический состав ПГР «Бионорд Универсальный» и иных традиционных ПГР, состоящих преимущественно из хлорида натрия, изученные нами почвы придорожных газонов были проанализированы на водорастворимые формы натрия и хлора, а также сульфаты для дополнительной характеристики типа засоления. Кроме этого, определяли актуальную кислотность/щёлочность (водный pH), удельную электрическую проводимость водной суспензии почвы (ЕС) и фосфаты для дополнительной характеристики анионного состава водной вытяжки (табл. 2).

Значения водного pH варьировали в узком диапазоне: от 7,75 до 8,26. Однако, поскольку разброс этих значений по повторностям был минимальным (что подтверждается очень низкими значениями коэффициента вариации от 1,2% до 4,8%), то различия между некоторыми участками были достоверными. Минимальное значение pH 7,75 (соответствующий градации «слабощелочная» почва) получено для почвы центральной части сквера (участок № 5). Этот участок является наименее загрязнённым в силу удалённости от всех автомобильных дорог и поэтому значения химических свойств урбанозема этого участка мы приняли в качестве условного внутригородского фона (УФ). Урбаноземы участков № 1–4 по реакции среды относятся к градации «умеренно щелочных» почв: значения водного pH были достоверно (даже при доверительной вероятности 99%) больше по сравнению с УФ. Почва участка № 4 характеризовалась более щелочной реакцией среды (достоверной при доверительной вероятности 95%) по сравнению с придорожными газонами участков № 1 и 2.

Общий уровень засоления легкорастворимыми солями, оцениваемый по величине удельной электрической проводимости водной суспензии почвы (ЕС), был одинаковым для всех 4 исследуемых урбаноземов придорожных газонов: величина ЕС в среднем была равна 523 мкСм/см. Это значение в среднем превышает в 3,3 раза величину ЕС почвы центральной части сквера. Коэффициенты вариации этого показателя были значительными (42% в среднем) по всем пяти участкам.

Содержание водорастворимого натрия было ожидаемо минимальным в почве центральной части сквера (УФ) – 18 мг/кг, а максимальным – в урбаноземах всех газонов, окружающих этот сквер (участки № 2–4). Достоверных различий между величинами содержания натрия по этим трём участкам получено не было; среднее значение натрия составило 443 мг/кг, что в 24 раза превышает значение УФ. Содержание натрия в урбаноземах участка № 1 было в 3,4 раза меньше, чем на участках № 2–4 (достоверно при доверительной вероятности 99%), но в 7 раз больше, чем в УФ. Варьирование этого показателя по повторностям было высоким; в среднем по всем участкам коэффициент вариации составил 43%.

Характер изменения содержания водорастворимого хлора по разным участкам, в целом, был аналогичным натрию, однако различия между участками были ещё более контрастными. Среднее содержание хлора в урбаноземах всех трех газонов, окружающих сквер (участки № 2–4) составило 511 мг/кг, что почти в 80 раз больше, чем в УФ. Содержание хлора на участке № 1 (131 мг/кг) занимало промежуточное положение и было в 30 раз больше, чем в УФ. Коэффициент вариации для этого показателя по участкам № 1–4 был в среднем равен 52% и в два раза выше (103%) для участка № 5.

Характер изменения содержания водорастворимых сульфатов и фосфатов в урбаноземах по разным участкам существенно отличался по сравнению с натрием и хлором, наименьшие значения которых были получены в УФ. Содержание сульфатов в почве центральной части Первомайского сквера и всех окружающих его придорожных газонов было сравнительно небольшим и в среднем равно 12,4 мг S/kg, а в урбаноземе придорожного газона участка № 1 было выше почти в 7 раз. Варьирование этого показателя по повторностям было высоким для участков № 3–5 (52% в среднем) и экстремально высоким для участков № 1–2 (147% в среднем).

Содержание водорастворимых фосфатов в почве центральной части сквера было максимальным (7,8 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg), что в 2,4 раза превышает средний уровень фосфатов в урбаноземах всех придорожных газонов (3,3 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg). Различия в содержании этого показателя по участкам № 1–4 были статистически не достоверны. Средний по всем участкам коэффициент вариации значений водорастворимых фосфатов составил 91%.

Таблица 2

Вариационная статистика и дисперсионный анализ данных pH и содержания водорастворимых солей в изученных урбаногемах центральной части г. Новосибирска

№ участка	Древесные культуры на газонах	Среднее арифм.	НСР <sub>05</sub>	НСР <sub>01</sub>	SEM	SD	V, %	Медиана	Асимметрия	Экссесс
pH водный										
1	Берёза	8,05	bc	b	0,055	0,173	2,2	8,09	-0,21	-0,29
2	Липа	8,02	d	b	0,040	0,127	1,6	8,04	0,13	-1,28
3	Лиственница	8,21	cd	b	0,031	0,098	1,2	8,21	-0,53	0,94
4	Яблоня	8,26	d	b	0,051	0,162	2,0	8,20	0,24	-1,30
5	Сквер	7,75	a	a	0,117	0,370	4,8	7,86	-1,38	1,32
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см										
1	Берёза	421	b	b	65,0	205,7	49	358	1,26	0,48
2	Липа	505	b	b	76,2	240,8	48	428	0,58	-1,14
3	Лиственница	566	b	b	46,3	146,5	26	519	1,13	0,45
4	Яблоня	601	b	b	87,1	275,6	46	584	0,53	-0,87
5	Сквер	158	a	a	20,9	66,2	42	132	1,60	1,41
Водорастворимый натрий, мг Na/кг										
1	Берёза	131	a	a	13,9	44,0	34	119	0,94	0,16
2	Липа	405	b	b	63,5	200,8	50	369	0,58	-0,70
3	Лиственница	443	b	b	47,4	150,0	34	407	0,93	0,49
4	Яблоня	482	b	b	80,7	255,1	53	444	0,61	-0,88
5	Сквер	18	a	a	2,8	8,8	47	16	1,31	0,22
Водорастворимый хлор, мг Cl/кг										
1	Берёза	193	a	ab	25,6	81,0	42	176	0,44	-0,66
2	Липа	524	b	bc	98,0	310,0	59	437	0,73	-0,59
3	Лиственница	611	b	c	78,3	247,5	41	518	0,94	-0,18
4	Яблоня	717	b	c	150,9	477,1	67	660	0,45	-1,10
5	Сквер	6	a	a	2,1	6,7	103	4	1,48	1,25
Водорастворимые сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг S/кг										
1	Берёза	81,5	b	a	44,37	140,30	172	26,6	2,29	3,76
2	Липа	19,2	a	a	7,34	23,21	121	9,2	1,79	2,01
3	Лиственница	10,4	a	a	1,15	3,63	35	9,6	0,46	-1,06
4	Яблоня	9,5	a	a	1,33	4,21	44	8,1	1,16	0,03
5	Сквер	10,5	a	a	2,55	8,08	77	9,6	0,73	-0,72
Водорастворимые фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /кг										
1	Берёза	2,44	a	a	0,786	2,485	102	1,77	1,29	0,82
2	Липа	3,31	a	ab	1,016	3,214	97	1,80	1,19	0,16
3	Лиственница	3,97	a	ab	1,754	5,547	140	1,65	1,78	1,58
4	Яблоня	3,44	a	ab	0,495	1,565	46	2,87	0,56	-1,22
5	Сквер	7,82	b	b	1,781	5,632	72	8,93	0,15	-1,12

Примечание.

SEM – стандартная ошибка средней арифметической (ошибка репрезентативности), SD – среднее квадратическое (стандартное) отклонение, V – коэффициент вариации. Разные буквы в столбцах НСР<sub>05</sub> и НСР<sub>01</sub> означают, что различия между средними арифметическими превышают НСР при уровне значимости 0,05 и 0,01 (доверительной вероятности 95% и 99%, соответственно); а одинаковые буквы свидетельствуют об отсутствии достоверных различий.

В отличие от коэффициента вариации, оценивающего степень изменчивости данных внутри выборки (в нашем случае – между десятью повторностями для того или иного участка) или, другими словами, относительную величину разброса данных в выборке от их среднего значения, асимметрия и эксцесс представляют собой статистики, описывающие форму и степень симметричности распределения данных (их отклонение от нормального распределения). Величины коэффициентов асимметрии и эксцесса позволяют получить представление, насколько близка к нормальному (или другому) распределению не только выборочная, но и вся генеральная совокупность.

Коэффициенты асимметрии для пяти изученных химических свойств урбаноземов, кроме водного рН, были положительными и значительными по величине (превышали 0,50) для всех участков. Исключением был лишь низкий коэффициент асимметрии (0,15) для фосфатов участка № 5. Положительная величина коэффициента асимметрии указывает на наличие правосторонней асимметрии (правая ветвь относительно максимальной ординаты вытянута больше, чем левая), что указывает, что справа от центра распределения (моды/модальной вершины) расположено большее количество дат/значений, чем слева. При правосторонней асимметрии между показателями центра распределения существует соотношение: мода < медиана < среднее арифметическое (т.е. на кривой распределения левее расположена мода, далее медиана и правее – среднее арифметическое). Лишь для одного показателя (водный рН) получена отрицательная (левосторонняя) асимметрия для трех участков из пяти.

Эксцесс в статистике используется для описания формы распределения вероятностей; его величина указывает в какой степени значения данных группируются в центре (вблизи пика распределения) или хвостах (краевых участках). При положительных коэффициентах эксцесса форма кривой распределения имеет более острый пик и более тяжелые хвосты по сравнению с нормальным распределением, т.е. меньше значений данных находится рядом со средним значением и больше – на хвостах. При отрицательном коэффициенте эксцесса распределение имеет более плоский пик и более тонкие хвосты по сравнению с нормальным распределением, т.е. больше значений данных находится рядом со средним значением и меньше – на хвостах. В наших исследованиях значения коэффициента эксцесса ровно в половине случаев из 30 (6 показателей × 5 участков) были положительными и в другой половине – отрицательными. Какой-либо закономерности при этом не наблюдалось. Причем в большинстве случаев значения этого коэффициента по модулю были очень существенными (превышали 0,5) и даже достигали таких высоких значений как 3,8 (которое соответствовало самому большому коэффициенту вариации 172%). В связи с полученными высокими коэффициентами асимметрии и эксцесса будет целесообразным при оценке галохимического загрязнения повысить повторность отбора образцов урбаноземов с 10 до 15–20.

При изучении сезонной динамики загрязняющих веществ (содержащих натрия, хлор и другие) во многих исследованиях установлено, что концентрация фитотоксичных элементов в придорожных урбаноземах минимальна осенью и максимальна весной (Czerniawska-Kusza et al., 2004; Лысков, 2005; Якубов, 2006; Cunningham et al., 2008; Пироговская, Хмелевский, 2010). Это легко объяснить, поскольку ПГР применяются исключительно в зимний период, а в течение теплого периода года происходит их постепенное вымывание с осадками из верхнего корнеобитаемого слоя урбаноземов. В нашем случае почвенные образцы были отобраны в конце ноября. Это означает, что обнаруженные нами концентрации анализируемых показателей являются минимальными с точки зрения сезонной динамики этих показателей. Следовательно, полученные нами результаты свидетельствуют о значительном повышении содержания загрязняющих элементов в почвах придорожных газонов безусловно являются достоверными и не вызывают сомнений.

Как мы уже выше отмечали, хлорид натрия является основным компонентом ПГР «Бионорд Универсальный» и иных традиционных ПГР (см. табл. 1). Известно, что действие солей на изменение свойств почвы (в контексте их плодородия) напрямую зависит от их количества, ионного состава и их соотношения (что определяет тип засоления). При оценке солей по степени токсичности по десятибалльной шкале (1 балл – соли с наименьшей токсичностью и 10 баллов – с наибольшей) соли группируются следующим образом:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 1 балл;  $\text{NaHCO}_3$  – 3;  $\text{MgSO}_4$  – 3–5;  $\text{MgCl}_2$  – 3–5;  $\text{NaCl}$  – 5–6;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 10 баллов (Манжина, 2021). Таким образом, в этом ряду хлорид натрия, за исключением карбоната натрия, является наиболее токсичным для растений соединением. В исследуемых нами урбаноземах, судя по рН (менее 9,0 ед.), накопление карбоната натрия (соды) не происходит и, следовательно, потенциальная фитотоксичность урбаноземов может быть обусловлена именно хлоридом натрия.

Хлорид натрия, наряду с другими потенциально токсичными солями, оказывает прямое и косвенное (через изменения ряда свойств почвы) действие на растения. Негативные последствия

внесения высоких доз хлорида натрия в почву заключаются в изменении ее физических и физико-химических свойств: происходит нарушение структуры почвы, разрушение ее агрегатного состава; смещается соотношение катионов в почвенном поглощающем комплексе (увеличивается относительная доля натрия), уровень pH сдвигается в сторону щелочной реакции, что дополнительно способствует диспергированию почвенных коллоидов, в результате чего затрудняется водный обмен почв (кроме почв песчаного и супесчаного гранулометрического состава) и возможность их промывания водой от избытка солей; а также затрудняется поглощение растениями азота и ряда других питательных элементов (включая фосфор), которые становятся менее мобильными в (слабо)щелочной среде (Зубкова и др., 2006; Шевченко и др., 2008; Cunningham et al., 2008; Пироговская, Хмелевский, 2010; Hofman et al., 2012; Руководство ..., 2017; Судник, Яковлев, 2021). Кроме того, повышенные концентрации солей в почве негативно действуют на активность почвенной микробиоты (Руководство ..., 2017; Судник, Яковлев, 2021), которая крайне разнообразна как по своему составу (в филогенетическом аспекте), так и по выполняемым функциям. Полагаем, что высокое содержание хлорида натрия приводит, как минимум, к ухудшению снабжения растений питательными веществами за счёт ингибирования деятельности гетеротрофной почвенной микробиоты, минерализующей почвенное органическое вещество, и фосфатсолобилизирующих бактерий, а также негативно влияет на деятельность эктомикоризных и эндомикоризных почвенных грибов, что особенно важно в нашем случае, поскольку на исследуемых придорожных газонах высажены древесные растения.

Что касается прямого воздействия высоких концентраций солей на растения, то можно выделить два механизма: осмотический и токсический.

Осмотический механизм. Вода поступает в растения из почвы благодаря явлению осмоса (всасывания или прохождения воды через клеточные мембраны корневой системы растений), для эффективного действия которого необходима некоторая разность давлений (или осмотических потенциалов). Повышенные концентрации солей в почве вызывают уменьшение этой разности, в результате чего растения страдают от недостатка воды, точно также, как и при засухе, даже при наличии в почве доступной растениям влаги. Затруднение поступления воды в растения приводит к потере тургора растительных клеток (особенно у тех видов, которые не способны регулировать свой водный потенциал) и неблагоприятным изменениям водно-солевого обмена в клетках и тканях растений. Кроме того, дефицит воды в тканях и избыток ионов, в основном  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , негативно влияют на метаболизм растений, вызывая ионную токсичность и/или ионный дисбаланс в растительных тканях (Физиология ..., 2005; Marschner, 2011; Кулакова, Шабанова, 2019; Судник, Яковлев, 2021).

Механизм токсического действия обусловлен накоплением в клетках растений повышенных концентраций солей (вызывающих сильный окислительный, энергетический и др. стресс в фазу резистентности при сублетальных концентрациях солей) вплоть до гибели растений (при летальных концентрациях). Как мы отмечали выше, хлорид натрия среди других солей отличается повышенной фитотоксичностью, причём как за счёт ионов  $\text{Na}^+$ , так и  $\text{Cl}^-$ . Высокое содержание токсичных ионов в клетках растений приводит к снижению устьичной проводимости листьев и, как следствие, ухудшению фотосинтеза и водного режима, разрушению пигментной системы; нарушению ультраструктуры клеток (в т.ч. происходят изменения в структуре хлоропластов); повреждению мембранных структур (вследствие чего возрастает ее проницаемость, теряется способность к избирательному поступлению веществ); затруднению ассимиляции таких необходимых для жизни растений катионов как калий и кальций; нарушению процессов обмена веществ (благодаря чему в клетках накапливается аммиак и другие токсины). Визуальное проявление токсичности можно наблюдать по образованиям на хвое и стеблях некрозов, замедлению роста побегов, преждевременному опадению листьев и хвои, усыханию и гибели деревьев и кустарников, изменению видового состава фитоценоза (Иванищев, 2019; Судник, Яковлев, 2021).

Многими исследователями установлено повышение содержания ионов натрия и хлора в урбаноземах придорожных территорий в пределах до 150 м от края проезжей части, что связано с применением противогололедных реагентов в холодное время года. При этом, по мере удаления от дорожного полотна на расстояние более 5–10 м отмечается резкое снижение содержания этих фитотоксичных ионов (особенно натрия) (Якубов, 2006; Cunningham et al., 2008; Пироговская, Хмелевский, 2010; Лыиков, 2017; Судник, Вознячук, 2020). На расстоянии 1–5 м от дорог выявлены повышенные значения содержания водорастворимого натрия в придорожных урбаноземах (в поверхностном слое до 10–25 см) самых разнообразных локаций: вблизи ряда автомагистралей между городами Республики Беларусь – в среднем 46 мг/кг в слое 0–10 см, коэффициент вариации ( $V$ ) = 110% и 37 мг/кг в слое 10–20 см,  $V$  = 155% (Судник, Вознячук, 2020); вблизи ряда автомагистралей между городами США – 100–150 мг/кг (Cunningham et al., 2008); в г. Минске – 98–217 мг/кг (Пироговская,

Хмелевский, 2010); в г. Ополе, Польша – 132–330 мг/кг (Czerniawska-Kusza et al., 2004); в г. Туле – до 310 мг/кг (Осина и др., 2023); в придорожных сосновых насаждениях МКАД (г. Москва) – около 370 мг/кг (Лысиков, 2017); в пределах Западного административного округа г. Москвы: МКАД – в среднем 136 мг/кг,  $V = 29\%$ , крупные автомагистрали – 193 мг/кг,  $V = 22\%$ , внутрирайонная дорожная сеть – 166 мг/кг,  $V = 25\%$  (Кошелева и др., 2018); в пределах Центрального и Юго-Восточного административных округов г. Москвы – в среднем 1044 мг/кг,  $V = 33\%$  (Мальшева и др., 2018); в г. Москве – от 234 и до 1430 мг/кг (Изменения ..., 2022).

Аналогично натрию, повышенные значения содержания водорастворимого хлора обнаружены в различных урбаноземах (в поверхностном слое до 10–25 см) на расстоянии 1–5 м от дорог: вблизи ряда автомагистралей между городами Республики Беларусь – в среднем 58 мг/кг в слое 0–10 см,  $V = 60\%$  и 51 мг/кг в слое 10–20 см,  $V = 94\%$  (Судник, Вознячук, 2020); в г. Туле – до 220 мг/кг (Осина и др., 2023); в г. Минске – 122–273 мг/кг (Пироговская, Хмелевский, 2010); в г. Ополе, Польша – 120–480 мг/кг (Czerniawska-Kusza et al., 2004); в пределах Западного административного округа г. Москвы: МКАД – в среднем 88 мг/кг,  $V = 47\%$ , крупные автомагистрали – 117 мг/кг,  $V = 38\%$ , внутрирайонная дорожная сеть – 78 мг/кг,  $V = 59\%$  (Кошелева и др., 2018); в пределах Центрального и Юго-Восточного административных округов г. Москвы – в среднем 975 мг/кг, коэффициент вариации – 30% (Мальшева и др., 2018); в придорожных сосновых насаждениях МКАД (г. Москва) – около 950 мг/кг (Лысиков, 2017).

Ряд вышеперечисленных данных приведён авторами соответствующих публикаций в расчёте на смоль(экв)/кг или ммоль(экв)/100 г почвы. Нами сделан пересчёт этих данных в мг/кг для удобства сравнения. По этой же причине мы пересчитали полученные нами данные из мг/кг в другие единицы, используемые различными исследователями (табл. 3).

Таблица 3

Среднее арифметическое содержание водорастворимых ионов в изученных урбаноземах центральной части г. Новосибирска

№ участка	Древесные культуры на газонах	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Анионы в сумме	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		смоль(экв)/кг					мг/кг	
1	Берёза	0,57	0,54	0,255	0,0017	0,80	244,6	1,63
2	Липа	1,76	1,48	0,060	0,0023	1,54	57,7	2,22
3	Лиственница	1,93	1,72	0,032	0,0028	1,76	31,2	2,66
4	Яблоня	2,10	2,02	0,030	0,0024	2,05	28,7	2,30
5	Сквер	0,08	0,02	0,033	0,0055	0,06	31,6	5,23

Полученные нами величины содержания натрия и хлора в урбаноземах придорожных газонов (1–2 м от края дорожного полотна) 131–482 мг Na/кг и 193–717 мг Cl/кг находятся в пределах вышеприведённых данных, установленных другими исследователями. Интересно отметить, что в ряде случаев концентрация натрия превышает концентрацию хлора, иногда они равны (Мальшева и др., 2018), а иногда отмечается более чем двукратное превышение содержания хлора над натрием (Лысиков, 2017). Полагаем, что это зависит как от химического состава применяемых ПГР, так и времени отбора образцов для анализа, поскольку хлор легче вымывается из верхнего слоя урбаноземов с жидкими осадками тёплого периода. В наших исследованиях концентрация хлора в урбаноземах была на 30–50% выше концентрации натрия.

К сожалению, в настоящее время отсутствуют гигиенические нормативы по допустимым концентрациям водорастворимых форм натрия, хлоридов и сульфатов для оценки степени загрязнения ими почв (Пироговская, Хмелевский, 2010). Однако, учитывая важность знания критического уровня содержания фитотоксичных элементов в почве, ряд исследователей предлагает использовать хотя бы их оценочные величины.

На примере липы мелколистной (*Tilia cordata* L.) I. Czerniawska-Kusza с соавторами (2004) установили, что симптомы солевого повреждения (хлороз и некроз края листовых пластинок) проявляются при концентрации в почве водорастворимых натрия и хлора в количествах 132 мг/кг и 39 мг/кг, соответственно, а содержание 260 мг Na/кг и 120 мг Cl/кг вызывает уже обширный некроз листьев и дефолиацию. А.Б. Лысиков (2017), ссылаясь на две публикации, приводит допустимые



величины содержания натрия в корнеобитаемом слое почвы 260 мг/кг (Состояние ..., 2004), а хлора – 200 мг/кг (Серебряноборское ..., 2010). Е.А. Сидорович с соавторами (2004) отмечает, что «порог токсичности», то есть предельное содержание хлора в почве, выше которого начинается угнетение роста и развития растений, составляет 100 мг/кг почвы. На примере яровых зерновых культур установлено, что визуальными диагностируемыми признаками угнетения растений и снижение продуктивности на 30–35% проявляются при содержании водорастворимого натрия в почве 250–300 мг/кг, а хлор вызывает существенное снижение (на 20–28%) продуктивности растений при его концентрациях в почве 350–400 мг/кг (Головатый и др., 2008). При изучении влияния ПГР на различных площадках в г. Москва вблизи основных трасс было предложено ранжировать урбаноземы по содержанию ионов натрия на три группы: с низким содержанием 46–161 мг/кг, со средним – 552–667 мг/кг, с высоким – 1035–1564 мг/кг (Изменения ..., 2022). Очевидно, что применение ПГР в г. Москве имеет более длительную историю (и ПГР вносили в большем количестве) по сравнению с другими российскими городами. В утверждённом постановлении Правительства г. Москвы от 27.07.2004 г. № 514-ПП «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» приводится величина содержания хлоридов 1680 мг/кг в качестве «норматива» (Доклад ..., 2018), который, вероятно, следует понимать, как «критическая концентрация». В том же документе отмечено, что ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) для хлора составляет 100 мг/кг (Доклад ..., 2018). В.Г. Петров с соавторами (2019) подошёл к расчёту предельно допустимой концентрации (ПДК) хлора через опубликованную ПДК для KCl, равную 360 мг/кг (Предельно ..., 2006). Однако авторы не учли, что указанная величина рассчитана по K<sub>2</sub>O. Учитывая это, ПДК для хлора составляет 135,5 мг/кг, а не 171,5 мг/кг, как приведено в статье (Петров и др., 2019).

Таким образом, в опубликованных работах приводятся довольно различающиеся величины критических содержаний водорастворимых натрия и хлора в почве, при которых происходит угнетение жизнедеятельности растений. Анализ литературных данных позволяет нам сделать экспертную оценку, что таким критическим уровням соответствуют значения 300 мг/кг для натрия и 200 мг/кг для хлора. Учитывая эти значения, обнаруженные нами концентрации обоих фитотоксичных ионов (натрия и хлора) в придорожных урбаноземах всех трех участков, окружающих Первомайский сквер, превышают соответствующие критические уровни. В урбаноземах участка № 1 (в начале Красного проспекта) содержание натрия ниже критического уровня, а хлора – практически равно ему.

Отметим, что между концентрациями водорастворимых натрия и хлора в исследуемых нами урбаноземах ( $n = 50$ ) получена положительная корреляционная связь с очень высоким (0,96) коэффициентом корреляции (табл. 4). Достоверная корреляционная взаимозависимость содержания натрия с хлором в почве, а также со степенью повреждения растений была установлена многими исследователями (Цит. по: Czerniawska-Kusza et al., 2004).

Таблица 4

Матрица парных корреляций Пирсона химических свойств изученных урбаноземов

Показатели	pH	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
ЕС	0,21	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	<b>0,31</b>	-0,18
pH		<b>0,35</b>	<b>0,30</b>	-0,20	-0,09
Na <sup>+</sup>			<b>0,96</b>	-0,10	-0,15
Cl <sup>-</sup>				-0,08	-0,07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					-0,17

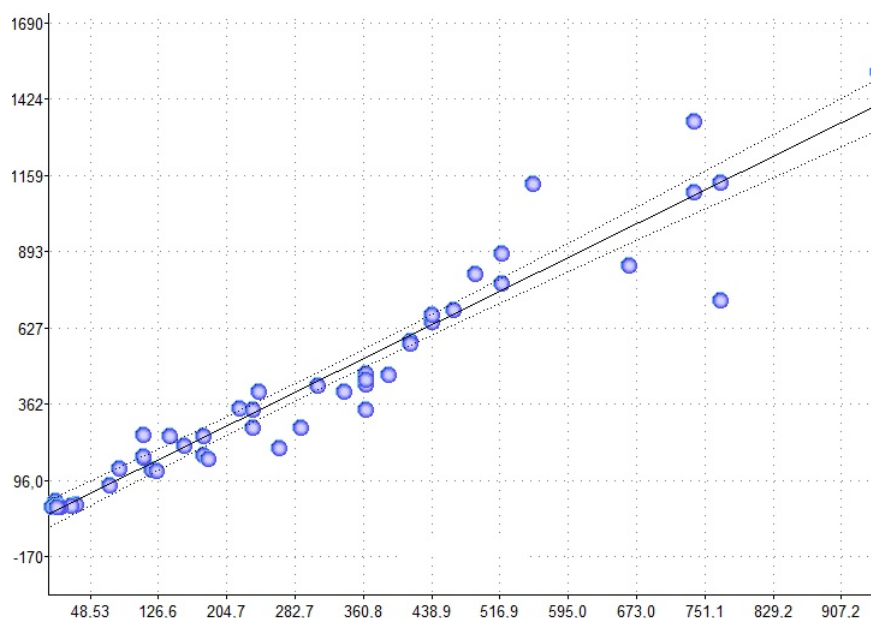
Примечание.

Пороги достоверности коэффициентов корреляции (R) при доверительной вероятности 95% и 99% равны 0,279 и 0,361 соответственно. Жирным выделены статистически значимые величины.

Зависимость содержания хлора от натрия для наших экспериментальных данных описывается простым уравнением линейной регрессии:  $Cl = 1,503 \times Na - 34,655$  (где концентрации Cl и Na представлены в мг/кг) с коэффициентом детерминации 0,92 (рис. 1), т.е. варьирование содержания хлора в урбаноземах на 92% определяется содержанием натрия и наоборот.

Содержание и натрия, и хлора достоверно коррелировало с удельной электропроводностью водных суспензий почв (ЕС): коэффициенты корреляции были соответственно равны 0,87 и 0,90 (табл. 4), а коэффициенты детерминации – 0,76 и 0,81, соответственно. Это закономерно, поскольку электропроводность напрямую зависит от общей концентрации ионов, переходящих в водную

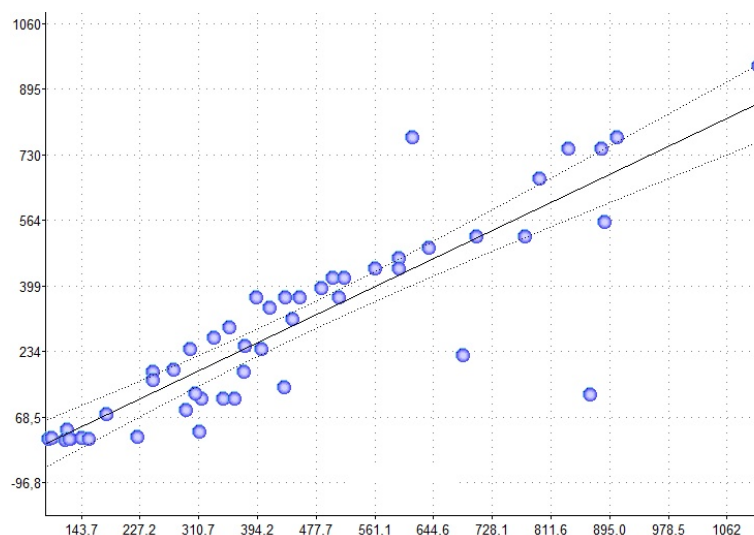
вытяжку и, поэтому, характеризует общее количество легкорастворимых солей. Это показывает, что роль других ионов (кроме натрия и хлора) в составе водорастворимых солей незначительна. На это же указывает отсутствие достоверной зависимости между ЕС и фосфат-анионами, слабая корреляционная связь ЕС и сульфат-анионами (см. табл. 4). На рисунке 2 представлена линия регрессии зависимости содержания натрия от ЕС, описываемая линейным уравнением  $Na = 0,846 \times EC - 85,262$  (где концентрация Na представлена в мг/кг, а ЕС – в мкСм/см).



**Рисунок 1.** Регрессионная зависимость содержания водорастворимого хлора (мг/кг) от содержания водорастворимого натрия (мг/кг):  $Cl = 1,503 \times Na - 34,655$  ( $R^2 = 0,92$ ).

Полученные значения ЕС в урбаноземах всех четырёх придорожных газонов достоверно не различались между собой и в среднем были равны 523 мкСм/см. Для ЕС, при её определении по ГОСТ 26423-85 (т.е. соотношении почва : раствор = 1 : 5), отсутствуют градации степени засоленности почвы. В литературе имеется шкала/градация засоленности почв, определенной при соотношении почва : раствор 1 : 2, применительно к потенциальным рискам выращивания деревьев и кустарников (Scianna et al., 2007). В соответствии с этой шкалой почва с величиной ЕС 500-1000 мкСм/см соответствует градации «умеренно засоленная» с «высоким» потенциальным риском выращивания деревьев и кустарников, а с величиной ЕС > 1000 мкСм/см соответствует градации «сильно засоленная» с «экстремально высоким» потенциальным риском выращивания деревьев и кустарников. Однако, поскольку мы использовали разведение почва : раствор, равное 1 : 5, то можно с уверенностью допустить, что значения ЕС, соответствующие вышеприведённым градациям сместятся в сторону более низких значений. Таким образом, мы полагаем, что засоленность изученных придорожных урбаноземов (участки № 1–4) находится на границе градаций «умеренно засоленная» и «сильно засоленная» и, соответственно, с «высоким» «экстремально высоким» потенциальным риском выращивания деревьев и кустарников.

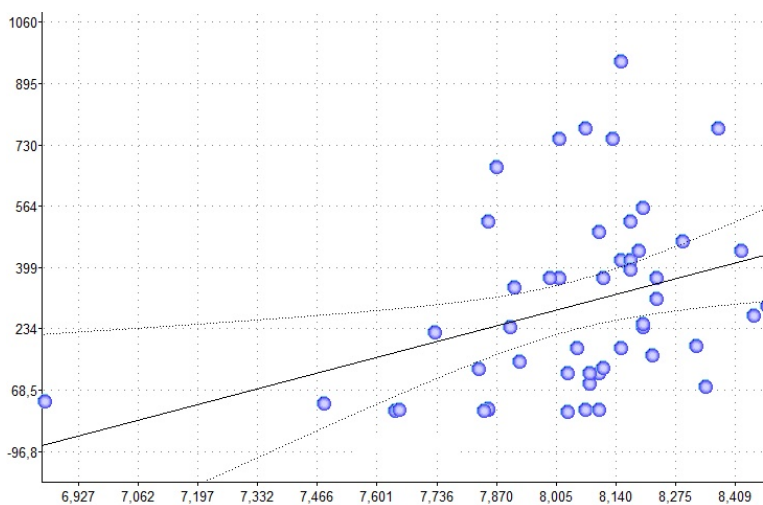
Актуальную кислотность/щёлочность почвы оценивали по величине водного рН. Наиболее распространёнными зональными почвами, окружающими г. Новосибирск, являются серые лесные и чернозёмы выщелоченные/оподзоленные со средней величиной водного рН 6,6 (Хмелев, Танасиенко, 2009), которую можно принять как естественное/природное фоновое значение. Полученные нами величины рН для центральной части Первомайского сквера варьируют по повторностям в пределах от 6,9 до 8,1 со средним арифметическим 7,7, что на 1,0 ед. рН превышает фоновое значение. Таким образом, даже внутренняя часть сквера характеризуется изменёнными физико-химическими свойствами почв (т.е. является антропогенно преобразованной), что подтверждает правильность определения этой почвы как «урбанозем». По сравнению со слабощелочной реакцией среды почв центральной части сквера, придорожные газоны соответствуют градации «умеренно щелочных почв». Причём в урбаноземах участков № 1 и 2 превышение величины рН по сравнению с фоновой почвой составило 1,3 ед., а участков № 3 и 4 – 1,5, а по сравнению с центральной частью сквера – 0,3–0,5 ед.



**Рисунок 2.** Регрессионная зависимость содержания водорастворимого натрия (мг/кг) от удельной электрической проводимости (ЕС, мкСм/см):  $Na = 0,846 \times EC - 85,262$  ( $R^2 = 0,76$ ).

Наши выводы о подщелачивании городских и, особенно, придорожных почв, подвергающихся прямому действию ПГР, совпадают с результатами многих исследований в крупных городах. При сравнении реакции среды придорожных почв трех автомобильных дорог (с интенсивным движением) г. Москвы с прилегающими внутригородскими лесопарковыми массивами, получено повышение величины водного рН в среднем на 0,6 ед. (Кулакова, Шабанова, 2019). По сравнению с фоновой (незагрязненной) почвой вблизи г. Москвы, различные исследователи отмечают повышение величины водного рН на 1,2–1,7 ед. в придорожных почвах Западного административного округа при использовании ПГР (Кошелева и др., 2018); на 1,4 ед. в почвах внутригородских лесопарковых массивов и на 2,3 ед. в почвах придорожных газонов Центрального и Юго-Восточного административных округов (Малышева и др., 2018); на 1,8–3,4 ед. в придорожных газонах г. Москвы в связи с применением ПГР (Изменения ..., 2022).

В наших исследованиях между водным рН и содержанием водорастворимых натрия и хлора была получена положительная корреляционная связь, но только при 95% доверительной вероятности: коэффициенты корреляции были соответственно равны 0,35 и 0,30. Зависимость содержания натрия от водного рН описывается простым уравнением линейной регрессии  $Na = 314,6 \times pH - 2239,0$  (где концентрация Na представлена в мг/кг, а водный рН – в единицах рН) (рис. 3). При этом коэффициент детерминации, хотя и достоверен (при 95% доверительной вероятности), но представляет собой незначительную величину (0,12).



**Рисунок 3.** Регрессионная зависимость содержания водорастворимого натрия (мг/кг) от водного рН:  $Na = 314,6 \times pH - 2239,0$  ( $R^2 = 0,12$ ).

Содержание водорастворимых сульфатов в урбаноземах всех придорожных газонов, окружающих Первомайский сквер, и в центральной части этого сквера было одинаковым (достоверные различия отсутствовали) и в среднем составило 12,4 мг S/kg. В придорожном газоне начала Красного проспекта (участок № 1) содержание сульфатов было почти в 7 раз выше. В связи с отсутствием данных по истории использования этих участков г. Новосибирска в прошлом, интерпретировать такую большую разницу в содержании сульфатов нам не представляется возможным.

Наиболее часто встречаемая величина содержания сульфатов в городских почвах Республики Беларусь варьирует в пределах 35–70 мг/kg (Хомич и др., 2004). В наших исследованиях для участков № 2–5 содержание сульфатов находилось практически в том же диапазоне: 29–58 мг SO<sub>4</sub>/kg (см. табл. 3). Ряд исследователей, изучавших сульфаты в урбаноземах г. Минска, не обнаружили явно выраженной зависимости между содержанием сульфатов и дистанцией (удалённостью) от дорожных покрытий, а также сезонностью и годом наблюдения (Пироговская, Хмелевский, 2010). В Центральном и Юго-Восточном административном округах г. Москвы содержание сульфатов в урбаноземах парков и скверов находилось в диапазоне 490–989 мг SO<sub>4</sub>/kg (710 мг SO<sub>4</sub>/kg в среднем), а в урбаноземах придорожных газонов было несколько выше – 682–1334 мг SO<sub>4</sub>/kg (922 мг SO<sub>4</sub>/kg в среднем) (Мальшева и др., 2018). Эти значения существенно превышают обнаруженное нами в г. Новосибирске максимальное содержание сульфатов на участке № 1 – 245 мг SO<sub>4</sub>/kg.

Гигиенические нормативы для водорастворимой сульфатной серы отсутствуют, но приводятся данные о ПДК для валового содержания серы и серной кислоты (в пересчёте на серу) в почве – 160 мг/kg (Предельно ..., 2006). В фоновых (незагрязнённых) почвах вблизи г. Новосибирска – черноземах выщелоченных глинисто-иллювиальных, содержание валовой серы обычно варьирует в пределах 300–400 мг/kg. Поэтому использовать опубликованный/утверждённый ПДК на серу (Предельно ..., 2006) для оценки степени загрязнения почвы водорастворимыми (потенциально фитотоксичными в повышенных количествах) сульфатами не представляется возможным.

Содержание сульфатов в наших исследованиях слабо коррелирует (при 95% доверительной вероятности) с удельной электропроводностью водной суспензии почвы ( $R = 0,31$ ); с другими показателями достоверной связи получено не было.

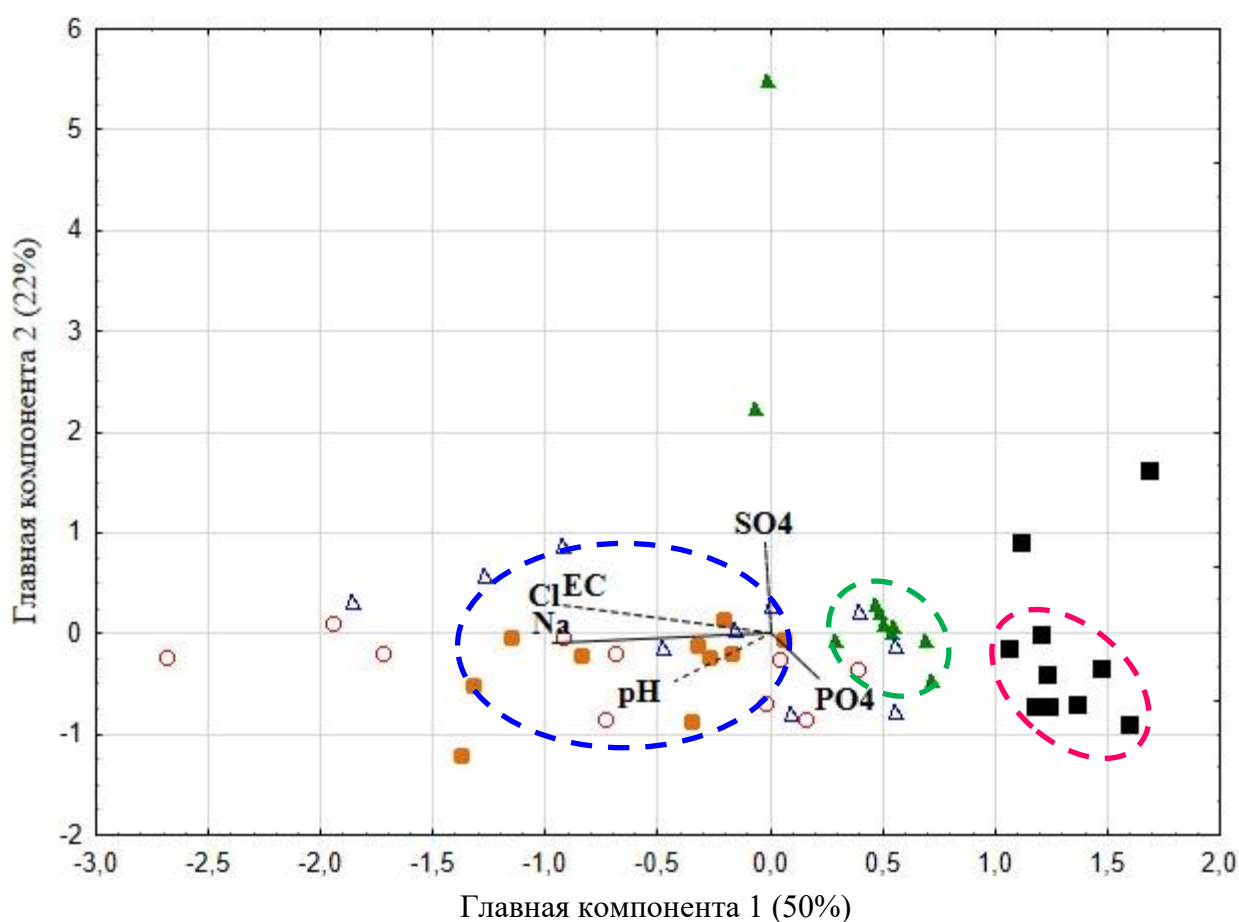
Содержание водорастворимых фосфатов в исследуемых урбаноземах было, в целом, очень высоким по сравнению с агрогенными почвами сельскохозяйственных экосистем Новосибирской области. В урбаноземах всех придорожных газонов (участки № 1–4) содержание фосфатов в среднем составило 2,2 мг PO<sub>4</sub>/kg (табл. 3), что в пересчёте равно 3,3 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg (табл. 2). Достоверных различий в содержании фосфатов между этими участками получено не было. Зато, в почве центральной части Первомайского сквера содержание фосфатов было в 2,4 раза выше, что вероятно обусловлено ненормированным предшествующим внесением повышенных доз фосфорных удобрений под древесные насаждения в сквере. Содержание фосфатов достоверно не коррелировало ни с одним другим анализируемым показателем свойств почвы.

При расчете зависимости суммы четырех анализируемых ионов (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), выраженных в смоль(экв)/kg, от удельной электропроводности (ЕС) получено уравнение линейной регрессии  $SI = 0,0078 \times EC - 0,985$  (где SI (сумма ионов) представлена в смоль(экв)/kg, а ЕС – в мкСм/см). Зависимость между ЕС и суммой ионов была несколько более тесная ( $R^2 = 0,87$ ), чем с отдельно натрием ( $R^2 = 0,76$ ) или с хлором ( $R^2 = 0,81$ ).

Полученные нами экспериментальные данные были обработаны методом главных компонент. Этот метод представляет собой технологию многомерного статистического анализа, используемую для сокращения размерности пространства признаков с минимальной потерей полезной информации. Другими словами, это один из основных способов уменьшить размерность данных, потеряв наименьшее количество информации. С математической точки зрения метод главных компонент представляет собой ортогональное линейное преобразование, которое отображает данные из исходного пространства признаков (переменных) в новое пространство меньшей размерности. При этом первая ось новой системы координат строится таким образом, чтобы дисперсия данных вдоль неё была максимальна (т.е. «брала на себя» максимальную дисперсию). Вторая ось строится ортогонально первой так, чтобы дисперсия данных вдоль неё, была максимальной из оставшихся возможных (т.е. «вытаскивала» оставшуюся после 1-ой максимальной дисперсию). Первая ось называется первой главной компонентой, вторая – второй главной компонентой. Чем ближе расположены точки (переменные/признаки или образцы/повторности, или и те, и другие) в плоскости главных компонент, тем ближе между ними связь.

Анализ данных методом главных компонент наглядно демонстрирует, что два участка из пяти существенно отличаются от остальных. Точки/повторности участка №5 (центральная часть Первомайского сквера) расположены обособленно и занимают квадрат с координатами между +1,0 и +1,5 на оси 1-ой главной компоненты и между 0,0 и -1,0 на оси 2-ой главной компоненты (рис. 4). Точки/повторности участка № 1 (начало Красного проспекта) также расположены на положительной части оси 1-ой главной компоненты, но вблизи значения +0,5 и около значения 0,0 по оси 2-ой главной компоненты. На плоскости двух первых компонент (рис. 4) мы объединили соответствующие выборки (исключив по два выброса из каждой выборки) овалами разного цвета для повышения наглядности представления полученных результатов этим методом статистического анализа.

Для трех других участков большая часть точек/повторностей расположена в отрицательной части оси 1-ой главной компоненты. Более «кучно» расположены точки/повторности для участка № 3 (придорожный газон у Первомайского сквера вдоль ул. Максима Горького). Для участков № 2 и № 4 (придорожные газоны у Первомайского сквера вдоль Красного проспекта и ул. Советской, соответственно) характерен гораздо больший разброс на плоскости главных компонент: от -2,0 до +0,5 по оси 1-ой главной компоненты и от -1,0 до +1,0 по оси 2-ой главной компоненты (рис. 4).



**Рисунок 4.** Расположение объектов (образцы урбаноземов в 10-кратной повторности с 5 участков) и измеряемых показателей в плоскости двух первых главных компонент.

▲ - Участок № 1; ▲ - Участок № 2; ● - Участок № 3; ○ - Участок № 4; ■ - Участок № 5.

Таким образом, несмотря на различную глубину отбора образцов урбаноземов участков № 2–4 (всех трех придорожных газонов у Первомайского сквера) и даже их визуальное отличие (по гранулометрическому составу, структуре, содержанию органического вещества) метод главных компонент выявил их сходство, что вероятно обусловлено одинаковыми по времени и дозам обработками ПГР дорожного полотна вдоль всех трех участков, в связи с чем почвы этих придорожных газонов получили одинаковое количество загрязняющих фитотоксичных элементов, входящих в состав данного ПГР.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью проведённой работы было оценить влияние применения натрий- и хлорсодержащих противогололёдных реагентов (ПГР) на загрязнение почв придорожных газонов в центральной части г. Новосибирска. Поскольку у нас отсутствуют достоверные сведения о количестве и разновидностях вносимых ПГР в пределах исследуемой территории в последние годы, мы не можем с уверенностью вычленить влияние ПГР «Бионорд» среди других ПГР. Однако, учитывая, что химический состав применяемых ПГР относительно однороден (включает преимущественно ионы Cl и Na), то сделанные нами выводы об изменениях химических и физико-химических свойств урбаноземов под влиянием ПГР, следует отнести в целом к противогололёдным реагентам, основным действующим веществом которых является хлорид натрия.

Применение ПГР на центральных улицах г. Новосибирска привело к небольшому, но достоверному повышению величин водного pH почвы придорожных газонов до градации «умеренно щелочные», по сравнению с почвой центральной части Первомайского сквера, реакция среды которой соответствует градации «слабощелочные».

Значительно больший негативный эффект от использования ПГР был получен для удельной электрической проводимости водной суспензии почв (ЕС), характеризующей общий уровень их засоления легкорастворимыми солями. Среднее значение ЕС (523 мкСм/см) для урбаноземов придорожных газонов (участки № 1–4) в 3,3 раза превышало величину ЕС почвы центральной части сквера (участок № 5). С помощью простых уравнений линейной регрессии через ЕС можно корректно и с высокой достоверностью рассчитать содержание в урбаноземах натрия ( $R^2 = 0,76$ ), хлора ( $R^2 = 0,81$ ) и суммы четырех ионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{PO}_4^{2-}$ ), выраженных в смоль(экв)/кг ( $R^2 = 0,87$ ).

Возможно, вследствие разных дозировок применения ПГР на улицах г. Новосибирска, содержание водорастворимого натрия в урбаноземе придорожного газона, расположенного в начале Красного проспекта (участок № 1), было в среднем в 3,4 раза меньше, чем в урбаноземах трех придорожных газонов, окружающих Первомайский сквер (участки № 2–4). По сравнению с центральной частью этого сквера (участок № 5), содержание водорастворимого натрия в урбаноземе участка № 1 было выше в 7 раз, а на участках № 2–4 – в среднем в 24 раза.

Ещё более контрастные различия от внесения ПГР проявляются при анализе содержания водорастворимого хлора на разных участках. Среднее содержание хлора в урбаноземах всех трех газонов, окружающих Первомайский сквер (участки № 2–4), составило 511 мг/кг, что почти в 80 раз больше, чем в центральной части этого сквера. Содержание хлора в урбаноземах участка № 1 (131 мг/кг) занимало промежуточное положение и было в 30 раз больше, чем в центре сквера.

Содержание водорастворимых сульфатов и фосфатов в урбаноземах г. Новосибирска не зависело от применения ПГР «Бионорд» или иных ПГР.

Благодаря установленной высокой зависимости содержания водорастворимых форм фитотоксичных катионов и анионов (прежде всего Na и Cl) от удельной электрической проводимости водной суспензии почвы (ЕС), в дальнейшем, для «грубой» оценки галохимического загрязнения урбаноземов можно ограничиваться их анализом только на показатель ЕС.

Для уточнения степени загрязнения урбаноземов (в рамках планового мониторинга) предлагаем определять содержание водорастворимого хлора, поскольку этот показатель (1) очень тесно коррелирует с водорастворимым натрием (с коэффициентом корреляции 0,96), т.е. дополнительное определение натрия не требуется; (2) является более контрастным по сравнению с натрием (т.е. позволяет выявить более «тонкие» различия в уровне загрязнения между отдельными локациями); (3) дешевле при анализе потенциометрическим способом с хлорид-селективным электродом, по сравнению с определением натрия на пламенном фотометре или атомно-абсорбционном спектрометре. Отметим, что этот полученный нами вывод справедлив в случае позднесеннего отбора образцов урбаноземов. При других сроках отбора образцов (весной или летом) необходимо проведение дополнительных исследований из-за высокой мобильности хлора в почве, обеспечивающей его нисходящую миграцию вплоть до полного выщелачивания за пределы корнеобитаемого слоя.

В связи с полученными высокими коэффициентами асимметрии и эксцесса (более 0,5) рекомендуем при оценке галохимического загрязнения выполнять отбор образцов урбаноземов в 15–20-кратной повторности.

В целях снижения негативного воздействия соледержащих ПГР на свойства урбаноземов рекомендуем проведение гипсования, благодаря которому происходит насыщение почвенно-поглощающего комплекса кальцием и, соответственно, снижается относительная доля обменного натрия, что приводит к улучшению физических и физико-химических свойств урбаноземов.

Дополнительным рекультивационным мероприятием для урбаноземов с высокими концентрациями хлора и натрия является внесение мелиорантов с высоким содержанием органического вещества, причём как легкоразлагаемой его фракции для активизации микробиологических процессов в почве, так и труднорастворимой для улучшения ее структуры.

В весенний период после снеготаяния рекомендуем осуществлять обмыв кроны и обильный полив для ускорения промывания корнеобитаемого слоя урбаноземов от легкорастворимых ионов натрия и хлора.

Оптимальным вариантом решения проблемы успешного сохранения зелёных насаждений г. Новосибирска при галохимическом загрязнении урбаноземов является сочетание трех составляющих: (1) постоянный мониторинг уровня загрязнения городских почв; (2) проведение вышеуказанных рекультивационных мероприятий; (3) использование для озеленения ассортимента местных и интродуцированных видов деревьев и кустарников (способных выдерживать погодные условия г. Новосибирска), отличающихся повышенной толерантностью к загрязнению натрий- и хлорсодержащими солями.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую признательность инженеру лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН Крыловой А.А. за помощь в выполнении анализов почвенных образцов и оформлении рукописи настоящей статьи.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700309-1) и частично за счёт Договора № 182/12-2023 на проведение анализа почвенных образцов с целью оценки влияния применения хлорсодержащих препаратов на дорожных покрытиях на загрязнение почв между Муниципальным автономным учреждением города Новосибирска «Горзеленхоз» и ИПА СО РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

Водянова М.А., Крятов И.А., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Ушаков Д.И., Сбитнев А.В. Эколого-гигиеническая оценка качества почв урбанизированных территорий // Гигиена и санитария. 2016. Том 95. № 10. С. 913–916. <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-913-916>

Головатый С.Е., Ковалевич З.С., Лукашенко Н.К., Вишняков Р.В. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 2. Натрий // Почвоведение и агрохимия. 2008. № 2 (41) С. 244–255.

Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году». Под ред. А.О. Кульбачевского. Москва: ДПиООС, 2018. 358 с.

Зубкова Т.А., Манучарова А.С., Черноморченко Н.И., Костарев И.А. Влияние легкорастворимых солей на структурные свойства минеральных систем // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2006. № 2. С. 20–25.

Иванищев В.В. О механизмах солеустойчивости растений и специфике влияния засоления // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019. № 4. С. 76–88.

Изменения химических характеристик почв Москвы с применением противогололедных реагентов. ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения». 26.05.2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://fcrisk.ru/forums/node/1161> (дата обращения 13.02.2024).

Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Кошелева Н.Е., Дорохова М.Ф., Кузьминская Н.Ю., Рыжов А.В., Касимов Н.С. Влияние автотранспорта на экологическое состояние почв в западном административном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 2. С. 16–27.

Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Водянова М.А., Русаков Н.В., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Ушаков Д.И., Матвеева И.С., Воробьева О.В., Цапкова Н.Н. Методические подходы к обоснованию гигиенических требований к применению противогололедных материалов // Гигиена и санитария. 2014. Том 93. № 6. С. 52–54.

Кулакова Н.Ю., Шабанова Н.П. Засоление почв – одна из проблем городского озеленения // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник материалов конференции. 2019. № 54. С. 127–131.

- Лопатина Т.С., Александрова Ю.В., Анищенко О.В., Грибовская И.В., Оськина Н.А., Зотина Т.А., Задерев Е.С. Влияние растворов противогололедной смеси на *Moina macroscopa* и *Allium* сера в биотестовом эксперименте // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 51. С. 162–178. <http://doi.org/10.17223/19988591/51/9>
- Лысыков А.Б. Динамика загрязнения почв сосновых насаждений в зоне Московской кольцевой автодороги // Лесоведение. 2005. № 5. С. 18–24.
- Лысыков А.Б. Влияние противогололедных реагентов на состояние почвы придорожных сосняков Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. № 6. С. 446–451. <http://doi.org/10.7868/S0024114817060079>
- Мальшева А.Г., Шелепова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Ушакова О. В., Юдин С.М. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололедных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы) // Гигиена и санитария. 2018. Том 97. № 11. С. 1032–1037. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-11-1032-37>
- Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Том 11. № 3. С. 163–181. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181>
- Наместникова О.В., Бузаева М.В. Мониторинг засоления почв в системе обеспечения экологической безопасности крупного города // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (30). С. 44–52.
- Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Экологические последствия применения противогололедных реагентов для почв восточного округа Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 3. С. 40–49.
- Николаев Ю.Н., Шестакова Т.В., Бычкова А.Ю., Маркова Ю.Л., Лубкова Т.Н. Яникиева О.Е. Солевое загрязнение почв и растительности в НП «Лосиный остров» // Новые идеи в науках о Земле. Тезисы докладов V Международной конференции. 2001. Том 4. С. 44–54.
- Осина К.В., Арляпов В.А., Горелова С.В. Анионно-катионный состав почв урбанизированных экосистем тульской области // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 24–37.
- Петров В.Г., Ханнанов Д.А., Балицкий Я.А. Подвижность хлорид-ионов в дерново-подзолистой почве при загрязнении хлоридами щелочных металлов // Химическая физика и мезоскопия. 2019. Том 21. № 2. С. 290–295. <https://doi.org/10.15350/17270529.2019.2.31>
- Пироговская Г.В., Хмелевский С.С. Содержание натрия, хлоридов и сульфатов в почвах г. Минска // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 1. С. 243–254.
- Полевой определитель почв. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы, ГН 2.1.7.2041–06. Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- Противогололедные материалы «Бионорд» (СТО 001-80119761-2010). Уральский завод противогололедных материалов. Пермь, 2016. 29 с. URL: [https://bionord.store/upload/iblock/f42/\\_-\\_-\\_-\\_-\\_-2018\\_19.pdf](https://bionord.store/upload/iblock/f42/_-_-_-_-_-2018_19.pdf) (дата обращения 07.03.2024).
- Руководство по управлению засоленными почвами / Под редакцией Р. Варгаса, Е.И. Панковой, С.А. Балюка, П.В. Красильникова, Г.М. Хасанхановой. ФАО, Рим, 2017. 153 с.
- Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 260 с.
- Сидорович Е.А., Арабей Н.М., Кирковский К.К. и др. Аккумуляция ионов хлора почвами и ассимиляционными органами деревьев в городских насаждениях Минска // Проблемы озеленения городов: альманах. Москва: Прима-М, 2004. Выпуск 10. С. 203–207.
- Состояние зеленых насаждений в Москве (по данным мониторинга 2003 г.) / Под ред. Х.Г. Якубова. Москва: Прима-М, 2004. 224 с.
- Судник А.В., Вознячук И.П. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах // Лесной вестник. 2020. Том 24. № 6. С. 83–95. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-83-95>
- Судник А.В., Яковлев А.П. О последствиях применения в качестве противогололедного реагента хлорида натрия на состояние насаждений вдоль улиц и дорог в г. Минске // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты. Минск: БГУ, 2021. С. 205–209.
- Теория и практика химического анализа почв / Под редакцией Л.А. Воробьевой. Москва: ГЕОС, 2006. 400 с.



- Физиология растений: Учебник для студ. вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. Москва: Издательский центр «Академия», 2005. 640 с.
- Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования / Отв. ред. В.Н. Курачев. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2009. 349 с.
- Хомич В.С., Какарека С.В., Кухарчик Т.И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / Под ред. В.С. Хомича. Минск: РУП «Минсктиппроект», 2004. 260 с.
- Шевченко А.В., Алухтина Н.В., Савич В.И. Техногенное осолонцевание почв Московской области // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2008. Выпуск 1. С. 50–57.
- Шишова Т.К., Матвеева Т.Б., Казанцев И.В. Влияние противогололедного материала «Бионорд» на развитие растений // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. – Т. 26. № 1. С. 78–84.
- Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе (на примере г. Москвы). Автореферат диссертации ... д-р биол. наук. Москва, 2006. 54 с.
- Cunningham M.A., Snyder E., Yonkin D., Ross M., Elsen T. Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment // Urban Ecosystems. 2008. Vol. 11. P. 17–31. <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0031-x>
- Czerniawska-Kusza I., Kusza G., Duzynski M. Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the Opole region // Environmental Toxicology. 2004. Vol. 19. No. 4. P. 296–301. <https://doi.org/10.1002/tox.20037>
- Hawkins R.H. Proceedings: street salting, urban water quality workshop. State University College of Forestry, Syracuse. NY, 1971.
- Hofman J., Trávníčková E., Anděl P. Road salts effects on soil chemical and microbial properties at grassland and forest site in protected natural areas // Plant, Soil and Environment. 2012. Vol. 58. No. 6. P. 282–288. <https://doi.org/10.17221/5994-PSE>
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.
- Marschner H. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. London: Academic Press Elsevier, 2011. 651 p.
- Scianna J., Logar R., Pick T. Plant materials technical note. Testing and interpreting salt-affected soil for tree and shrub plantings. No. MT-60. USDA-NRCS, 2007. 12 p.

Поступила в редакцию 15.04.2024

Принята 06.05.2024

Опубликована 15.08.2024

#### Сведения об авторах:

**Барсуков Павел Анатольевич** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

**Русалимова Ольга Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## The effect of deicing reagents on soil properties of the roadside lawns in Novosibirsk

© 2024 P. A. Barsukov , O. A. Rusalimova 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)*

*The aim of the study was to evaluate the effect of deicing reagents on soil properties of the roadside lawns in Novosibirsk.*

**Location and time of the study.** Roadside lawns and a public green square in the central part of the Novosibirsk city. Field and laboratory work was performed in late 2023–early 2024.

**Methods.** Soil samples were analyzed according to the following methods: preparation of aqueous extract was done at the ratio of soil:solution of 1:5; determination of specific electrical conductivity and water pH was performed using the electrodes HI763123 and ESC-10603, respectively; the content of water-soluble sulfates was measured with precipitation of sulfate ions by barium chloride and determination of barium sulfate by turbidimetric method; water-soluble sodium was measured by atomic absorption spectrometer with flame atomization Kvant-2A; water-soluble chlorides were measured by ion-selective electrode Econix ECOM-Cl; and water-soluble phosphates were measured by molybdenum-blue spectrophotometric method. The statistical processing of the data was carried out using the principal components analysis, as well as by variation, regression, correlation and variance analyses.

**Results.** Application of deicing reagents (DR) altered most significantly the content of water-soluble sodium and chlorine in the urban soils of roadside lawns, the values of which reached as high as 443 mg Na/kg and 511 mg Cl/kg. Sulfate and phosphate concentrations depended on the DR application to a much lesser extent. The relationship of chlorine content with the sodium one was described by a simple linear regression equation with a coefficient of determination ( $R^2$ ) equal to 0,92:  $Cl = 1,503 \times Na - 34,655$ , where Cl and Na concentrations are presented in mg/kg. A close positive relationship ( $R^2 = 0,87$ ) was also found between the sum of all four analyzed ions (SI) and specific electrical conductivity (EC), described by the linear equation  $SI = 0,0078 \times EC - 0,985$ , where SI (sum of  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , and  $PO_4^{2-}$  ions) is represented in cmol(eq)/kg, and EC in  $\mu S/cm$ .

**Conclusions.** In the urban soils of roadside lawns, as compared to the central part of the public square, a significant increase in the content of water-soluble sodium and chlorine was found: 7–24 times and 30–80 times, respectively. The increase in the concentration of these elements was associated with a 3,3-fold increase in the value of specific electrical conductivity (which characterizes the general level of soil salinization with easily soluble salts) and a change in the reaction from "slightly alkaline" to "moderately alkaline". Such significant changes in the chemical properties of the urban roadside soils are caused by the DR use, which may result in the suppression of growth and development of plants, especially tree species less adapted to salt pollution, eventually leading to their dying-off.

**Keywords:** roadside lawns; urban soils; deicing reagents; anthropogenic salinity; chlorides; sulphates; phosphates; water-soluble sodium; alkalinity.

**How to cite:** Barsukov P.A., Rusalimova O.A. The effect of deicing reagents on soil properties of the roadside lawns in Novosibirsk. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(2). e265 DOI: [10.31251/pos.v7i2.265](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.265) (in Russian with English abstract).

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to A.A. Krylova, the Leading Engineer of the Laboratory of Agrochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, for her assistance in the analysis of soil samples and for her help in the technical preparation of the article.

#### FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 121031700309-1); the analysis of soil samples for assessing the impact of the use of chlorine-containing deicing reagents on the urban soil properties was financed by Contract No. 182/12-2023 for between the Municipal Autonomous Agency of the city of Novosibirsk "Gorzelenkhoz" and the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

#### REFERENCES

- Vodianova M. A., Kriatov I.A., Donerian L. G., Evseeva I.S., Ushakov D. I., Sbitnev.A.V. Ecological hygienic assessment of soils quality in urban areas. *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2016. Vol. 95. No. 10. P. 913–916. (in Russian). <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-913-916>
- Golovaty S.E., Kovalevich Z.S., Lukashenko N.K., Vishnyakov R.V. Spatial distribution of chemical pollutants in soils of the territories adjacent to the enterprises of PA "Belaruskali". *Message 2. Sodium. Pochvovedenie i agrokimiia*. 2008. No. 2 (41). P. 244–255. (in Belarus).
- Report "On the State of the Environment in the City of Moscow in 2017". Edited by A.O. Kulbachevsky. Moscow: Department of Nature Management and Environmental Protection, 2018. 358 p. (in Russian).
- Zubkova T.A., Manucharova A.S., Chernomorchenko N.I., Kostarev I.A. Influence of easily soluble salts on structural properties of mineral systems. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie (Lomonosov Soil Science Journal)*. 2006. No. 2. P. 20–25. (in Russian).

- Ivanishchev V.V. About the mechanisms of plant resistance to salt and specificity of salinization influence. *Izvestiya Tula State University. Natural Science*. 2019. No. 4. P. 76–88. (in Russian).
- Changes in chemical characteristics of Moscow soils with the use of de-icing reagents. Federal Budget Institution of Science “Federal Scientific Center of Medical and Preventive Technologies of Population Health Risk Management”. 26.05.2022. URL: <https://fcrisk.ru/forums/node/1161> (accessed on 13.02.2024). (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Kosheleva N.E., Dorokhova M.F., Kuzminskaya N.Yu., Ryzhov A.V., Kasimov N.S. Impact of motor vehicles on the ecological state of soils in the western district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2018. No. 2. P. 16–27. (in Russian).
- Kryatov I.A., Tonkopiya N.I., Vodyanova M.A., Rusakov N.V., Doneryan L.G., Evseeva I.S., Ushakov D.I., Matveeva I.S., Vorobeva O.V., Tsapkova N.N. Methodical approaches to the substantiation of hygienic requirements for the application of deicing materials. *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2014. Vol. 93. No. 6. P. 52–54. (in Russian).
- Kulakova N.Yu., Shabanova N.P. Soil salinization – one of the urban greening problem. Actual problems of forest complex: proceedings of the conference. 2019. No. 54. P. 127–131. (in Russian).
- Lopatina T.S., Aleksandrova Y.V., Anishchenko O.V., Gribovskaya I.V., Oskina N.A., Zotina T.A., Zadereev E.S. The effect of deicing salt solutes on *Moina macrocopa* and *Allium cepa* in a toxicity test experiment. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020. No. 51. P. 162–178. (in Russian). <http://dx.doi.org/10.17223/19988591/51/9>
- Lysikov A.B. Dynamics of soil pollution of pine plantations in the Moscow ring road area. *Lesovedenie*. 2005. No. 5. P. 18–24. (in Russian).
- Lysikov A.B. Influence of anti-icing agents on the soil condition of roadside pine forests of Serebryanoborsky experimental forestry. *Lesovedenie*. 2017. No. 6. P. 446–451. (in Russian). <http://doi.org/10.7868/S0024114817060079>
- Malysheva A.G., Shelepova O.V., Vodyanova M.A., Donerian L.G., Ushakova O.V., Yudin S.M. Ecological and hygienic problems of the application anti-icing agents’ under large city conditions (on the example of the city of Moscow). *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2018. Vol. 97. No. 11. P. 1032–1037. (in Russian). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-11-1032-37>
- Manzhina S.A. On the issue of chemical mechanism and soil salinity degree determination: Russian and foreign practices. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021. Vol. 11. No. 3. P. 163–181. (in Russian). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181>
- Namestnikova O.V., Buzaeva M.V. Monitoring of soil salinity in the system of ecological safety of a large city. *The Journal Modern Problems of Civil Protection*. 2019. No. 1 (30). P. 44–52. (in Russian).
- Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaibrakhmanov T.S. Ecological impact of antiglaze treatment on soils of the eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2016. No. 3. P. 40–49. (in Russian).
- Nikolaev Y.N., Shestakova T.V., Bychkova A.Y., Markova Y.L., Lubkova T.N., Yanikieva O.E. Salt pollution of soils and vegetation in NP “Losiny Ostrov”. In book: *New Ideas in Earth Sciences. Abstracts of the V International Conference*. 2001. Vol. 4. P. 44–54. (in Russian).
- Osina K.V., Arlyapov V.A., Gorelova S.V. Anionic-cationic composition of soil in urbanized ecosystems of the Tula region. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2023. No. 1. P. 24–37. (in Russian).
- Petrov V.G., Khannanov D. A., Balitsky Ya. A. Mobility of the chloride ions in sod-podzolic soil under pollution by chlorides of alkali metals. *Chemical Physics and Mesoscopics*. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 290–295. (in Russian). <https://doi.org/10.15350/17270529.2019.2.31>
- Pirogovskaya G.V., Khmelevsky S.S. Content of exchange and water-soluble sodium, chlorides and sulphates in soils of Minsk. *Počvovedenie i agrohimiâ*. 2010. No. 1. P. 243–254. (in Belarus).
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in Soil: Hygienic Standarts, GN 2.1.7.2041-06. Moscow: Federal Centre of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. 15 p. (in Russian).
- Organization standard STO 001-80119761-2010. Deicing materials Bionord. Ural Plant of Deicing Materials. Perm, 2016. 29 p. URL: [https://bionord.store/upload/iblock/f42/\\_\\_\\_-\\_-\\_-\\_-\\_-2018\\_19.pdf](https://bionord.store/upload/iblock/f42/___-_-_-_-_-2018_19.pdf) (accessed on 07.03.2024). (in Russian).
- Guide to the management of saline soils / R. Vargas, E.I. Pankova, S.A. Balyuk, P.V. Krasilnikova, G.M. Khasankhanova (ed.). FAO, Rome, 2017. 153 p. (in Russian).
- Serebryanoborsky Experimental Forestry: 65 years of forest monitoring. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2010. 260

p. (in Russian).

Sidorovich E.A., Arabey N.M., Kirkovsky K.K. et al. Accumulation of chlorine ions by soils and assimilating organs of trees in urban plantations of Minsk. Problems of urban greening: almanac. Moscow: Prima-M, 2004. Issue 10. P. 203–207. (in Russian).

Condition of green plantations in Moscow (according to the 2003 monitoring data) / Edited by Kh.G. Yakubov. Moscow: Prima-M, 2004. 224 p. (in Russian).

Sudnik A.V., Voznyachuk I.P. Consequences of pollution on roadside territories by salt reagents on soil and plants ecological state in forest biogeocenoses. Forestry Bulletin. 2020. Vol. 24. No. 6. P. 83–95. (in Russian). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-83-95>

Sudnik A.V., Yakovlev A.P. About consequences of application as an antiglaze reagent of sodium chloride on state of plantings along streets and roads in Minsk. Modern problems in botanical and mycological research. Minsk: BSU, 2021. P. 205–209. (in Russian).

Theory and practice of chemical analysis of soils. Edited by L.A. Vorobyeva. Moscow: GEOS, 2006, 400 p. (in Russian).

Plant Physiology: Textbook for university students / N.D. Alekhina, Yu.V. Balnokin, V.F. Gavrilenko and others; edited by I.P. Ermakova. Moscow: Publishing center "Academy", 2005. 640 p. (in Russian).

Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use / V.N. Kurachev (ed.). Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2009. 349 p. (in Russian).

Khomich V.S., Kakareka S.V., Kukharchyk T.I. Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus / V.S. Khomich (ed.). Minsk: Minsktipproekt Publ., 2004. 260 p. (in Russian).

Shevchenko, A.V.; Apukhtina, N.V., Savich, V.I. Technogenic salinization of soils of the Moscow region. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2008. Issue 1. P. 50–57. (in Russian).

Shishova T.K., Matveeva T.B., Kazantsev I.V. Influence of de-icing material «Bionord». Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2017. Vol. 26. No. 1. P. 78–84. (in Russian).

Yakubov H.G. Ecological monitoring of green plantations in a large city (by the example of Moscow). Abstract of Dissertation ... Dr. of Biol. Sci. Moscow, 2006. 54 p. (in Russian).

Cunningham M.A., Snyder E., Yonkin D., Ross M., Elsen T. Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. Urban Ecosystems. 2008. Vol. 11. P. 17–31. <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0031-x>

Czerniawska-Kusza I., Kusza G., Duzynski M. Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the Opole region. Environmental Toxicology. 2004. Vol. 19. No. 4. P. 296–301. <https://doi.org/10.1002/tox.20037>

Hawkins R.H. Proceedings: street salting, urban water quality workshop. State University College of Forestry, Syracuse. NY, 1971.

Hofman J., Trávníčková E., Anděl P. Road salts effects on soil chemical and microbial properties at grassland and forest site in protected natural areas. Plant, Soil and Environment. 2012. Vol. 58. No. 6. P. 282–288. <https://doi.org/10.17221/5994-PSE>

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022. 236 p.

Marschner H. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. London: Academic Press Elsevier, 2011. 651 p.

Scianna J., Logar R., Pick T. Plant materials technical note. Testing and interpreting salt-affected soil for tree and shrub plantings. No. MT-60. USDA-NRCS, 2007. 12 p.

*Received 15 April 2024*

*Accepted 06 May 2024*

*Published 15 August 2024*

#### **About the authors:**

**Pavel A. Barsukov** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [barsukov@issa-siberia.ru](mailto:barsukov@issa-siberia.ru)

**Olga A. Rusalimova** – Junior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [rusalimova@issa-siberia.ru](mailto:rusalimova@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)