

## ВЛИЯНИЕ ПРОТИВО-ГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

© 2026. А. О. Рагимов, Н. В. Чугай

Проведено комплексное исследование влияния различных типов противогололедных реагентов (пескосоляной смеси и коммерческого препарата «Аквайс Эконом») на физико-химические свойства почв в условиях урбозкосистемы города Владимира с разным уровнем антропогенной нагрузки. Установлено, что применение противогололедных препаратов приводит к значительной химической нагрузке на снежный покров, выражающейся в многократном превышении фоновых концентраций хлоридов, кальция и магния. В почвах выявлено развитие техногенного засоления по хлоридно-натриевому типу с суммой токсичных солей 10,25–14,76 мг-экв/кг, что соответствует категории сильнозасоленных почв, и резкому подщелачиванию (рН 8,01–8,61). Доказана деградация физических свойств городских почв, проявляющаяся в опесчанивании и ухудшении агрегатного состава. Несмотря на увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия, отмечено снижение содержания органического вещества. Методом биотестирования с использованием кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) установлена умеренная и высокая фитотоксичность талых вод, наиболее выраженная для реагента «Аквайс Эконом». Результаты исследования свидетельствуют о комплексной деградации городских почв под воздействием противогололедных реагентов и обосновывают необходимость пересмотра практики зимнего содержания городских территорий.

**Ключевые слова:** противогололедные реагенты, урбозкосистемы, техногенное засоление, физико-химические свойства почв, фитотоксичность, гранулометрический состав, органический углерод, биотестирование, кресс-салат, экологический мониторинг.

**Введение.** Применение хлорсодержащих противогололедных реагентов (ПГР), преимущественно хлоридов натрия ( $\text{NaCl}$ ), кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) и магния ( $\text{MgCl}_2$ ), для обеспечения зимней эксплуатации транспортных и пешеходных коммуникаций в условиях городских агломераций является значимым фактором химического загрязнения и последующей деградации почвенного покрова [1–3].

В период снеготаяния миграция талых вод приводит к инфильтрации и аккумуляции солевых ионов в почвенной толще, что инициирует ряд негативных процессов [4]. Ключевым из них является осмотический стресс у растений: повышение осмотического давления почвенного раствора нарушает нормальный водный баланс, затрудняя поглощение воды корневыми системами даже при ее физическом наличии, что вызывает физиологическую засуху [5–7].

Параллельно на ряду с этим, протекают процессы ионообменной деградации. Ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) вытесняют из почвенного поглощающего комплекса (ППК) двухвалентные катионы кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Это вызывает пептизацию коллоидов и разрушение почвенной структуры – почва утрачивает водопрочную макроагрегатность, становится склонной к заплыванию и уплотнению, а также ухудшается ее аэрация [8].

Высокие концентрации ионов хлора ( $\text{Cl}^-$ ) и натрия ( $\text{Na}^+$ ) также провоцируют дисбаланс минерального питания растений, нарушая физиологические механизмы поглощения и метаболизма необходимых элементов, таких как калий, фосфор и азот [9]. Визуально это проявляется в виде хлороза листовых пластинок, угнетения ростовых процессов и, в конечном счете, гибели растительности.

Наряду с физико-химическими факторами, данные изменения создают условия для биологической деградации. Солевой стресс угнетающе воздействует на почвенную биоту – бактерии, грибы, актиномицеты и дождевых червей, чья жизнедеятельность критически важна для процессов разложения органического вещества, гумификации и поддержания биогеохимических циклов. Деструкция микробных ценозов и мезофауны трансформирует почву из динамичной экосистемы в инертную субстанцию [10].

Таким образом, техногенное засоление, индуцированное применением ПГР [11], представляет собой комплексную проблему, ведущую к нарушению физико-химических свойств, биологической активности и плодородия городских почв, что требует проведения системного экологического мониторинга и разработки стратегий минимизации ущерба.

**Цель исследования:** оценить степень и характер влияния различных типов противогололедных препаратов (пескосоляной смеси и реагента «Аквайс Эконом») на физико-химические свойства почв и токсикологическую нагрузку на территории урбозкосистемы города Владимира с разным уровнем антропогенной нагрузки.

Задачи исследования:

1. Провести сравнительный анализ уровня химического загрязнения снежного покрова и почв на территориях города Владимира с различной антропогенной нагрузкой, обрабатываемых пескосоляной смесью и коммерческим противогололедным реагентом «Аквайс Эконом».

2. Исследовать трансформацию физико-химических свойств почв под воздействием противогололедных препаратов, включая оценку гранулометрического и агрегатного состава, содержания органического углерода и основных элементов питания (азот, фосфор, калий).

3. Оценить фитотоксичность талых вод и экологическое состояние городских почв методом биотестирования с использованием кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) и установить корреляцию между химическим составом проб и биологическими ответами тест-культуры.

**Материал и методика исследования.** Исследование проводили на территории города Владимира. Объектами исследования стали почвы территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки, которые были разделены на следующие категории: территории с наивысшей степенью антропогенной нагрузки, территории общественных пространств, а также закрытые и внутридворовые территории. В качестве фоновой территории был выбран земельный участок в черте городской агломерации, не испытывающий воздействия от применения противогололедных средств (ПГС).

Отбор образцов проводили согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 [12] и ГОСТ 28168-89 [13]. Отбор снежной массы проводили в зимний период – январь 2025 года. Отбор почвенных образцов проводили в момент таяния снега в марте–апреле 2025 года. Для каждой территории отбирали индивидуальные пробы методом конверта, из которых формировали одну объединенную пробу. Оценку загрязнения почв и снега проводили согласно ГОСТ 17.4.2.01-81 [14] и ГОСТ 17.4.3.06-86 [15].

Фитотестирование (определение энергии прорастания, всхожести, длины корня и побега) проводили согласно ГОСТ 33637-2015 [16, 17]. В качестве тест-культуры использовали кресс-салат (*L. sativum*).

Анализ физических свойств почв городских территорий проводили методом механического анализа с использованием раствора пирофосфата натрия в модификации С.И. Долгова и А.И. Личмановой, а агрегатный анализ почв – методом Н.И. Саввинова. Метод заключался в определении количества агрегатов разного размера методом

«сухого» просеивания через колонку сит диаметром 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0,25 мм с последующим взвешиванием и подсчетом содержания в процентах от массы воздушно-сухой почвы. Анализ химических свойств почв городских территорий проводили согласно ГОСТ 26204-91 [18], ГОСТ 26107-84 [19], ГОСТ 26213-91 [20], ГОСТ 26423-85 [21], ГОСТ 26424-85 [22], ГОСТ 26425-85 [23], ГОСТ 26426-85 [24], ГОСТ 26427-85 [25], ГОСТ 26428-85 [26], ГОСТ 26950-86 [27]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета анализа Microsoft Excel. Оценку достоверности различий между опытными участками и фоном проводили с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считали значимыми при  $p < 0,05$ .

**Анализ результатов.** Для оценки первичного химического загрязнения, вносимого в экосистему города в зимний период, был проведен анализ химического состава снежного покрова, который выступает эффективным накопителем (депо) поллютантов, в том числе водорастворимых солей, поступающих от противогололедных препаратов [28]. Результаты определения массовых концентраций ключевых анионов (нитрат-, хлорид-, сульфат-) и катионов (кальций, магний) в пробах снега, отобранных на территориях с разным уровнем антропогенной нагрузки, представлены в таблице 1. Сравнение проводилось с фоновой территорией, не подверженной воздействию противогололедных средств. В таблице 1 приведены средние арифметические значения ( $p \leq 0,05$ )

Таблица 1  
Химический состав снега на территориях с разным уровнем антропогенной нагрузки, мг/л

Территория	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Фон	2,40	2,50	2,10	3,05	1,20
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>					
Пескосоляная смесь	3,50	5,50	3,00	2,14	1,60
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	3,60	5,34	2,88	4,28	2,30
<b>Территория общественных пространств</b>					
Пескосоляная смесь	3,08	2,85	3,25	3,17	2,40
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	3,60	2,50	3,84	2,85	2,20
<b>Территория жилых пространств</b>					
Пескосоляная смесь	3,60	2,73	3,80	2,79	1,20
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	3,70	4,18	4,90	4,18	1,29

Относительная ошибка среднего не превышала 7 %. Пробы с фоновой территории демонстрируют фоновый уровень ионного состава талых вод. Концентрации всех исследуемых ионов находятся на относительно низком уровне, что является точкой отсчета для оценки загрязнения на других участках.

Анализ показал, что наиболее значимый рост концентраций наблюдается для хлорид-иона (Cl<sup>-</sup>), являющегося основным компонентом как пескосоляной смеси (NaCl), так и реагента «Аквайс Эконом». На территориях с наивысшей нагрузкой концентрация Cl<sup>-</sup> при использовании пескосоляной смеси достигает 5,50 мг/л, а при использовании «Аквайс Эконом» – 5,34 мг/л, что более чем в 2 раза превышает фоновый уровень (2,50 мг/л). Это прямо указывает на интенсивное поступление хлорсодержащих реагентов.

Существенные различия наблюдаются в содержании катионов кальция и магния. В пробе от «Аквайс Эконом» на территории с наивысшей нагрузкой зафиксированы максимальные концентрации Ca<sup>2+</sup> (4,28 мг/л) и Mg<sup>2+</sup> (2,30 мг/л), значительно превышающие как фон, так и показатели для пескосоляной смеси. Это свидетельствует о том, что коммерческий реагент, вероятно, имеет комплексный состав, включающий

хлориды кальция и, возможно, магния, что может усиливать токсикологическую нагрузку и потенциал для смешанного типа засоления почв.

Концентрации нитратов и сульфатов также повышены на всех территориях по сравнению с фоном, однако их рост менее выражен, чем у хлоридов. Это может быть связано как с примесями в реагентах, так и с поступлением из других антропогенных источников (автотранспорт, промышленные выбросы) [29].

Сравнительная оценка по типам территорий показала, что территории с наивысшей антропогенной нагрузкой демонстрируют пиковые концентрации для большинства ионов, особенно для  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , что ожидаемо связано с максимальными дозами применяемых реагентов и интенсивным движением транспорта. На территориях общественных и жилых пространств наблюдается более вариабельная картина. Например, в жилых пространствах при использовании «Аквейс Эконом» фиксируется высокое содержание  $\text{Cl}^-$  (4,18 мг/л) и  $\text{SO}_4^{2-}$  (4,90 мг/л), что может указывать на его активное применение и кумулятивный эффект в замкнутых пространствах дворов.

Для количественной оценки загрязнения снежного покрова использовали гигиенический норматив (ГН 2.1.5.1315-03) [30] для воды водоемов как косвенный показатель. Превышение над фоновым уровнем по хлоридам в 2,2 раза (для пескосоляной смеси на магистралях) является значительным и указывает на умеренно опасный уровень загрязнения по этому компоненту. Суммарный солевой состав талых вод на опытных участках существенно выше фонового. Наиболее неблагоприятный ионный профиль формируется при использовании реагента «Аквейс Эконом» на территориях с высокой нагрузкой, где наблюдается сочетанное повышенное содержание токсичных ионов  $\text{Cl}^-$ , а также  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , усиливающих осмотическое давление.

Проведенный анализ показывает, что снежный покров урбанизированной территории аккумулирует значительное количество водорастворимых солей, источником которых являются противогололедные препараты. Пескосоляная смесь вносит основной вклад в загрязнение хлоридами, в то время как коммерческий реагент «Аквейс Эконом» формирует более сложный и, вероятно, более токсичный солевой комплекс за счет дополнительного поступления ионов кальция и магния. Полученные данные позволяют прогнозировать высокую солевую нагрузку на почвы и грунтовые воды в период снеготаяния, что является предпосылкой для их дальнейшей деградации.

Для оценки влияния противогололедных препаратов на один из фундаментальных физических параметров почвы был проведен гранулометрический анализ, который определяет такие ключевые свойства, как водно-воздушный режим, способность к структурообразованию и миграции веществ. В таблице 2 представлены данные по распределению физического песка (фракции 1,0–0,05 мм), физической глины (фракции <0,01 мм) и пыли (промежуточные фракции) в почвах исследуемых территорий.

Фоновая территория характеризуется содержанием физической глины (<0,01 мм) 50,7 % и ила (<0,001 мм) 16,4 %. Преобладают фракции 0,05–0,01 мм (26,1 %) и 0,005–0,001 мм (20,4 %). По классификации Н.А. Качинского данная почва относится к тяжелосуглинистой.

Анализ показал выраженные изменения гранулометрического состава под влиянием реагентов. Так, на территории с наивысшей нагрузкой при применении пескосоляной смеси содержание физической глины снизилось до 35,1 % (на 15,6 % относительно фона). При применении «Аквейс Эконом» – до 46,1 % (снижение на 4,6 %). На территории общественных пространств: пескосоляная смесь – 31,2 % (снижение на 19,5 %); «Аквейс Эконом» – 42,3 % (снижение на 8,4 %). На территории жилых пространств: пескосоляная смесь – 27,5 % (снижение на 23,2 %); «Аквейс Эконом» – 36,9 % (снижение на 13,8 %).

Таблица 2

Гранулометрический состав городских почв на территориях с различным уровнем антропогенной нагрузки

Территория	1– 0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001	<0,01
Фон	4,7	18,5	26,1	13,9	20,4	16,4	50,7
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>							
Пескосоляная смесь	8,5	24,3	32,1	12,8	13,5	8,8	35,1
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	5,2	19,8	28,9	15,7	18,2	12,2	46,1
<b>Территория общественных пространств</b>							
Пескосоляная смесь	9,8	25,6	33,4	11,9	12,3	7,0	31,2
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	6,7	21,2	29,8	14,5	16,8	11,0	42,3
<b>Территория жилых пространств</b>							
Пескосоляная смесь	11,2	26,8	34,5	10,7	10,8	6,0	27,5
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,4	23,1	31,6	13,2	14,7	9,0	36,9

Трансформация гранулометрического состава связана с вымыванием тонких фракций (< 0,01 мм) тальмими водами, механическим выносом частиц транспортом и пешеходами, а также привнесением песчаного материала при использовании пескосоляных смесей.

Пескосоляная смесь вызывает более значительные изменения – снижение содержания физической глины на 15,6–23,2 % в зависимости от территории. Реагент «Аквайс Эконом» приводит к меньшим изменениям (4,6–13,8 %), что свидетельствует о его меньшем воздействии на гранулометрический состав.

На всех территориях, обрабатываемых пескосоляной смесью, происходит переход из тяжелосуглинистых в средне- и легкосуглинистые разновидности. Наиболее значительные изменения отмечены в жилых пространствах, где почва становится легкосуглинистой.

Согласно ГОСТ 17.4.3.06-86, изменение гранулометрического состава более чем на 15 % считается значительным нарушением почвенного покрова. На всех территориях с применением пескосоляной смеси это превышение зафиксировано.

Таким образом, применение противогололедных реагентов приводит к значительной трансформации гранулометрического состава городских почв с тенденцией к опесчаниванию. Наиболее выраженные изменения вызывает использование пескосоляной смеси, что связано с механическим внесением песчаного материала и усиленной эрозией тонких фракций. Реагент «Аквайс Эконом» демонстрирует менее выраженное воздействие на физические свойства почв.

Для оценки структурного состояния почвы, определяющего ее устойчивость к водной эрозии и аэрационные свойства, был проанализирован агрегатный состав. В таблице 3 представлены результаты определения агрегатного состава почв методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову.

Фоновая территория характеризуется оптимальным агрегатным составом: содержание агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) составляет 71,1 %, водопрочных макроагрегатов (>0,25 мм) – 75,6 %.

Под влиянием противогололедных реагентов наблюдается ухудшение структурного состояния: на территории с наивысшей нагрузкой содержание агрегатов 0,25–10 мм снижено для пескосоляной смеси до 63,0 %; для «Аквайс Эконом» – до

67,5 %. На территории общественных пространств: пескосоляная смесь – 62,8 %; «Аквайс Эконом» – 65,5 %. На территории жилых пространств: пескосоляная смесь – 61,5 %; «Аквайс Эконом» – 64,3 %.

Таблица 3  
Агрегатный состав городских почв на территориях с различным уровнем антропогенной нагрузки

Территория	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25
Фон	14,5	12,6	8,2	16,5	8,6	17,4	6,1	8,3	9,1
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>									
Пескосоляная смесь	21,0	18,0	12,0	15,5	6,0	12,0	4,0	5,5	5,0
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	18,5	16,0	11,0	15,0	6,5	13,0	5,0	9,0	11,0
<b>Территория общественных пространств</b>									
Пескосоляная смесь	19,5	16,5	11,0	15,8	6,5	13,5	4,5	6,5	6,2
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	17,5	15,0	10,5	15,5	7,0	14,0	5,5	8,0	9,0
<b>Территория жилых пространств</b>									
Пескосоляная смесь	18,0	15,5	10,5	15,5	7,0	14,0	5,0	7,5	7,0
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	17,0	14,5	10,0	15,5	7,5	14,5	5,8	7,0	8,5

Анализ выявил изменение фракционного состава: снижение содержания наиболее ценных фракций 3–7 мм на 30–40 %, увеличение пылевидной фракции (<0,25 мм) в 1,5–2 раза, перераспределение в сторону крупных (>10 мм) и мелких (<1 мм) фракций.

Коэффициент структурности (отношение содержания агрегатов > 0,25 мм к содержанию агрегатов <0,25 мм) ухудшился с 3,1 (оптимальный на фоне) до 1,2–1,8 (неудовлетворительный) для пескосоляной смеси и до 2,1–2,6 (удовлетворительный) для «Аквайс Эконом».

Содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм снижается на 15–25 % на территориях с применением реагентов, что свидетельствует о значительном ухудшении устойчивости почвенной структуры. Реагент «Аквайс Эконом» демонстрирует менее выраженное негативное воздействие. Разница в содержании агрономически ценных агрегатов между реагентами составляет 4–5 %.

Согласно Методическим указаниям по оценке деградации почв, на исследуемых территориях зафиксирована слабая (на 10–20 %) и средняя (на 20–30 %) степень деградации структуры. Наблюдается прямая зависимость между ухудшением агрегатного состава и увеличением содержания иона натрия в ППК, снижением содержания органического углерода и изменением гранулометрического состава.

В целом, применение противогололедных реагентов приводит к значительной деградации структурного состояния почв. Наиболее выраженные негативные изменения наблюдаются при использовании пескосоляной смеси. Ухудшение агрегатного состава проявляется в снижении водопрочности, увеличении пылевидной фракции и уменьшении содержания агрономически ценных агрегатов, что способствует развитию эрозионных процессов и ухудшает водно-воздушный режим почв.

Важнейшим аспектом оценки влияния противогололедных реагентов является анализ изменения химических свойств и показателей плодородия городских почв. В таблице 4 представлены средние арифметические значения по основным агрохимическим характеристикам ( $p \leq 0,05$ ).

Таблица 4

Химический состав городских почв на территориях с различным уровнем антропогенной нагрузки

Территория	рН	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N <sub>общ</sub>	C
		мг/кг		%	
Фон	6,07	180,4	210,1	0,15	2,11
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>					
Пескосоляная смесь	8,32	265,1	489,6	0,35	1,59
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,01	255,8	410,9	0,41	1,35
<b>Территория общественных пространств</b>					
Пескосоляная смесь	8,48	270,9	412,8	0,43	1,69
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,41	267,4	409,6	0,39	1,47
<b>Территория жилых пространств</b>					
Пескосоляная смесь	8,61	275,9	385,1	0,38	1,54
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,53	310,3	339,5	0,41	1,62

Относительная ошибка среднего не превышала 8 %. Фоновая территория характеризуется слабокислой реакцией (рН 6,07), оптимальной для большинства культурных растений и биологической активности.

На исследуемых территориях наблюдается резкое смещение реакции среды в щелочную область: рН составляет 8,01–8,61. Изменение на 1,94–2,54 единицы рН соответствует сильной степени засоления. Содержание фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) на фоне – 180,4 мг/кг (среднее). На опытных территориях – 255,8–310,3 мг/кг (повышенное и высокое), увеличение в 1,4–1,7 раза. Содержание калия (K<sub>2</sub>O): на фоне – 210,1 мг/кг (среднее). При применении пескосоляной смеси – 385,1–489,6 мг/кг (высокое); при применении «Аквайс Эконом» – 339,5–410,9 мг/кг (повышенное). Содержание общего азота в почвах опытных участков (0,35–0,43%) оказалось 2,3–2,9 раза выше фонового (0,15 %). Увеличение валового содержания азота, вероятно, связано с процессами аккумуляции органо-минеральных комплексов, загрязнением урбаноземов органическими остатками и замедлением темпов минерализации в условиях техногенного засоления и подщелачивания. Однако следует отметить, что показатель общего азота включает как органические, так и минеральные формы и не отражает непосредственно доступность элемента для растений. Для оценки текущего азотного питания в условиях солевого стресса требуется анализ минеральных форм (N-NH<sub>4</sub> и N-NO<sub>3</sub>), так как процессы нитрификации в щелочной среде (рН > 8,0) могут быть существенно подавлены. Органический углерод: на фоне – 2,11 %; при применении пескосоляной смеси – 1,54–1,69 %; при применении «Аквайс Эконом» – 1,35–1,62 %. Снижение составляет 20–36 %, что свидетельствует о деградации органического вещества.

Анализ трансформации почвенного плодородия выявил увеличение содержания доступных форм фосфора и калия; повышение содержания общего азота, сильное подщелачивание почвенной среды и снижение содержания органического вещества; нарушение соотношения элементов питания.

Пескосоляная смесь вызывает более значительное подщелачивание, но способствует большему накоплению калия. Реагент «Аквайс Эконом» приводит к более выраженному снижению органического углерода.

По шкале оценки химической деградации почв: изменение рН > 1,5 единиц – сильная степень деградации; снижение содержания органического углерода на 20–40 % – средняя степень деградации; нарушение соотношения элементов питания – слабая степень деградации.

Наблюдается прямая зависимость между повышением рН и увеличением содержания карбонатов (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>), снижением органического углерода и ухудшением

агрегатного состава, повышением содержания питательных элементов и увеличением общей минерализации.

В итоге, применение противогололедных реагентов вызывает комплексную химическую деградацию почв, проявляющуюся в резком подщелачивании, снижении содержания органического вещества и нарушении сбалансированности элементов питания. Несмотря на увеличение содержания отдельных питательных элементов, наблюдаемые изменения приводят к ухудшению условий для роста растений и снижению биологической активности почв.

Для непосредственной диагностики степени и характера техногенного засоления почв был проведен детальный анализ их ионно-солевого состава. В таблице 5 приведены средние арифметические значения ( $p \leq 0,05$ ).

Таблица 5

Химические свойства почв на территориях с различным уровнем антропогенной нагрузки  
в 0–20 см слое почв, мг-экв/кг

Территория	рН	Ион						Сумма ионов	Плотный, остаток, %
		НСО <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
Фон	6,07	0,094	2,79	0,47	0,98	0,041	0,024	1,75	0,019
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>									
Пескосоляная смесь	8,32	1,304	3,69	3,16	4,6	4,551	0,054	14,76	0,193
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,01	0,854	3,53	5,34	4,09	3,921	0,214	13,74	0,143
<b>Территория общественных пространств</b>									
Пескосоляная смесь	8,48	0,334	3,47	2,11	4,01	2,951	0,084	10,35	0,186
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,41	0,734	3,6	2,41	4,24	5,061	0,104	13,54	0,061
<b>Территория жилых пространств</b>									
Пескосоляная смесь	8,61	0,324	3,02	2,05	4,22	2,946	0,081	10,25	0,184
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	8,53	0,724	3,15	2,35	4,45	5,056	0,101	13,44	0,059

Содержание доминирующих ионов:

Хлорид-ион (Cl<sup>-</sup>): Фон – 0,47 мг-экв/кг. Пескосоляная смесь – 2,05–3,16 мг-экв/кг (увеличение в 4,4–6,7 раза). «Аквайс Эконом» – 2,35–5,34 мг-экв/кг (увеличение в 5,0–11,4 раза).

Натрий (Na<sup>+</sup>): Фон – 0,041 мг-экв/кг. Пескосоляная смесь – 2,946–4,551 мг-экв/кг. «Аквайс Эконом» – 3,921–5,061 мг-экв/кг.

Кальций (Ca<sup>2+</sup>): Фон – 0,98 мг-экв/кг. Опытные территории – 4,01–4,6 мг-экв/кг (увеличение в 4,1–4,7 раза).

Оценка степени засоления:

Сумма токсичных солей: Фон – 1,75 мг-экв/кг (незасоленная почва). Пескосоляная смесь – 10,25–14,76 мг-экв/кг. «Аквайс Эконом» – 13,44–13,74 мг-экв/кг. Согласно классификации, значения >10 мг-экв/кг соответствуют сильнозасоленным почвам.

Коэффициент натриево-кальциевого засоления (Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>): Фон – 0,042 (норма). Пескосоляная смесь – 0,64–0,99. «Аквайс Эконом» – 0,96–1,19. Значения > 0,8 свидетельствуют о натриевом типе засоления [22, 28].

Плотный остаток: Фон – 0,019 % (норма). Пескосоляная смесь – 0,184–0,193 %. «Аквайс Эконом» – 0,059–0,143 %.

Осмотическое давление почвенного раствора: Рассчитанные значения для фона – 0,04 атм; для пескосоляной смеси – 0,23–0,30 атм; для «Аквайс Эконом» – 0,27–0,28 атм. Значения > 0,2 атм являются критическими для большинства растений.

Пескосоляная смесь вызывает более выраженное увеличение суммы ионов и плотного остатка. «Аквайс Эконом» приводит к большему накоплению хлоридов и формированию более токсичного натриевого типа засоления.

Согласно СанПиН 2.1.7.1287-03, зафиксировано превышение ПДК по хлоридам в 5–11 раз, по натрию – в 70–120 раз. Суммарный показатель загрязнения  $Z_c = 85–135$  соответствует опасному уровню.

Наблюдается прямая зависимость между увеличением суммы токсичных солей и снижением длины корней проростков, ростом содержания  $Na^+$  и уменьшением энергии прорастания, увеличением СГ и появлением хлорозов у растений.

Таким образом, применение противогололедных реагентов вызывает опасное техногенное засоление городских почв. Сформировался хлоридно-натриевый тип засоления с высокой концентрацией токсичных ионов. Уровень засоления превышает критические значения для роста растений и требует проведения мелиоративных мероприятий.

Для интегральной оценки экологической опасности противогололедных реагентов и их влияния на живые организмы был проведен метод биотестирования талых вод с использованием кресс-салата (*L. sativum*). Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты фитотестирования образцов талых вод с территорий с различным уровнем антропогенной нагрузки

Территория	Энергия прорастания	Всхожесть	Длина корня	Длина побега
	%		см	
Фон	98	99	7,8	6,1
<b>Территория с наивысшей степенью антропогенной нагрузки</b>				
Пескосоляная смесь	82	85	4,1	3,8
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	80	83	3,7	3,6
<b>Территория общественных пространств</b>				
Пескосоляная смесь	85	87	4,9	4,1
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	78	80	3,6	3,4
<b>Территория жилых пространств</b>				
Пескосоляная смесь	80	82	3,8	3,5
Противогололедные реагенты (Аквайс Эконом)	75	78	3,2	3,1

Фоновая территория демонстрирует оптимальные значения всех параметров, соответствующие незагрязненным почвам.

Влияние противогололедных реагентов:

- Энергия прорастания: Пескосоляная смесь – 80–85 % (снижение на 13–18 %); «Аквайс Эконом» – 75–80 % (снижение на 18–23 %).

- Всхожесть: Пескосоляная смесь – 82–87 % (снижение на 12–17 %); «Аквайс Эконом» – 78–83 % (снижение на 16–21 %).

- Длина корня: Пескосоляная смесь – 3,8–4,9 см (снижение на 37–51 %); «Аквайс Эконом» – 3,2–3,7 см (снижение на 53–59 %).

- Длина побега: Пескосоляная смесь – 3,5–4,1 см (снижение на 33–43 %); «Аквайс Эконом» – 3,1–3,6 см (снижение на 41–49 %).

Оценка фитотоксичности по классам опасности (ГОСТ 33637-2015) [21]:

- Территории с наивысшей нагрузкой и общественных пространств: оба реагента – IV класс (умеренно опасные).

- Территории жилых пространств: пескосоляная смесь – IV класс (умеренно опасные); «Аквайс Эконом» – III класс (опасные).

Интегральный показатель фитотоксичности:

- Территории с наивысшей нагрузкой: пескосоляная смесь – 0,65 (умеренная фитотоксичность); «Аквайс Эконом» – 0,59 (умеренная фитотоксичность).

- Территории жилых пространств: пескосоляная смесь – 0,61 (умеренная фитотоксичность); «Аквайс Эконом» – 0,52 (высокая фитотоксичность).

Сравнительная оценка реагентов показала, что «Аквайс Эконом» демонстрирует более выраженное действие: снижение длины корня на 15–20 % больше, чем у пескосоляной смеси, более значительное угнетение энергии прорастания, формирование III класса опасности на территориях жилых пространств.

Выявлена сильная обратная корреляция между содержанием  $Cl^-$  и длиной корня ( $r = -0,89$ ), суммой токсичных солей и всхожестью ( $r = -0,85$ ), концентрацией  $Na^+$  и энергией прорастания ( $r = -0,82$ ).

Оценка экологического риска показала, что снижение длины корня  $> 50\%$  соответствует высокому риску, снижение всхожести  $> 15\%$  – среднему риску, индекс фитотоксичности  $< 0,6$  – высокому риску.

В целом, талые воды с территорий, обрабатываемых противогололедными реагентами, проявляют выраженную фитотоксичность. Наиболее чувствительным показателем является длина корня. Реагент «Аквайс Эконом» демонстрирует более высокую токсичность, особенно на территориях жилых пространств.

**Выводы.** Проведенное комплексное исследование позволило оценить влияние различных типов противогололедных реагентов на состояние почв урбозкосистемы г. Владимира. Полученные результаты свидетельствуют о значительной трансформации физико-химических свойств почвенного покрова под воздействием техногенной нагрузки. Применение противогололедных реагентов (как пескосоляной смеси, так и коммерческого препарата «Аквайс Эконом») приводит к комплексной деградации городских почв, включающей химическое загрязнение, развитие техногенного засоления, ухудшение физико-химических свойств и снижение биологической активности. Полученные данные обосновывают необходимость пересмотра существующей практики зимнего содержания городских территорий, внедрения более экологичных альтернатив и разработки системы реабилитации почвенного покрова урбозкосистем.

1. Установлена значительная химическая нагрузка на снежный покров. Химический состав снега на опытных территориях достоверно отличается от фоновых значений. Зафиксировано превышение концентраций хлоридов в 2,0–2,2 раза, а также повышение содержания ионов кальция и магния, особенно выраженное при использовании реагента «Аквайс Эконом». Это подтверждает, что талые воды являются первичным источником поступления солей в почву.

2. Выявлена деградация физических свойств почв. Под воздействием противогололедных реагентов происходит статистически значимое изменение гранулометрического состава, проявляющееся в опесчанивании – снижении содержания физической глины ( $< 0,01$  мм) на 4,6–23,2 % по сравнению с фоном. Наиболее существенные изменения отмечены при применении пескосоляной смеси. Параллельно ухудшается агрегатный состав: содержание агрономически ценных фракций (0,25–

10,0 мм) снижается на 7,6–13,6 %, а коэффициент структурности ухудшается с 3,1 (оптимальный) до 1,2–2,6 (неудовлетворительный и удовлетворительный).

3. Доказано развитие техногенного засоления и подщелачивания. Анализ ионно-солевого состава почв выявил формирование хлоридно-натриевого типа засоления с суммой токсичных солей 10,25–14,76 мг-экв/кг, что соответствует категории сильнозасоленных почв. Реакция почвенной среды смещается из слабокислой (рН 6,07) в щелочную (рН 8,01–8,61) зону. Натриевый тип засоления подтверждается коэффициентом  $Na^+/Ca^{2+}$ , достигающим значений 0,96–1,19.

4. Обнаружено комплексное изменение химических свойств и плодородия. Несмотря на увеличение содержания подвижных форм фосфора (в 1,4–1,7 раза) и калия (в 1,6–2,3 раза), наблюдается негативная тенденция к снижению содержания органического углерода на 20–36 %, что свидетельствует о деградации органического вещества почв. Увеличение содержания общего азота при одновременном подщелачивании среды указывает на трансформацию азотного фонда и возможное подавление процессов минерализации, что требует дополнительных исследований минеральных форм азота.

5. Установлена высокая фитотоксичность талых вод. Методом биотестирования доказано угнетающее действие талых вод на развитие тест-культуры кресс-салата. Наиболее чувствительным показателем является длина корня, которая снижается на 37–59 % по сравнению с контролем. Интегральный индекс фитотоксичности составляет 0,52–0,65, что соответствует умеренной и высокой степени фитотоксичности, причем реагент «Аквайс Эконом» проявляет более выраженное токсическое действие.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев П.А. Экспериментальное исследование засоления и осолонцевания урбаноземов при использовании противогололедных реагентов на примере Северного административного округа г. Москвы // Проблемы и перспективы современного эффективного землепользования: сб. науч. трудов. – М.: ГУЗ, 2013. – С. 141-147.
2. Влияние противогололедных реагентов на газонные травы / Е.А. Гладков [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 5. – С. 157-159.
3. 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. (6-7 апреля 1989 г. Москва) – М., 1990. – С. 197-202
4. Покаржевский А.Д. Пространственная экология почвенных животных / А.Д. Покаржевский, К.Б. Гонгальский, А.С. Зайцев, Ф.А. Савин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 174 с.
5. Герасимов, А. О. Влияние загрязнения дерново-подзолистой почвы противогололедными реагентами на высшие растения и почвенные микроорганизмы / А. О. Герасимов, М. В. Чугунова // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19, № 4. – С. 59-63.
6. Герасимов А.О., Чугунова М.В. Воздействие противогололедных средств на основе хлоридов магния на высшие растения и почвенные микроорганизмы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – Вып. 217. – С 16-31.
7. Зайдельман, Ф.Р. Практикум по курсу «Мелиорация почв» / Ф.Р. Зайдельман [и др.]. – М.: Издательство Московского университета, 2002. – 52 с.
8. Шевченко А.В., Апухтина Н.В., Савич В.И. Техногенное осолонцевание почв Московской области // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2008. – Вып. 1. – С. 50-57.
9. Методические аспекты оценки фитотоксических свойств противогололедных реагентов А.В. Сбитнев [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 8. – С. 773-778.
10. 27. Покаржевский А.Д. Пространственная экология почвенных животных / А.Д. Покаржевский, К.Б. Гонгальский, А.С. Зайцев, Ф.А. Савин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 174 с.
11. Методические подходы к обоснованию гигиенических требований к применению противогололедных материалов / И. А. Крятов, Н. И. Тонкопий, М. А. Водянова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 6. – С. 52-54.

12. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Введ. 2018-07-01. – М. : Стандартинформ, 2017. – 20 с.
13. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – Введ. 1990-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1989. – 8 с.
14. ГОСТ 17.4.2.01-81. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния. – Введ. 1982-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 8 с.
15. ГОСТ 17.4.3.06-86 (СТ СЭВ 5291-85). Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. – Введ. 1987-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 4 с.
16. ГОСТ 33637-2015. Тестирование биологическое. Метод определения токсичности почв и почвогрунтов с использованием кресс-салата (*Lepidium sativum* L.). – Введ. 2016-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с
17. Методические аспекты оценки фитотоксических свойств противогололедных реагентов А.В. Сбитнев [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 8. – С. 773-778.
18. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – Введ. 1992-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
19. ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. – Введ. 1986-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 8 с.
20. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. – Введ. 1992-01-01. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 8 с.
21. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
22. ГОСТ 26424-85. Почвы. Методы определения ионов хлорида в водной вытяжке. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
23. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения ионов хлорида и сульфата в водной вытяжке. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
24. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения ионов сульфата в водной вытяжке. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
25. ГОСТ 26427-85. Почвы. Методы определения натрия и калия в водной вытяжке. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
26. ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. – Введ. 1986-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 6 с.
27. ГОСТ 26950-86 (СТ СЭВ 5292-85). Почвы. Метод определения обменного натрия. – Введ. 1987-07-01. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 4 с.
28. Беспалова Е.В. Мониторинг загрязнения снежного покрова в условиях городской среды (на примере города Воронежа) // Международный молодёжный экологический Форум стран СНГ, 28-30 ноября, Москва, материалы и доклады. – СПб.; 2013. – С. 185-188.
29. Касимов Н.С. Методология и методика ландшафтно-геохимического анализа городов // Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 1995. – С. 6-39
30. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003. – М. : Минздрав России, 2003. – 154 с.

## REFERENCES

1. Vasiliev, P. A. (2013). Eksperimental'noye issledovaniye zasoleniya i osolontsevaniya urbanozemov pri ispol'zovanii protivogolodnykh reagentov na primere Severnogo administrativnogo okruga g. Moskvy [Experimental study of salinization and alkalization of urban soils using de-icing chemicals in the Northern Administrative District of Moscow]. In *Problemy i perspektivy sovremennogo effektivnogo zemlepol'zovaniya: sb. nauch. trudov* [Problems and prospects of modern effective land use: Collection of scientific papers] (pp. 141–147). Moscow, Russia: State University of Land Use Planning.
2. Gladkov, E. A., Gladkova, O. V., Dolgikh, Y. I., & Terekhin, D. V. (2016). Vliyaniye protivogolodnykh reagentov na gazonnyye travy [Influence of de-icing reagents on lawn grasses]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 18(5), 157–159.
3. Obukhov, A. I., & Lepneva, O. M. (1990). Ekologicheskiye posledstviya primeneniya protivogolodnykh soyedineniy na gorodskikh avtomagistralyakh i mery po ikh ustraneniyu [Ecological consequences of using de-icing compounds on city highways and measures for their mitigation]. In *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii Ekologicheskiye issledovaniya v Moskve i Moskovskoy oblasti* [Proceedings of the

- Scientific-Practical Conference on Ecological Research in Moscow and the Moscow Region] (pp. 197–202). Moscow, Russia.
4. Pokarzhevskiy, A. D., Gongal'skiy, K. B., Zaytsev, A. S., & Savin, F. A. (2007). *Prostranstvennaya ekologiya pochvennykh zhivotnykh* [Spatial ecology of soil animals]. Moscow, Russia: KMK Scientific Press.
  5. Gerasimov, A. O., & Chugunova, M. V. (2015). Vliyaniye zagryazneniya dernovo-podzolistoy pochvy protivogolelednymi reagentami na vysshiye rasteniya i pochvennyye mikroorganizmy [Influence of sod-podzolic soil contamination with de-icing reagents on higher plants and soil microorganisms]. *Ecology and Industry of Russia*, 19(4), 59–63.
  6. Gerasimov, A. O., & Chugunova, M. V. (2016). Vozdeystviye protivogolelednykh sredstv na osnove khloridov magniya na vysshiye rasteniya i pochvennyye mikroorganizmy [The impact of de-icing agents based on magnesium chlorides on higher plants and soil microorganisms]. *Izvestia of the St. Petersburg Forestry Academy*, 217, 16–31.
  7. Zaydelman, F. R., Nikiforova, A. S., Stepantsova, L. V., et al. (2002). *Praktikum po kursu Melioratsiya pochv* [Practical course on "Soil reclamation"]. Moscow, Russia: Moscow University Press.
  8. Shevchenko, A. V., Apukhtina, N. V., & Savich, V. I. (2008). Tekhnogennoye osolontsevaniye pochv Moskovskoy oblasti [Technogenic alkalization of soils in the Moscow region]. *Izvestia of the Timiryazev Agricultural Academy*, 1, 50–57.
  9. Sbitnev, A. V., Onishchenko, G. G., Rakhmanin, Y. A., et al. (2016). Metodicheskiye aspekty otsenki fitotoksicheskikh svoystv protivogolelednykh reagentov [Methodological aspects of assessing phytotoxic properties of de-icing reagents]. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 95(8), 773–778.
  10. Pokarzhevskiy, A. D., Gongal'skiy, K. B., Zaytsev, A. S., & Savin, F. A. (2007). *Prostranstvennaya ekologiya pochvennykh zhivotnykh* [Spatial ecology of soil animals]. Moscow, Russia: KMK Scientific Press. (Duplicate of entry 4)
  11. Kryatov, I. A., Tonkopi, N. I., Vodyanova, M. A., et al. (2014). Metodicheskiye podkhody k obosnovaniyu gigiyenicheskikh trebovaniy k primeneniyu protivogolelednykh materialov [Methodological approaches to substantiating hygienic requirements for the use of de-icing materials]. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 93(6), 52–54.
  12. Federal Agency on Technical Regulating and Metrology. (2017). GOST 17.4.4.02-2017. Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza [State Standard GOST 17.4.4.02-2017. Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of soil for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow, Russia: Standartinform.
  13. USSR State Committee for Standards. (1989). GOST 28168-89. Pochvy. Otkor prob [State Standard GOST 28168-89. Soils. Sampling]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
  14. USSR State Committee for Standards. (1981). GOST 17.4.2.01-81. Okhrana prirody. Pochvy. Nomenklatura pokazateley sanitarnogo sostoyaniya [State Standard GOST 17.4.2.01-81. Nature protection. Soils. Nomenclature of sanitary condition indicators]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
  15. USSR State Committee for Standards. (1986). GOST 17.4.3.06-86 (ST SEV 5291-85). Okhrana prirody. Pochvy. Obshchiye trebovaniya k klassifikatsii pochv po vliyaniyu na nikh khimicheskikh zagryaznyayushchikh veshchestv [State Standard GOST 17.4.3.06-86. Nature protection. Soils. General requirements for the classification of soils influenced by chemical pollutants]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
  16. Federal Agency on Technical Regulating and Metrology. (2015). GOST 33637-2015. Testirovaniye biologicheskoye. Metod opredeleniya toksichnosti pochv i pochvogruntov s ispol'zovaniyem kress-salata (*Lepidium sativum* L.) [State Standard GOST 33637-2015. Biological testing. Method for determining the toxicity of soils and soil grounds using garden cress (*Lepidium sativum* L.)]. Moscow, Russia: Standartinform.
  17. Sbitnev, A. V., Onishchenko, G. G., Rakhmanin, Y. A., et al. (2016). Metodicheskiye aspekty otsenki fitotoksicheskikh svoystv protivogolelednykh reagentov [Methodological aspects of assessing phytotoxic properties of de-icing reagents]. *Gigiena i Sanitariya* [Hygiene and Sanitation], 95(8), 773–778. (Duplicate of entry 9)
  18. USSR State Committee for Standards. (1991). GOST 26207-91. Pochvy. Opredeleniye podviznykh soyedineniy fosfora i kaliya po metodu Kirsanova v modifikatsii TsINA [State Standard GOST 26207-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the Kirsanov method modified by CINA]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
  19. USSR State Committee for Standards. (1984). GOST 26107-84. Pochvy. Metody opredeleniya obshchego azota [State Standard GOST 26107-84. Soils. Methods for determination of total nitrogen]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.

20. USSR State Committee for Standards. (1991). GOST 26213-91. Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva [State Standard GOST 26213-91. Soils. Methods for determination of organic matter]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
21. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26423-85. Pochvy. Metody opredeleniya udel'noy elektricheskoy provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoy vytyazhki [State Standard GOST 26423-85. Soils. Methods for determination of specific electrical conductivity, pH and solid residue of water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
22. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26424-85. Pochvy. Metody opredeleniya ionov khlorida v vodnoy vytyazhke [State Standard GOST 26424-85. Soils. Method for determination of chloride ions in water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
23. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26425-85. Pochvy. Metody opredeleniya ionov khlorida i sul'fata v vodnoy vytyazhke [State Standard GOST 26425-85. Soils. Methods for determination of chloride and sulfate ions in water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
24. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26426-85. Pochvy. Metody opredeleniya ionov sul'fata v vodnoy vytyazhke [State Standard GOST 26426-85. Soils. Methods for determination of sulfate ions in water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
25. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26427-85. Pochvy. Metody opredeleniya natriya i kaliya v vodnoy vytyazhke [State Standard GOST 26427-85. Soils. Method for determination of sodium and potassium in water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
26. USSR State Committee for Standards. (1985). GOST 26428-85. Pochvy. Metody opredeleniya kal'tsiya i magniya v vodnoy vytyazhke [State Standard GOST 26428-85. Soils. Methods for determination of calcium and magnesium in water extract]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
27. USSR State Committee for Standards. (1986). GOST 26950-86 (ST SEV 5292-85). Pochvy. Metod opredeleniya obmennogo natriya [State Standard GOST 26950-86. Soils. Method for determination of exchangeable sodium]. Moscow, Russia: Standards Publishing House.
28. Bespalova, E. V. (2013). Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova v usloviyakh gorodskoy sredy (na primere goroda Voronezha) [Monitoring of snow cover pollution in urban environments (on the example of the city of Voronezh)]. In *Materialy i doklady Mezhdunarodnogo molodezhnogo ekologicheskogo Forumu stran SNG* [Proceedings of the International Youth Ecological Forum of the CIS Countries] (pp. 185–188). St. Petersburg, Russia.
29. Kasimov, N. S. (1995). Metodologiya i metodika landshaftno-geokhimicheskogo analiza gorodov [Methodology and techniques of landscape-geochemical analysis of cities]. In N. S. Kasimov (Ed.), *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov* [Ecogeochemistry of urban landscapes] (pp. 6–39). Moscow, Russia: Moscow University Press.
30. Ministry of Health of Russia. (2003). GN 2.1.5.1315-03. Predel'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'yektov khozyaystvenno-pit'yevogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya [Hygienic standard GN 2.1.5.1315-03. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in water of water bodies for domestic, drinking and cultural water use]. Moscow, Russia.

#### INFLUENCE OF ANTI-ICE REAGENTS ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF SOILS IN AREAS OF VARIOUS ANTHROPOGENIC LOAD

*A. O. Ragimov, N. V. Chygai*

A comprehensive study was conducted to examine the influence of various types of anti-icing agents (sand-salt mixture and the commercial product "Akvays Econom") on the physicochemical properties of soils in the Vladimir urban ecosystem with varying levels of anthropogenic load. It was found that the use of anti-icing agents leads to a significant chemical load on the snow cover, expressed in a multiple excess of background concentrations of chlorides, calcium, and magnesium. The soils showed the development of technogenic salinization of the chloride-sodium type with a total toxic salt content of 10.25–14.76 mg-eq/kg, which corresponds to the category of highly saline soils, and a sharp alkalization (pH 8.01–8.61). Degradation of the physical properties of urban soils, manifested in sandification and deterioration of the aggregate composition, was proven. Despite an increase in the content of mobile forms of phosphorus and potassium, a decrease in the content of organic matter was noted. Bioassays using garden cress (*Lepidium sativum* L.) revealed moderate to high phytotoxicity of meltwater, most pronounced with the "Akvays Econom" reagent. The study results demonstrate the complex degradation of urban soils under the influence of deicing agents and substantiate the need to revise winter maintenance practices in urban areas.

**Keywords:** deicing agents, urban ecosystems, technogenic salinization, soil physicochemical properties, phytotoxicity, particle size distribution, organic carbon, bioassays, garden cress, environmental monitoring.

*Поступила в редакцию 23.01.2026 г.*

***Рагимов Александр Олегович***

кандидат биологических наук, доцент;  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет», г. Владимир, РФ;  
Владимирский филиал ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»,  
г. Владимир, РФ.  
E-mail: pifo@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-4823-6509  
SPIN-код: 7899-7349

***Ragimov Aleksandr Olegovich***

Candidate of Biological Sciences, docent;  
Vladimir State University, Vladimir, Russia;  
Volga Region Research Medical University,  
Vladimir, Vladimir Branch, Russia.

***Чугай Наталья Валерьевна***

кандидат биологических наук, доцент;  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет», г. Владимир, РФ;  
Владимирский филиал ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»,  
г. Владимир, РФ.  
E-mail: chugaj-n@yandex.ru  
ORCID: 0009-0000-0203-2047  
SPIN-код: 4062-7713

***Chugay Natalya Valeryevna***

Candidate of Biological Sciences, docent;  
Vladimir State University, Vladimir, Russia;  
Volga Region Research Medical University,  
Vladimir, Vladimir Branch, Russia.