

ПРИДОРОЖНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ В УСЛОВИЯХ ЭРОЗИИ И ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОЧВОГРУНТОВ СОЛЕВЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ

Е. С. ШАВАЛДА^{1),2)}, А. Ю. КОМАР¹⁾, А. В. СУДНИК¹⁾, А. Н. БАТЯН²⁾

¹⁾Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича, Национальная академия наук Беларуси,
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

²⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Описаны придорожные фитоценозы вдоль полосы отвода автодорог г. Минска и Минской обл. Выделенные синтаксоны относятся к 3 классам – *Polygono-Poetea annuae*, *Artemisietea vulgaris* и *Molinio-Arrhenatheretea*, включающие 4 порядка, 5 союзов, 11 ассоциаций и 2 безранговых сообщества. Нахождение выделенных фитоценозов (13 шт.) отражает различия в условиях произрастания в пределах полосы отвода – положение в полосе отвода (кюветы, откосы и др.), интенсивность эрозии почвогрунтов, засоление вследствие использования противогололедных реагентов и другие антропогенные факторы. Проведена оценка степени эрозии придорожных почв и их засоления в результате использования противогололедных реагентов в зависимости от конструкции полосы отвода. Наибольшей эрозии подвержены экспозиции «Выемка» и «Насыпь» – средний балл составил 2,7 из 4,0, а максимальная площадь эрозии почвогрунтов отмечается на участках непосредственно у дорожного полотна всех экспозиций и на откосах «Выемок» – средний балл 3,0–4,0. Характерны признаки миграции ионов Na^+ и Cl^- между почвенными горизонтами 0–10 см и 10–20 см в пределах полосы отвода в течение сезона вегетации – содержание ионов в весенний период было преимущественно выше в верхнем горизонте (0–10 см); летом концентрация ионов была выше в нижнем горизонте (10–20 см), однако в условиях капиллярного подъема минерализованных растворов к поверхностному слою показатели оставались близки верхнему горизонту (0–10 см). Индекс интенсивности солевого воздействия (ИСВ) показал средний и высокий уровень влияния солей на растительность в «Нулевом положении» и «Насыпи». ИСВ в «Выемке» сохраняется в пределах допустимого уровня. Полученные данные о структуре фитоценозов в условиях их произрастания позволили выработать ряд рекомендаций по уходу за полосой отвода и созданию устойчивого придорожного газона.

Ключевые слова: автомобильная дорога; полоса отвода; придорожная растительность; эрозия почв; противогололедные реагенты; антропогенное засоление; хлориды; водорастворимый натрий.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант НАУКА М № Б23М-001 от 2 мая 2023 г.).

Образец цитирования:

Шавалда ЕС, Комар АЮ, Судник АВ, Батян АН. Придорожные фитоценозы в условиях эрозии и загрязненности почвогрунтов солевыми компонентами противогололедных реагентов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2024;3:33–48.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-3-33-48>

For citation:

Shavalda YaS, Komar AYU, Sudnik AV, Batyan AN. Roadside phytocenoses under conditions of erosion and soil pollution with salt components of deicing reagents. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2024;3:33–48. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-3-33-48>

Авторы:

Евгений Сергеевич Шавалда – научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем¹⁾; преподаватель кафедры экологической медицины и радиобиологии²⁾.

Артур Юрьевич Комар – научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем.

Александр Владимирович Судник – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией оптимизации и мониторинга экосистем.

Анатолий Николаевич Батян – доктор медицинских наук, профессор; заведующий кафедрой экологической медицины и радиобиологии.

Authors:

Yauheni S. Shavalda, researcher at the laboratory of optimization and ecosystems monitoring^a; lecturer of the department of environmental medicine and radiobiology^b.

e.shavalda@gmail.com

Artur Yu. Komar, researcher at the laboratory of optimization and ecosystems monitoring.

artur.komar@tut.by

Aliaksandr V. Sudnik, PhD (biology), docent; head of the laboratory of optimization and monitoring.

asudnik@tut.by

Anatoly N. Batian, doctor of science (medicine), full professor; head of the department of environmental medicine and radiobiology.
ant_b@tut.by

ROADSIDE PHYTOCOENOSES UNDER CONDITIONS OF EROSION AND SOIL POLLUTION WITH SALT COMPONENTS OF DEICING REAGENTS

Ya. S. SHAVALDA^{a,b}, A. Yu. KOMAR^a, A. V. SUDNIK^a, A. N. BATYAN^b

^aV. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus
27 Akademičnaja Street, Minsk 220072, Belarus

^bInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: Ya. S. Shavalda (e.shavalda@gmail.com)

Roadside phytocenoses along the right-of-way of highways in Minsk and the Minsk region are described. The identified syntaxa belong to 3 classes – *Polygono-Poetea annuae*, *Artemisietea vulgaris* and *Molinio-Arrhenatheretea*, including 4 orders, 5 unions, 11 associations and 2 unranked communities. The presence of identified phytocenoses (13 pcs.) reflects differences in growing conditions within the right-of-way – position in the right-of-way (ditches, slopes, etc.), intensity of soil erosion, salinization due to the use of de-icing reagents and other anthropogenic factors. An assessment was made of the degree of erosion of roadside soils and their salinization as a result of the use of de-icing reagents, depending on the design of the right-of-way. The «Notch» and «Embankment» exposures are subject to the greatest erosion – the average score was 2,7 out of 4,0, and the maximum area of soil erosion is observed in areas directly next to the roadway of all exposures and on the slopes of the «Notch» – an average score of 3,0–4,0. There are characteristic signs of migration of Na^+ and Cl^- ions between soil horizons of 0–10 cm and 10–20 cm within the right-of-way during the growing season – the content of ions in the spring was predominantly higher in the upper horizon (0–10 cm); in summer, the ion concentration was higher in the lower horizon (10–20 cm), however, under conditions of capillary rise of mineralized solutions to the surface layer, the indicators remained close to the upper horizon (0–10 cm). The salt impact intensity index (SII) showed a medium and high level of salt influence on vegetation in the «zero position» and «Embankment». The SII in the «Notch» is maintained within the acceptable level. The data obtained on the structure of phytocenoses under their growing conditions made it possible to develop recommendations for caring for the right-of-way and creating a sustainable roadside lawn.

Keywords: highway; right-of-way; roadside vegetation; soil erosion; de-icing reagents; anthropogenic salinization; chlorides; water-soluble sodium.

Acknowledgements. The work was carried out with financial support from the Belarusian Republican Foundation for Basic Research (grant NAUKA M № B23M-001 dated May 2, 2023).

Введение

Комплекс антропогенных факторов вдоль автомобильных дорог приводит к трансформации придорожной растительности. Фитоценозы характеризуются нестабильностью флористического состава, вызванной наличием внутри- и межсезонных флуктуаций и сукцессий вследствие специфики антропогенного воздействия (периодичность сезонного кошения, состояние полосы отвода, подсыпание почвогрунта и подсеивание семян придорожных травосмесей) в придорожных территориях. В сообществах широко представлены виды сорно-рудеральной растительности вследствие регрессионных изменений [1]. Для придорожных фитоценозов характерно снижение доли аборигенных видов с ростом антропофитов [2].

Одним из важных факторов негативного воздействия на придорожную растительность является засоление вследствие сезонного использования противогололедных солевых реагентов (ПГР), на 95–98 % представленных NaCl . В результате засоления компонентами ПГР происходит изменение кислотности почв, ионообменных свойств органогенных горизонтов и характера естественных миграционных потоков элементов в системе «почва – растение» [3; 4]. Избыточное засоление приводит к изменению структуры придорожных почв: мелкие частицы грунта удерживают Na^+ , что приводит к снижению связности почвенных частиц и влияет на развитие эрозионных процессов, вымывание питательных веществ из грунта, рост количества мелкодисперсных пылевых частиц. Снижается способность корнями всасывать насыщенный солями водный раствор – эффект солевой засухи в условиях избытка воды. Избыток солей в почве приводит к ее подщелачиванию, что также изменяет состав и структуру фитоценозов, снижает доступность питательных веществ [5; 6].

Высокое засоление внешне сопровождается солевым ожогом, недоразвитостью побегов, уменьшением содержания хлорофилла, некрозом края листьев с последующим их отмиранием. Увеличение содержания хлоридов приводит к снижению активности почвенной микрофлоры и вызывает ее частичную гибель [3].

Оценивая «порог токсичности» водорастворимого натрия и хлоридов на растительность, не существует общего показателя критического содержания ионов в почве, при которых снижается жизнеспособность растений. В ряде научных работ предлагаются величины для определения «порога токсичности» Na^+ – 132–260 мг/кг и Cl^- – 39–350 мг/кг [7–11].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлась структура придорожной растительности в пределах полосы отвода с анализом степени эрозии почвогрунтов и накоплением в почвогрунте ионов Na^+ и Cl^- вследствие использования ПГР¹. Для исследования полосы отвода было заложено 112 эколого-фитоценологических профилей (ЭФП) вдоль магистральных и республиканских автодорог г. Минска и Минской обл., на 9 ЭФП проведен анализ эрозии почвогрунтов с отбором почвенных образцов (рис. 1).

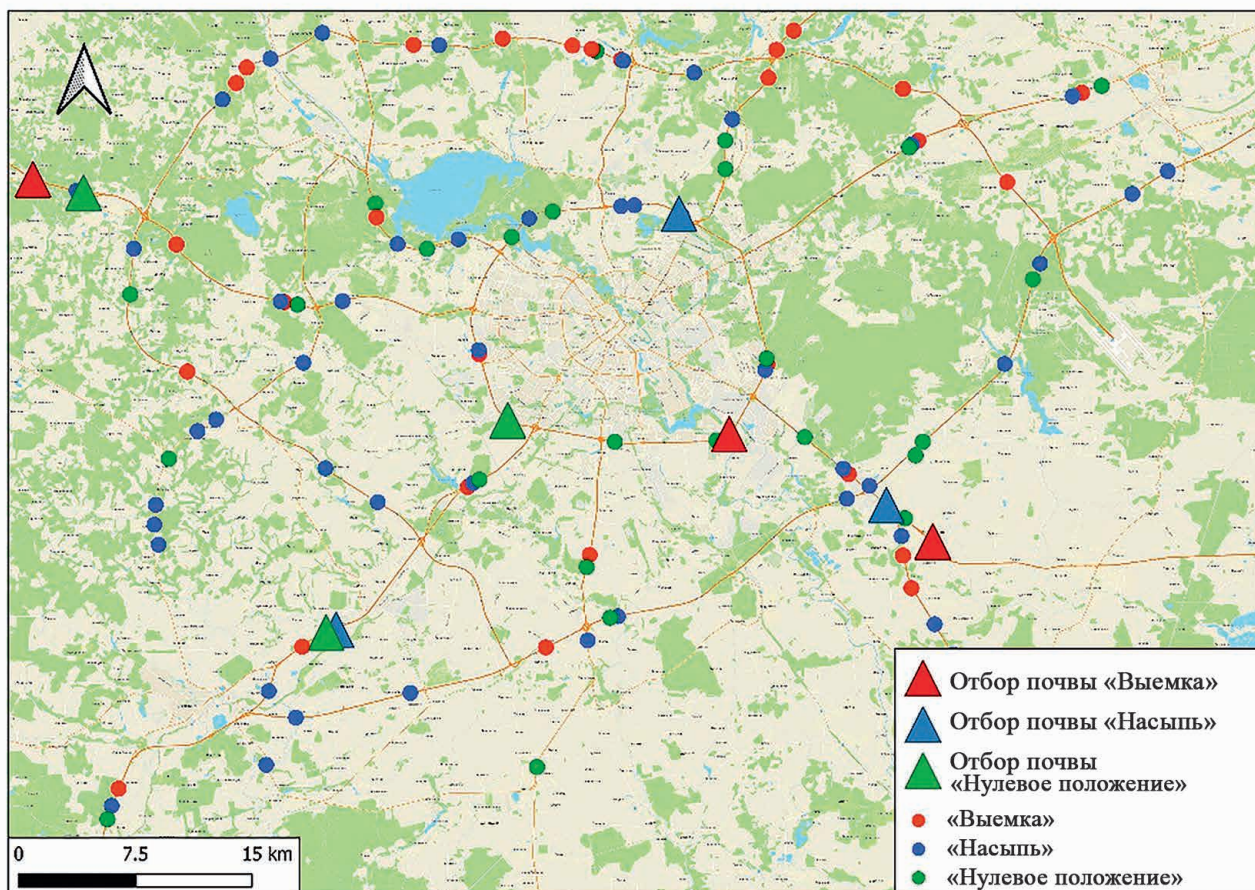


Рис. 1. Участки исследования придорожной растительности в пределах полосы отвода и в зависимости от ее конструкции (экспозиции)

Fig. 1. Areas for studying roadside vegetation within the right-of-way and depending on its design (exposure)

Участки исследования закладывались в трех экспозициях («Выемка», «Насыпь» и «Нулевое положение») с разделением на соответствующие сектора в зависимости от конструкции полосы отвода (рис. 2). Экспозиция «Выемка» была разделена на 4 исследуемых сектора, «Насыпь» и «Нулевое положение» – на 3 по обе стороны от автодороги². Для каждого отмеченного сектора был определен видовой состав [12; 13], синтаксоны с помощью методологии Й. Браун-Бланке [14] и анализ степени эрозии почвогрунтов [15].

¹Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности: Закон Республики Беларусь, 2 декабря 1994 г., № 3434-ХІІ // Ведомстві Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь. 1995. № 5. С. 31.

²ТКП 302-2018 (33520). Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ. Взамен ТКП 302-2011 (03150). Минск: Госкомимущество; 2018. 104 с.

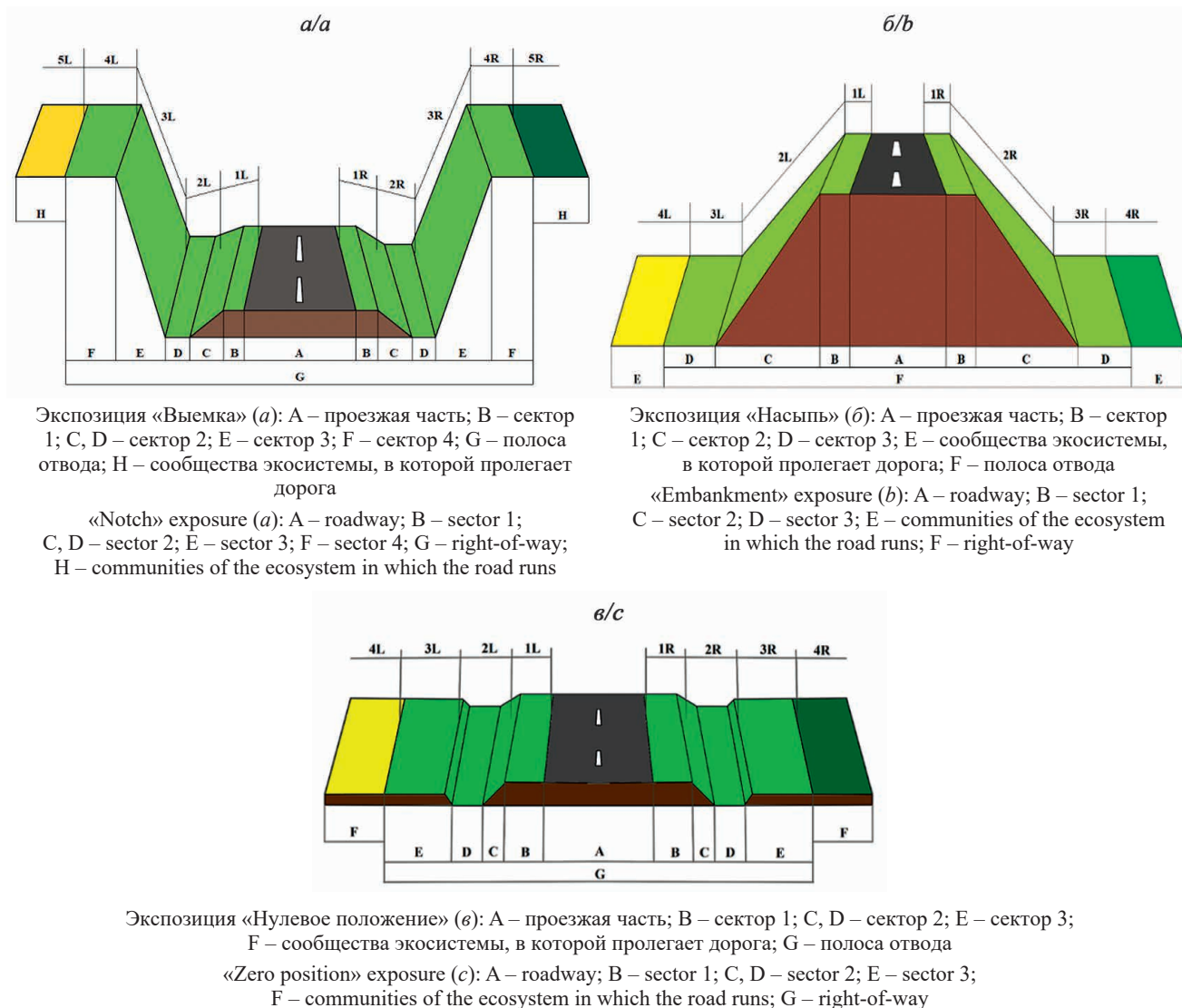


Рис. 2. Структурные части (секторов) полосы отвода для экспозиции «Выемка» (а), «Насыпь» (б), «Нулевое положение» (в)

Fig. 2. Structural parts (sectors) of the right-of-way for «notch» exposure of «Notch» (a), «Embankment» (b) and «Zero position» (c)

Отбор почвенных образцов в летний (август – сентябрь, 60 образцов) и зимне-весенний (март, 60 образцов) периоды проводился с подветренной относительно автодороги стороны (испытывающей преимущественное загрязнение от автодороги)³. В каждом секторе выполнялся отбор образцов почвы на глубине 0–10 см и 10–20 см. Разделение в отборе по периодам года связано с использованием ПГР, чья концентрация в почвогрунте предполагает быть выше в зимне-весенний период. Дальнейший анализ образцов на водородный показатель (pH), хлориды и водорастворимый натрий осуществлялся с использованием Иономера И-130, рН-метра STARTER 3100 и Фотометра пламенного автоматического типа BWB XP⁴⁻⁶.

В данном исследовании в качестве предела критического содержания солей для растительности в почвогрунте была предложена величина предполагаемого «порога токсичности» для ионов Na⁺ и Cl⁻ в 100 мг/кг соответственно [16; 17].

Для оценки вероятностного солевого воздействия на растительность в зависимости от засоления придорожных почв был предложен показатель предполагаемого уровня интенсивности солевого воздействия

³ГОСТ 17.4.4.022017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Москва: Стандартинформ, 2018. 12 с.

⁴СТБ 17.13.05-36-2015. Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический (лабораторный) контроль и мониторинг. Качество почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и сухого остатка водной почвенной вытяжки. Минск: Госстандарт, 2016. 13 с.

⁵ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. Москва: Госстандарт СССР, 1986. 9 с.

⁶Там же. 4 с.

(ИСВ) относительно вероятному «порогу токсичности» в экспозициях и секторах по формуле (1), соответствующей формуле суммарного показателя загрязненности (Z_c) [18]:

$$ИСВ = \sum K_{on} - (n - 1), \quad (1)$$

где K_o – коэффициенты опасности иона (Na^+ или Cl^-);

n – количество исследуемых ионов.

Анализ уровня вероятностного негативного воздействия солевых компонентов ППР проводился по следующим категориям:

ИСВ (допустимый) – <1 ;

ИСВ (низкий) – $1-2$;

ИСВ (средний) – $2-4$;

ИСВ (высокий) – $4-16$;

ИСВ (очень высокий) – >16 .

Для определения экологически опасного уровня концентрации для каждого иона в почвогрунте был рассчитан коэффициент опасности (K_o) по формуле (2):

$$K_o = \frac{C_{\text{образец}}}{C_{\text{п. т.}}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{образец}}$ – содержание иона в отобранном образце почвы, мг/кг;

$C_{\text{п. т.}}$ – порог начала вероятностного токсического действия (для Na^+ и Cl^- началом токсического действия на растительность приняты концентрации 100 мг/кг).

Определение зависимости эрозии придорожных почвогрунтов (площадь территории, подвергнутой эрозии) и накопления в них солей между секторами и по мере удаления от дорожного полотна осуществлялось с помощью коэффициента корреляции (r). Анализ данных выполнен с помощью программы *Microsoft Excel*, данные представлены в форме среднего арифметического значения и его стандартной ошибки ($M \pm m$).

Результаты исследования и их обсуждение

Эрозия придорожных почв. В качестве критериев классификации сохранности почвогрунта в пределах полосы отвода был взят процент (%) от изучаемой площади⁷, занятый эрозией почв и существующие классификации антропогенных типов почв [15]. Анализ почвогрунтов основывался на распределении по баллам деградации почв (рис. 3).

1. Почвогрунт с *0–5 % эрозии анализируемой площади* (приближено к классификациям «почвы с морфологически не измененным профилем, но новыми химическими свойствами» и «нарушенные естественно-восстанавливаемые»). Относится к наиболее отдаленным от дорожного полотна секторам 3 («Насыпь») и 4 («Выемка»). В основном сохраняется дерново-подзолистый тип почв. Отсутствуют явные механические повреждения вследствие кошения, на глубине 10–20 см встречаются элементы строительного песка, ценофлора достаточно замкнута, вклад видов-индикаторов антропогенного воздействия минимален.

2. Почвогрунт с *6–15 % эрозии анализируемой площади* (приближено к классификациям «почвы с измененными и/или перемешанными верхними горизонтами» и «нарушенные естественно-восстанавливаемые / деградированные»). Характерны для участков в результате смыва почвогрунта с вышерасположенных секторов полосы отвода (сектор 2 в «Выемке» и «Нулевом положении», сектор 3 в «Насыпи») с включением разрушенных элементов дорожного покрытия, разметки, строительного и бытового мусора. Имеет признаки «урбанозема» [16; 26]. Нижний горизонт (10–20 см) – строительный песок. Территория минимально представлена сохранившимися естественными почвами с высокой долей привозного почвогрунта.

3. Почвогрунт с *16–30 % эрозии анализируемой площади* (приближено к классификациям «почвы с новыми, сходными естественному или искусственному горизонтам в составе единого профиля» и «деградированные / деградированные эрозионные»). Верхний горизонт 0–10 см представлен частично размытым деградированным привозным почвогрунтом с элементами песка, нижний горизонт 10–20 см – строительный песок с гравием. Местами эрозия достаточно выражена вследствие смыва почвогрунта или механического повреждения из-за кошения.

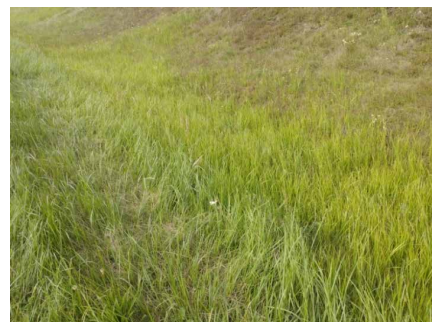
4. Почвогрунт с *31–75 % эрозии анализируемой площади* (приближено к классификациям «почвы с заново созданной системой горизонтов (антропогенный тип почв)» и «деградированные эрозионные»). Выраженное уплотнение, перегрев и эрозия почв (сектора 1 всех экспозиций). Мощность верхнего горизонта местами не достигает 5–10 см, представляя собой смесь мелкодисперсного песка и частиц сохранившегося

⁷ТКП 302-2018 (33520). Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ. Взамен ТКП 302-2011 (03150). Минск: Госкомимущество, 2018. 104 с.

почвогрунта; нижний горизонт представлен песком с гравием. Растительность испытывает высокое антропогенное воздействие и представлена видами, устойчивыми к антропогенному прессу.

Согласно предложенной классификации нарушенности почвогрунтов, для 9 ЭФП проведен анализ между степенью эрозии почв и интенсивностью движения автотранспорта (табл. 1).

Корреляционный анализ зависимости между средним баллом эрозии почв для 9 ЭФП и средней интенсивностью движения автотранспорта показал статистически значимую динамику ($r = 0,8$ при $p < 0,05$) повышения эрозии почв в полосе отвода при увеличении количества автотранспортного потока.



Почвогрунт с 0–5 % эрозии анализируемой площади (1 балл)



Почвогрунт с 6–15 % эрозии анализируемой площади (2 балла)



Почвогрунт с 16–30 % эрозии анализируемой площади (3 балла)



Почвогрунт с 31–75 % эрозии анализируемой площади (4 балла)

Рис. 3. Классификация нарушенности почвогрунтов полосы отвода

Fig. 3. Classification of disturbance of the soil cover of the right-of-way

Таблица 1

Анализ почвогрунтов для 9 ЭФП по секторам

Table 1

Soil cover analysis for 9 EFPs by sector

Название ЭФП – экспозиция	Сектора экспозиции, балл				Средний балл эрозии почв в экспозиции	Средняя интенсивность движения автотранспорта, авт./сут.
	I	II	III	IV		
1 – за МКАД2 – «Выемка»	3	2	3	2	2,5	29122
2 – за МКАД2 – «Насыпь»	3	2	2	–	2,3	29122
3 – за МКАД2 – «Насыпь»	3	3	2	–	2,7	38036
4 – за МКАД2 – «Нулевое положение»	3	2	1	–	2,0	38036
5 – за МКАД2 – «Выемка»	3	2	3	2	2,5	13897
6 – за МКАД2 – «Нулевое положение»	3	1	1	–	1,7	13897
7 – МКАД1 – «Насыпь»	4	2	3	–	3,0	84000
8 – МКАД1 – «Выемка»	4	2	3	3	3,0	84000
9 – МКАД1 – «Нулевое положение»	4	3	3	–	3,3	84000

Максимальная степень эрозии со средним баллом 2,7 отмечалась в «Выемке» и «Насыпи», в «Нулевом положении» средний балл составил 2,3 (табл. 1). Высокая эрозия почв прослеживается на откосах «Выемки», где был присвоен 3,0 балл для всех ЭФП. Разрушение почвогрунта на откосах «Насыпи» менее выражено и соответствует среднему баллу 2,3. Непосредственно примыкающий к дорожному полотну сектор 1 показал для всех экспозиций высокий средний балл 3,3, а в случае ЭФП вдоль МКАД-1 (М-9) средний балл составил 4,0. Частое накопление смываемого почвогрунта с откосов в кювет создает благоприятные условия для фитоценозов – в «Выемке» средний балл составил 2,0, что в 1,5 раза ниже соседних секторов.

Сравнение общей эрозии почв полосы отвода (средний балл) со средней интенсивностью движения автотранспорта показало высокий общий средний балл 3,1 для экспозиций вдоль МКАД-1 (М-9). ЭФП 1–4 показали общий средний балл 2,4, что свидетельствует об отсутствии вероятных различий между участками с интенсивностью движения около 30–40 тыс. авт./сут. Наименьшая интенсивность движения отмечена для 5 и 6 ЭФП, что составляет общий средний балл 2,1.

Загрязненность полосы отвода солевыми компонентами ПГР. Ионы натрия (Na^+). Средняя концентрация ионов в летний период составила 127,56 мг/кг (15,22–298,62 мг/кг) и в весенний – 118,53 мг/кг (14,27–269,62 мг/кг), что означает интенсивный смыв солей весной с талыми водами и вторичного засоления в августе в результате выпарения растворов солей с нижних горизонтов (рис. 4, табл. 2, 3). Среднее содержание Na^+ летом в верхнем горизонте (0–10 см) ниже на 5,73 мг/кг, чем в нижнем (10–20 см); весной тенденция обратная – в верхнем горизонте концентрация была выше на 57,12 мг/кг или в 1,6 раза, что характеризует временное накопление солевого раствора при таянии снега и льда.

В «Выемке» отмечается снижение концентрации Na^+ по мере удаления от дорожного полотна в летний ($r = 0,9$ при $p < 0,05$) и весенний периоды ($r = 0,8$ при $p < 0,05$) без явных признаков накопления в кюветах. В «Насыпи» статистически значимый рост Na^+ во всех горизонтах по мере удаления от дорожного полотна наблюдался только летом ($r = 0,9$ при $p < 0,05$). Накопление ионов в «Насыпи», обратное «Выемке», вызвано аккумуляцией солей в кюветах (сектор 3) в отличие от более равномерного распределения натрия в полосе отвода «Выемки». В «Нулевом положении» динамика схожа с «Выемкой» – содержание ионов снижается в горизонтах по мере удаления от дорожного полотна с выраженным накоплением в слабо сохранившихся кюветах (сектор 2) летом ($r = 0,8$ при $p < 0,05$) и весной ($r = 0,9$ при $p < 0,05$).

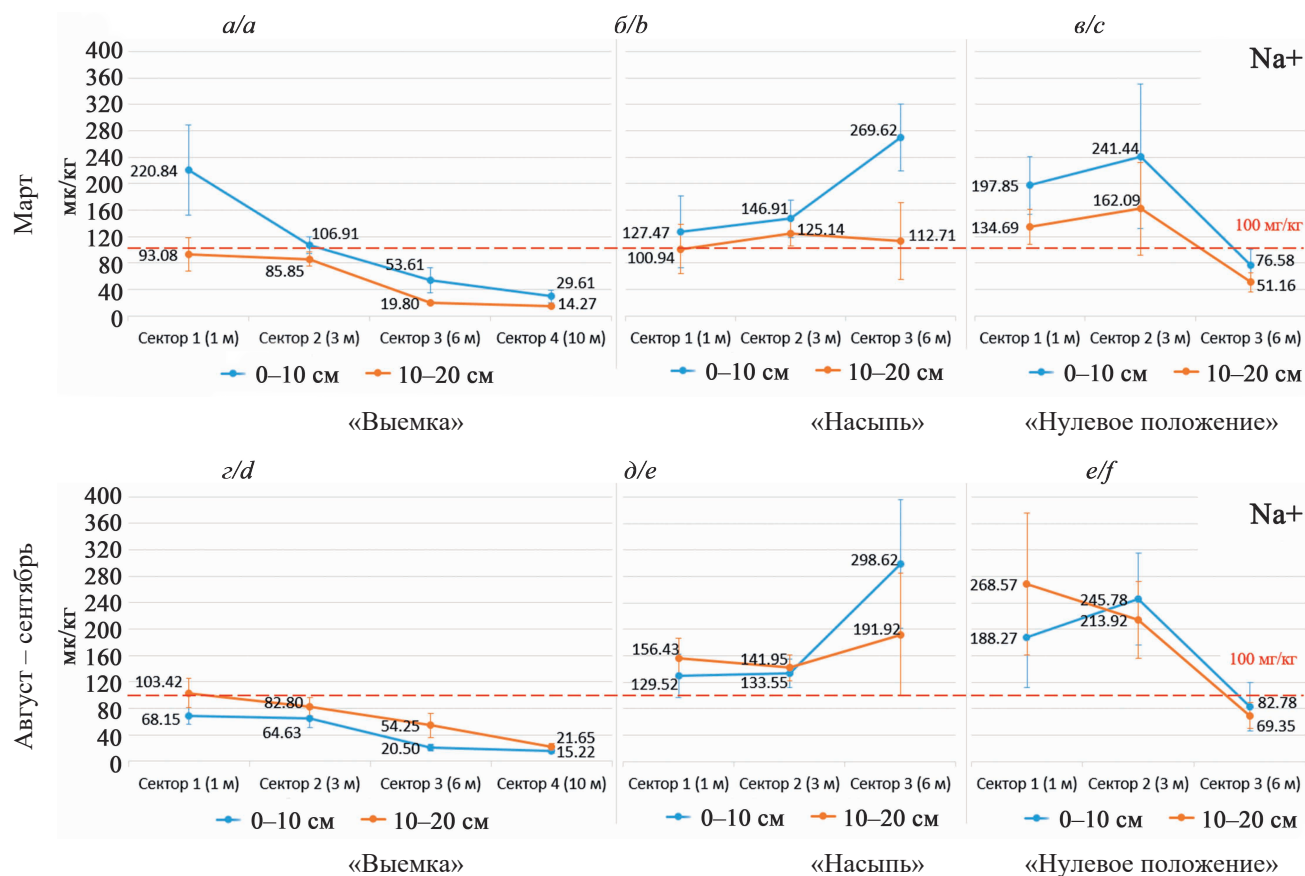


Рис. 4. Концентрация ионов натрия по секторам экспозиций и глубине отбора в летний (снизу) и весенний (сверху) периоды
Fig. 4. Concentration of sodium ions by exposure sectors and sampling depth in summer (lower) and spring (higher) periods

Таблица 2

Показатели концентрации ионов Na⁺ и Cl⁻ в почве придорожных территорий и ее кислотности (pH) за весенний период отбора

Table 2

Indicators of the concentration of Na⁺ and Cl⁻ ions in the soil of roadside areas and its acidity (pH) during the spring sampling period

	Элемент / показатель (глубина), см	Экспозиция «Выемка», мг/кг				Экспозиция «Насыпь», мг/кг			Экспозиция «Нулевое положение», мг/кг		
		Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 4 (10 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)
Март	Na ⁺ (0–10)	220,84 ± 68,384	106,91 ± 12,430	53,61 ± 18,797	29,61 ± 9,483	127,47 ± 54,630	146,91 ± 28,306	269,62 ± 50,374	197,85 ± 43,589	241,44 ± 109,526	76,58 ± 24,419
	Na ⁺ (10–20)	93,08 ± 24,699	85,85 ± 10,522	19,80 ± 2,053	14,27 ± 1,994	100,94 ± 37,417	125,14 ± 19,643	112,71 ± 58,098	134,69 ± 26,666	162,09 ± 70,401	51,16 ± 14,630
	Cl ⁻ (0–10)	198,80 ± 122,602	54,90 ± 12,577	25,34 ± 3,156	22,54 ± 0,203	117,98 ± 38,055	66,31 ± 12,685	215,90 ± 63,547	43,02 ± 18,460	158,41 ± 103,693	38,60 ± 14,693
	Cl ⁻ (10–20)	29,30 ± 12,797	33,12 ± 7,185	26,25 ± 3,028	47,96 ± 20,937	60,71 ± 17,117	50,37 ± 10,163	90,65 ± 54,850	34,88 ± 10,651	68,83± 39,170	24,36 ± 8,134
	pH (0–10)	8,39 ± 0,318	8,16 ± 0,327	7,48 ± 0,166	6,89 ± 0,240	8,68 ± 0,305	8,31 ± 0,149	8,17 ± 0,207	9,09 ± 0,148	8,44 ± 0,026	7,93 ± 0,282
	pH (10–20)	8,17 ± 0,132	7,76 ± 0,130	7,68 ± 0,207	6,83 ± 0,418	8,20 ± 0,384	8,23 ± 0,259	7,83 ± 0,413	9,02 ± 0,069	8,13 ± 0,140	7,93 ± 2,280
	ИСВ (0–10)	3,20	0,62	0,05	0,05	1,45	1,13	3,86	1,41	3,00	0,15
	ИСВ (10–20)	0,22	0,19	0,05	0,05	0,62	0,76	1,03	0,70	1,31	0,05

Таблица 3

Показатели концентрации ионов Na^+ и Cl^- в почве придорожных территорий
и ее кислотности (pH) за летний период отбора

Table 3

Indicators of the concentration of Na^+ and Cl^- ions in the soil of roadside areas
and its acidity (pH) during the summer sampling period

	Элемент / показатель (глубина), см	Экспозиция «Выемка», мг/кг				Экспозиция «Насыпь», мг/кг			Экспозиция «Нулевое положение», мг/кг		
		Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 4 (10 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)
Август – сентябрь	Na^+ (0–10)	68,15 ± 12,605	64,63 ± 13,600	20,50 ± 4,696	15,22 ± 4,816	129,52 ± 32,550	133,55 ± 21,535	298,62 ± 97,482	188,27 ± 76,396	245,75 ± 69,218	82,78 ± 36,918
	Na^+ (10–20)	103,42 ± 21,657	82,80 ± 13,529	54,25 ± 18,475	21,65 ± 5,081	156,43 ± 29,958	141,95 ± 19,649	191,92 ± 93,082	268,57 ± 107,843	213,92 ± 58,242	69,35 ± 19,784
	Cl^- (0–10)	48,18 ± 15,236	30,11 ± 7,861	24,82 ± 2,728	19,75 ± 5,706	26,81 ± 1,564	41,73 ± 8,012	322,61 ± 116,513	195,24 ± 136,066	149,52 ± 88,832	26,11 ± 6,366
	Cl^- (10–20)	69,80 ± 20,724	26,50 ± 6,176	16,51 ± 2,860	24,61 ± 6,905	33,45 ± 1,611	64,29 ± 11,369	251,77 ± 90,340	225,08 ± 159,039	133,07 ± 84,926	28,83 ± 8,603
	pH (0–10)	8,53 ± 0,319	8,33 ± 0,164	7,74 ± 0,255	7,16 ± 0,123	8,60 ± 0,040	8,46 ± 0,139	7,87 ± 0,133	8,41 ± 0,235	8,32 ± 0,030	7,80 ± 0,003
	pH (10–20)	9,13 ± 0,127	8,57 ± 0,128	8,02 ± 0,162	7,62 ± 0,162	8,49 ± 0,164	8,52 ± 0,090	8,19 ± 0,264	8,73 ± 0,244	8,38 ± 0,148	7,86 ± 0,069
	ИСВ (0–10)	0,16	0,05	0,05	0,05	0,56	0,75	5,21	2,84	2,95	0,09
	ИСВ (10–20)	0,73	0,05	0,05	0,05	0,90	1,06	3,44	3,94	2,47	0,05

Средняя загрязненность по экспозициям автодорог в летний период следующая: «Нулевое положение» (178,11 мг/кг) > «Насыпь» (175,33 мг/кг) > «Выемка» (53,83 мг/кг); в весенний период: «Насыпь» (147,13 мг/кг) > «Нулевое положение» (143,97 мг/кг) > «Выемка» (78,00 мг/кг) (рис. 4). Средняя концентрация Na^+ в «Выемке» была меньше других экспозиций в 3,3 раза летом и в 1,8–1,9 раза весной.

Хлориды (Cl^-). Средняя концентрация хлоридов летом составила 87,94 мг/кг (16,51–322,61 мг/кг) и весной – 70,43 мг/кг (22,54–215,90 мг/кг), что характеризует ситуацию, схожую с Na^+ (рис. 5, табл. 2, 3). Среднее содержание Cl^- за летний период в верхнем горизонте (0–10 см) меньше на 1,10 мг/кг, чем в нижнем (10–20 см); весной тенденция обратная – в верхнем горизонте концентрация была выше на 47,54 мг/кг или в 2,0 раза. Как и в случае с Na^+ , отмечаются слабые различия концентрации солей между горизонтами летом.

Летом в «Выемке» содержание Cl^- достаточно равномерное между секторами полосы отвода, но сохраняется снижение концентрации по мере удаления от дорожного полотна ($r = 0,9$ при $p < 0,05$); в весенний период наблюдается обратная динамика между почвенными горизонтами – в верхнем горизонте (0–10 см) концентрация снижается в 8,9 раз, а в нижнем (10–20 см) – увеличивается по мере удаления от дорожного полотна в 1,6 раза ($r = -0,4$ при $p < 0,05$). В «Насыпи» отмечался рост концентрации по мере удаления от дорожного полотна ($r = 0,9$ при $p < 0,05$) за весь период наблюдений. В «нулевом положении» содержание хлоридов снижалось в горизонтах по мере удаления от дорожного полотна ($r = 0,9$ при $p < 0,05$) летом, а весной – концентрация была довольно равномерной вдоль всей полосы отвода с резким увеличением в кюветах ($r = 0,9$ при $p < 0,05$) в пределах верхнего горизонта в 3,7–4,1 раза и нижнего – в 2,0–2,8 раза.

Средняя загрязненность по экспозициям автодорог в летний период следующая: «Нулевое положение» (126,31 мг/кг) > «Насыпь» (123,44 мг/кг) > «Выемка» (32,54 мг/кг); в весенний период: «Насыпь» (100,32 мг/кг) > «Нулевое положение» (61,35 мг/кг) > «Выемка» (54,78 мг/кг) (рис. 5). В соответствии с концентрацией Na^+ , содержание хлоридов в «Выемке» было меньше других экспозиций в 3,8–3,9 раза летом; в весенний период в «насыпи» концентрация Cl^- была выше остальных экспозиций в 1,6–1,8 раза.

Водородный показатель (pH). Средний показатель кислотности (pH) летом составил 8,24 (7,16–9,13) и весной – 8,07 (6,83–9,09), что подтверждает высокое и постоянное засоление придорожных почв в течение сезона, сопровождающееся ее подщелачиванием (рис. 6, табл. 2, 3). Средний показатель pH летом в верхнем горизонте (0–10 см) (8,12) меньше, чем в нижнем (10–20 см) (8,35) из-за преимущественного смыва солей за летний период; весной почва в верхнем горизонте была с более щелочной реакцией (8,15), чем летом – 7,98. Для всех экспозиций характерна общая тенденция снижения pH по мере удаления от дорожного полотна ($r = 0,9$ при $p < 0,05$); для «насыпи» в весенний период $r = 0,7$ при $p < 0,05$.

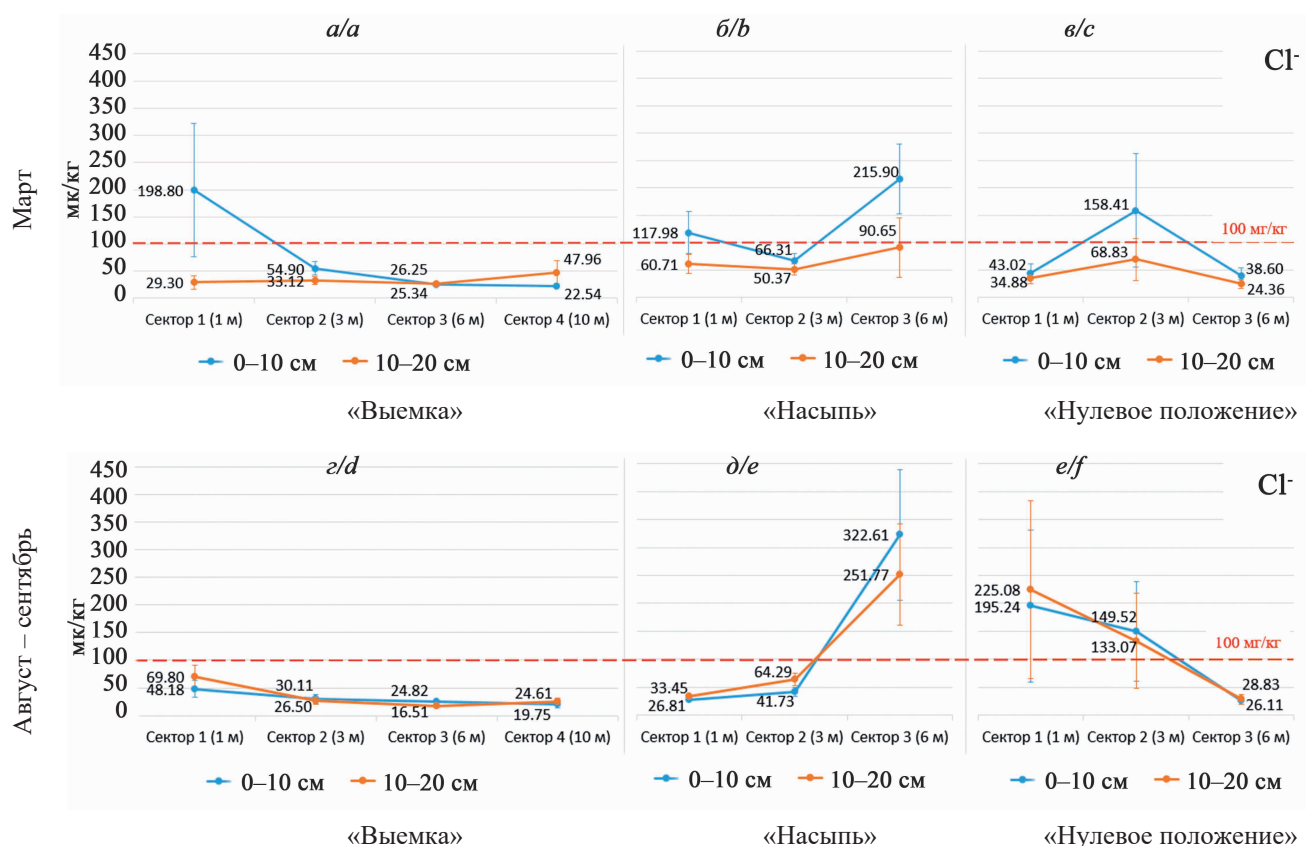


Рис. 5. Концентрация хлоридов по секторам экспозиций и глубине отбора в летний (снизу) и весенний (сверху) периоды

Fig. 5. Concentration of chlorides by exposure sectors and sampling depth in summer (lower) and spring (higher) periods

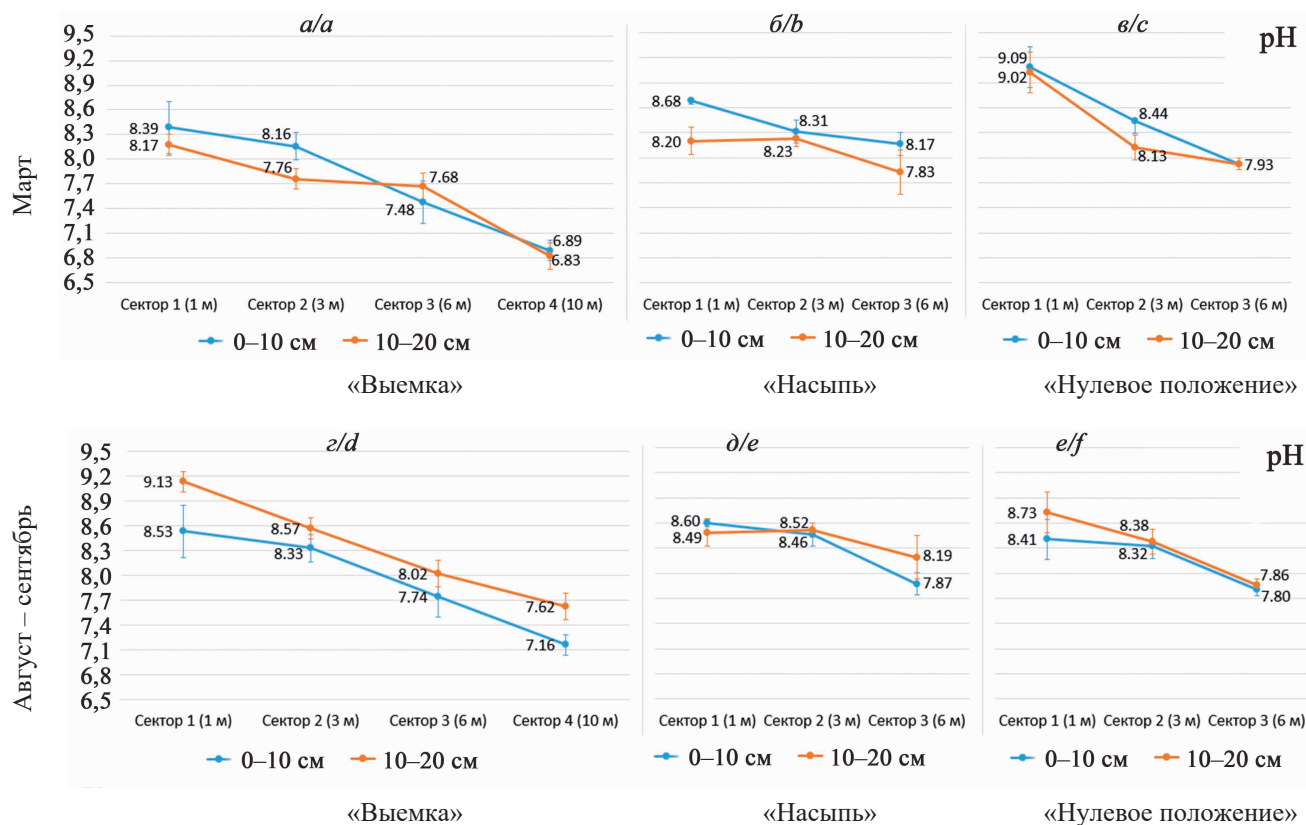


Рис. 6. Показатели кислотности (pH) по секторам экспозиций и глубине отбора в летний (снизу) и весенний (сверху) периоды

Fig. 6. Acidity indicators (pH) by exposure sectors and sampling depth in summer (lower) and spring (higher) periods

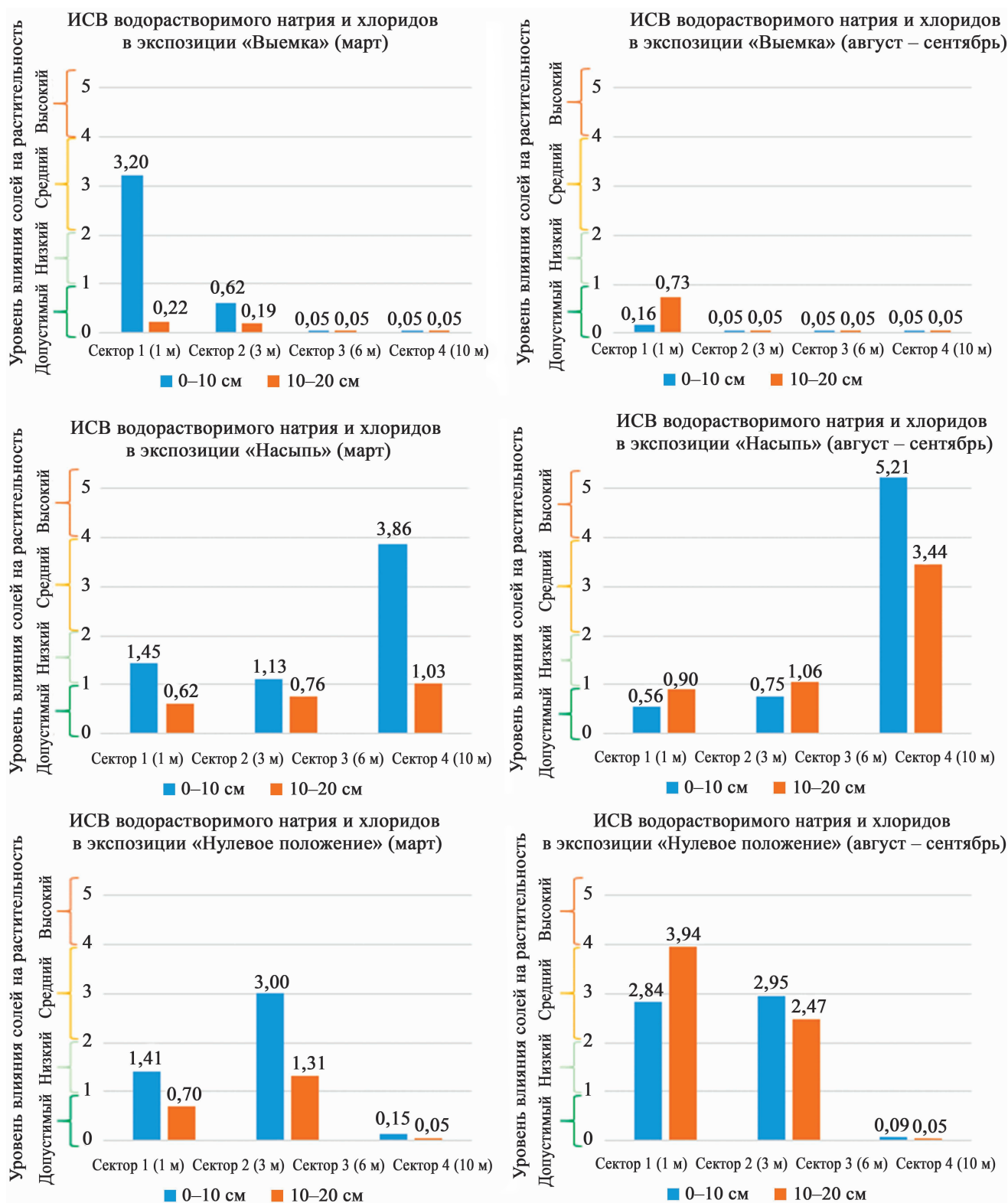


Рис. 7. Интенсивность солевого воздействия (ИСВ) Na^+ и Cl^- на придорожную растительность в зависимости от экспозиции полосы отвода и периода отбора почв

Fig. 7. Intensity of salt impact of Na^+ and Cl^- on roadside vegetation depending on the exposure of the right-of-way and the period of soil sampling

Средний показатель pH по экспозициям автодорог в летний период следующий: «Насыпь» (8,36) > «Нулевое положение» (8,25) > «Выемка» (8,14); в весенний период: «Нулевое положение» (8,42) > «Насыпь» (8,24) > «Выемка» (7,67) (рис. 6). Отмечается статистически значимая положительная корреляция между pH и засолением почв ($r = 0,7$ при $p < 0,05$).

В большинстве случаев отмечаются признаки миграции солевых растворов между горизонтами – в летний период содержание ионов Na^+ и Cl^- в отличие от весеннего в верхнем горизонте (0–10 см) было меньше, чем в нижнем (10–20 см). Однако в летнем периоде сохраняются высокие показатели в нижнем горизонте (10–20 см), близкие к верхнему (0–10 см) из-за капиллярного подъема минерализованных растворов к поверхностному слою [3]. Данные результаты подтверждаются схожей динамикой подщелачивания почвенных горизонтов ($r = 0,7$ при $p < 0,05$).

Интенсивность солевого воздействия (ИСВ). ИСВ позволяет предположить уровень комплексного воздействия солевых компонентов ПГР (ионов Na^+ и Cl^-) на растительность.

В «Выемке» в весенний период начала вегетации растений отмечается превышение уровня влияния солей в горизонте 0–10 см над горизонтом 10–20 см в 7,54 раза: в секторе 1 средний уровень (3,20) влияния засоления в горизонте 0–10 см превышал допустимый уровень (0,22) (горизонт 10–20 см) в 14,55 раза, в остальных секторах ИСВ находился в пределах допустимого (рис. 7, табл. 2). Летом (август–сентябрь) эффект от засоления сохранялся в пределах допустимого уровня, при этом в секторе 1 в нижнем горизонте (10–20 см) ИСВ был выше в 4,56 раза по сравнению с верхним горизонтом (0–10 см) (табл. 3). На откосах и вершинах насыпей в «Выемке» ИСВ остается на уровне допустимого благодаря постоянному смыву солей и преимущественного засоления секторов 1 и 2.

Весной в «Насыпи» уровень ИСВ верхнего горизонта (0–10 см) выше нижнего (10–20 см) в 2,69 раза; условия секторов 1 и 2 соответствуют низкому уровню влияния солей для почв на глубине 0–10 см со снижением по мере удаления от дорожного полотна, в нижних слоях почвогрунта (10–20 см) сохраняется допустимый уровень ИСВ (рис. 7, табл. 2). Весной в секторе 3 за счет смыва и таяния снега эффект накопления солей приводит к становлению среднего уровня ИСВ на глубине 0–10 см. В летний период наблюдения уровень солевого воздействия в секторах 1 и 2 снижается до допустимого-низкого; в 3-ем секторе за счет интенсивного выпарения солевых растворов из нижних горизонтов на глубине 0–10 см отмечается высокий (5,21) уровень ИСВ, что выше нижнего горизонта (10–20 см) в 1,51 раза – в нижнем горизонте средний уровень ИСВ (3,44) (табл. 3).

«Нулевое положение» характеризуется допустимым-низким уровнем ИСВ в секторе 1 весной с ростом до среднего уровня летом – в 3,23 раза, при этом в летний период ИСВ на глубине почвы 10–20 см было выше верхнего горизонта (0–10 см) в 1,39 раза (рис. 7, табл. 2). Весной в слабовыраженных кюветах (сектор 2) ИСВ на глубине 0–10 см достигает среднего уровня (3,00), оставаясь в пределах схожего уровня летом – средний (2,95). Средний уровень ИСВ (2,47–3,94) в летний период, вероятно, связан с конструкцией полосы отвода, где соли накапливаются равномерно в секторах 1 и 2, сохраняя сильное негативное воздействие в течение всего сезона вегетации.

Структура придорожных фитоценозов. По синтаксономической структуре придорожная растительность представлена 3 классами, 4 порядками, 5 союзами, 11 ассоциациями и 2 безранговыми сообществами.

Продромус придорожной травянистой растительности

Класс *Polygono-Poetea annuae* Rivas-Martínez 1975

Порядок *Polygono arenastri-Poëta annuae* R. Tx. in Géhu et al. 1972 corr. Rivas-Martínez et al. 1991

Союз *Polygono-Coronopodion* Sissingh 1969

Acc. *Polygonetum arenastri* Gams 1927 corr. Lanikova in Chytry 2009

Вар.: *typica*; *Potentilla anserina*; *Poa compressa*

Класс *Artemisietea vulgaris* Lohmeyer et al. in Tx. ex von Rochow 1951

Порядок *Agropyretalia intermedio-repentis* T. Müller et Görs 1969

Союз *Convolvulo arvensis-Agropyron repentis* Görs 1967

Acc. *Arrhenathero elatioris-Dactylidetum glomeratae* Arepieva 2015

Вар.: *typica*; *Lupinus polyphyllus*

Acc. *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis* Felföldy 1943

Вар.: *typica*; *Lolium perenne*

Acc. *Convolvulo arvensis-Brometum inermis* Felföldy 1943

Acc. *Calamagrostidetum epigeios* Kostiljov in V. Solomakha et al. 1992

Вар.: *Dactylis glomerata*; *Lolium perenne*; *Solidago canadensis*

Сообщество *Calamagrostis epigeios* [*Agropyretalia intermedio-repentis* / *Koelerio-Corynephoretea canescentis*]

Сообщество *Pilosella officinarum-Bromopsis inermis* [*Agropyretalia intermedio-repentis* / *Koelerio-Corynephoretea canescentis*]

Класс *Molinio-Arrhenatheretea* Tx. 1937

Порядок *Potentillo-Polygonetalia avicularis* Tx. 1947

Союз *Potentillion anserinae* Tx. 1947

Асс. *Lolio-Potentilletum anserinae* (Knapp 1946) Tx. 1947

Порядок *Arrhenatheretalia* R. Tx. 1931

Союз *Arrhenatherion elatioris* Luquet 1926

Асс. *Festucetum rubrae* (Domin 1923) Válek 1956 em. Pukau et al. 1956

Асс. *Dactylido glomeratae-Bromopsietum inermis* Sapegin et Dajneko 2008

Вар.: *typica*; *Phragmites australis*; *Calamagrostis epigeios*; *Lupinus polyphyllus*; *Solidago canadensis*; *Cirsium arvense*; *Phalaroides arundinacea*

Асс. *Festucetum pratensis-Dactylidetum glomeratae* Dymina 1989

Вар.: *typica*; *Calamagrostis epigeios*

Союз *Cynosurion cristati* Tx. 1947

Асс. *Leontodonto-Poetum pratensis* Anishchenko et Ishbirdina in Ishbirdina et al. 1989 ex Anishchenko et al.

Асс. *Lolietum perennis* Gams 1927

На нарушенных участках полосы отвода с преимущественно высокими показателями засоления отмечаются синантропные (классы *Polygono-Poetea annuae* и *Artemisietea vulgaris*) сообщества, участки с меньшим антропогенным воздействием занимают луговые (класс *Molinio-Arrhenatheretea*) сообщества высокой степени трансформации.

Асс. *Polygonetum arenastrum* встречается исключительно вдоль секторов 1 всех экспозиций. Отмечается в условиях засоления почв водорастворимым натрием – 68,15–268,57 мг/кг и хлоридами – 26,81–225,08 мг/кг. Для фитоценозов характерен 3 и 4 баллы эрозии почв. В сообществах доминируют виды: *Poa annua*, *Polygonum arenastrum*, *Potentilla anserina*, *Plantago major*, *Poa compressa* и др.

Асс. *Arrhenathero elatioris-Dactylidetum glomeratae* характерна для секторов 2 и 3 «Насыпей» с 1 баллом эрозии почв. Условия засоления для данного сообщества не оценивались по причине его нахождения вдоль участков автодороги Р-65 с наименьшей интенсивностью автотранспортного потока. Характерны виды: *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium pratense*, *Festuca pratensis*, *Lolium perenne* и др.

Асс. *Convolvulo arvensis-Elytrigietum repens* и асс. *Convolvulo arvensis-Brometum inermis* встречаются в секторах 1 и 2 всех экспозиций с 1 и 2 баллом эрозии почв. Условия засоления почв водорастворимым натрием – 64,63–268,57 мг/кг и хлоридами – 26,50–225,08 мг/кг. Доминируют виды: *Bromopsis inermis*, *Convolvulus arvensis*, *Dactylis glomerata*, *Elytrigia repens*, *Lolium perenne* и др.

Асс. *Calamagrostidetum epigeios* достаточно динамична, что сказывается на разнообразии вариантов ассоциации (2–4 балла деградации почв) и расположении вдоль всех участков полосы отвода. Сообщество способно выдерживать условия засоления в пределах установленного максимума: для водорастворимого натрия – 298,62 мг/кг и хлоридов – 322,61 мг/кг. Характерны виды: *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Solidago canadensis* и др.

Безранговые сообщества *Calamagrostis epigeios* и *Pilosella officinarum-Bromopsis inermis* [*Agropyretalia intermedio-repentis* / *Koelerio-Corynephoretea canescentis*] встречаются исключительно на откосах «Выемок» (сектор 3) с 4 баллом эрозии почв. Содержание водорастворимого натрия – 19,80–54,25 мг/кг и хлоридов – 16,51–26,25 мг/кг в почве указывает на второстепенное влияние фактора засоления на формирование сообществ в условиях сильной эрозии почвенного покрова. Доминируют виды: *Bromopsis inermis*, *Calamagrostis epigeios*, *Conyza canadensis*, *Lolium perenne*, *Pilosella officinarum* и др.

Асс. *Lolio-Potentilletum anserinae* и асс. *Lolietum perennis* характерны для участков полосы отвода с сильной эрозией и частым уплотнением почв – 1 сектора всех экспозиций с 3–4 баллом эрозии почв. Засоление водорастворимым натрием – 68,15–268,57 мг/кг и хлоридами – 26,81–225,08 мг/кг. Доминируют виды *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra*, *Leontodon autumnalis*, *Lolium perenne*, *Potentilla anserina* и др.

Асс. *Festucetum rubrae* отмечается вдоль всей полосы отвода на участках со сформированной плотной дерниной – 1–2 балл эрозии почв и засолением водорастворимым натрием – до 298,62 мг/кг и хлоридами – до 322,61 мг/кг. Преобладают виды *Bromopsis inermis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne* и др.

Асс. *Dactylido glomeratae-Bromopsietum inermis* также как асс. *Calamagrostidetum epigeios* характеризуется динамичностью флористического состава и структурой фитоценозов, но в отличие от сообществ вейника наземного обладает необходимыми критериями придорожного газона. Встречается вдоль всех участков полосы отвода, кроме примыкающих к дорожному полотну – сектора 1 всех экспозиций;

1–3 балл эрозии почв. Условия засоления: водорастворимый натрий – 14,27–298,62 мг/кг и хлоридами – 16,51–322,61 мг/кг. Доминируют виды *Bromopsis inermis*, *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Solidago canadensis* и др.

Асс. *Festucetum pratensis*-*Dactylidetum glomeratae* и *Leontodonto-Poetum pratensis* характерны для наиболее отдаленных от дорожного полотна участков полосы отвода – 3 сектора «Насыпи» и «Нулевого положения» и 4 сектор «Выемки» с частым примыканием к пешеходным дорожкам. 1–2 балл эрозии почв. Анализ засоления вдоль участков полосы отвода с данным фитоценозами не проводился. Характерны виды *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Leontodon autumnalis*, *Poa pratensis* и др.

Для сохранения придорожного газона (в пределах полосы отвода вдоль автомобильных дорог) в условиях интенсивного засоления и эрозии придорожных почвогрунтов рекомендуется:

1) использовать в качестве придорожных травосмесей семена длиннокорневищных (*Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens*) и рыхлодерновинных (*Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*) злаков, устойчивых к современным условиям комплексного антропогенного воздействия вдоль автодорог. Дополнительно участки с высокой эрозией почв (4 балл) засеивать семенами *Calamagrostis epigeios*;

2) систематически обновлять газон путем подсеивания семян из рекомендуемых видов и подсыпать почвогрунт, особенно на участках с высокой периодичностью кошения (5 и более раз за сезон) с целью снижения эрозионных процессов и предотвращения формирования сообществ сорной растительности, в том числе с высоким обилием инвазивных и склонных к инвазивности видов (*Conyza canadensis* и др.);

3) проводить мониторинг уровня загрязненности почв обменным натрием (Na^+) и показателя кислотности (рН). При превышении допустимых норм 100 мг/кг Na^+ и $\text{pH} > 8,0$ применять гипсование, сульфат аммония или сульфат магния из расчета 0,3 кг/м² с целью предотвращения выщелачивания почв и повышения устойчивости придорожного газона [3; 5].

Заключение

Показатели степени эрозии почв и засоления почвенного покрова в результате использования солевых противогололедных реагентов с преимущественным загрязнением верхних горизонтов (0–10 см) зависят от расстояния до дорожного полотна и с учетом конструкций полосы отвода (кюветы и откосы). Сектора 1 всех экспозиций показали наибольшие признаки эрозии почв – 3,0–4,0 балл, что также связано с высоким засолением. Исключения по высокой эрозии почв отмечались на откосах «Выемок» (3,0 балл) из-за частой периодичности в кошении, механическом повреждении почвенного покрова на откосах и его смыве атмосферными осадками. В «Нулевых положениях» отмечается наименьший средний балл 2,3, в «Выемках» и «Насыпях» – 2,7. В полосе отвода вдоль МКАД-1 (М-9), как наиболее нагруженных автодорогах, отмечается высокий средний балл 3,1 в отличие от остальных исследуемых участков за пределами МКАД-2 – средний балл 2,1.

Внутрисезонная динамика солевого загрязнения показала преимущественное засоление нижних горизонтов (10–20 см) в летний период из-за смыва солевого раствора атмосферными осадками в течение сезона вегетации. Высокое содержание ионов Na^+ и Cl^- в верхнем горизонте (0–10 см) весной вызвано таянием снега с высоким содержанием солевых компонентов ПГР. Сохранение более высоких показателей засоления в летний период связано с капиллярным подъемом минерализованных растворов в результате накопления солей.

Выделенные придорожные фитоценозы в полосе отвода показывают устойчивость к сформировавшимся условиям произрастания в полосе отвода и вероятностную устойчивость к засолению в течение всего вегетативного сезона в результате внесения противогололедных реагентов в зимний период. Полученные данные загрязненности солями показывают возможность использования рекомендуемых видов в придорожных травосмесях благодаря их структурообразующей роли и доминированию в синтаксонах.

Библиографические ссылки

- Харитонцев БС, Попова ЕИ. Особенности видового состава растительности придорожных фитоценозов. *Современные проблемы науки и образования*. 2017;5:1–8.
- Кавеленова ЛМ, Деменина ЛГ, Жавкина ТМ, Помогайбин АВ, Розно СА. Антропогенная трансформация среды и проблемы формирования культигенных ареалов растений. В: *Теоретические проблемы экологии и эволюции. Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы. V Любичевские чтения*. Тольятти: [б. и.]; 2010. с. 63–68.
- Судник АВ, Вознячук ИП. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах. *Лесной вестник*. 2020;24 (6):83–95.
- Илькун ГМ. *Загрязнители атмосферы и растения*. Киев: Наукова думка; 1978. 246 с.
- Судник АВ, Яковлев АП. *О последствиях применения в качестве противогололедного реагента хлорида натрия на состояние насаждений вдоль улиц и дорог в г. Минске*. В: *Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микробиоты*. Минск: БГУ; 2021. с. 205–209.

6. 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;58(6):282–288. DOI: <https://doi.org/10.17221/5994-PSE>.
7. 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;19(4):296–301. DOI: <https://doi.org/10.1002/tox.20037>
8. Лысиков АБ. Влияние противогололедных реагентов на состояние почвы придорожных сосняков Серебряноборского опытного лесничества. *Лесоведение*. 2017; 6:446–451.
9. Сидорович ЕА, Арабей НМ, Кирковский КК. Аккумуляция ионов хлора почвами и ассимиляционными органами деревьев в городских насаждениях Минска. *Проблемы озеленения городов. Альманах*. 2004;10:203–207.
10. Головатый СЕ, Ковалевич ЗС, Лукашенко НК, Вишняков РВ. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территорий, прилегающих к предприятиям ПО «Беларуськалий». Сообщение 2. Натрий. *Почвоведение и агрохимия*. 2008;2(41):244–255.
11. Кульбачевский АО, редактор. *О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году. Доклад*. Москва: ДПиООС; 2018. 358 с.
12. Парфенов ВИ, редактор. *Определитель высших растений Беларуси*. Минск: Дизайн ПРО; 1999. 472 с.
13. Цвелев НН. *Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области)*. Санкт-Петербург: Издательство СПФХА; 2000. 781 с.
14. Миркин БМ, Наумова ЛГ. История и концептуальные установки классификации растительных сообществ с использованием подхода Браун-Бланке. *Lethaea rossica*. 2014;9:21–34.
15. Герасимова МИ. *Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация*. Москва: Ойкумена; 2003. 270 с.
16. Баканина ФМ. Техногенные изменения почвенного покрова городских территорий (на примере города Горького). *Антропогенные изменения и охрана природной среды*. Н. Новгород: Издательство НГПУ; 1990. с. 61–66.
17. Лысиков АБ. Оценка состояния лесных почв, находящихся под воздействием московской кольцевой автодороги. В: *Почвы. Национальное достояние России. Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов*. Новосибирск: «Наука-Центр»; 2004. 345 с.
18. Павлов ПД, Решетников МВ, Еремин ВН. Состояние почвенного покрова в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов (на примере Александровского полигона г. Саратова). *Аграрный научный журнал*. 2014;11:34–38.
19. Жесткова ДБ. *Состав и структура травянистого покрова придорожных территорий автомагистралей крупного промышленного города* [автореферат диссертации]. Н. Новгород: [б. и.]; 2016. 167 с.

References

1. Kharitontsev BS, Popova EI. *Osobennosti vidovogo sostava rastitel'nosti pridorozhnykh fitotsenozov* [Features of the species composition of vegetation of roadside phytocenoses]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2017; 5:1–8. Russian.
2. Kavelenova LM, Demenina LG, Zhavkina TM, Pomogaibin AV, Rozno SA. *Antropogennaya transformatsiya sredy i problemy formirovaniya kul'tigennykh arealov rastenij* [Anthropogenic transformation of the environment and problems of formation of cultigenic plant habitats]. In: *Theoretical problems of ecology and evolution. Theory of habitats: species, communities, ecosystems*. V Lyubishchev readings. Toliatti: [publisher unknown]; 2010. p. 63–68. Russian.
3. Sudnik AV, Voznyachuk IP. *Posledstviya vozdeistviya zagryazneniya pridorozhnykh territorii komponentami solevykh reagentov na ekologicheskoe sostoyanie pochvy i rastenij v lesnykh biogeotsenozakh* [Consequences of the impact of contamination of roadside areas with components of salt reagents on the ecological state of soil and plants in forest biogeocenoses]. *Lesnoj vestnik* [Forestry Bulletin]. 2020; 24 (6): 83–95. Russian.
4. Ilkun GM. *Zagryazniteli atmosfery i rasteniya* [Air pollutants and plants]. Kyiv: Naukova Dumka; 1978. 246 p. Russian.
5. Sudnik AV, Yakovlev AP. *O posledstviyakh primeneniya v kachestve protivogolodnogo reagenta khlorida natriya na sostoyanie nasazhdenij vdol' ulits i dorog v g. Minske* [On the consequences of using sodium chloride as a deicing agent on the condition of plantings along streets and roads in Minsk]. In: *Aktual'nye problemy izucheniya i sohraneniya fito- i mikrobioty* [Current problems in the study and conservation of phyto- and microbiota]. Minsk: BSU. 2021. 205–209. Russian.
6. 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; 58(6):282–288. DOI: <https://doi.org/10.17221/5994-PSE>
7. 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;19(4):296–301. DOI: <https://doi.org/10.1002/tox.20037>
8. Lysikov AB. *Vliyanie protivogolodnykh reagentov na sostoyanie pochvy pridorozhnykh sosnyakov Serebryanoborskogo opytnogo lesnichestva* [The influence of de-icing reagents on the condition of the soil in roadside pine forests of the Serebryanoborsky experimental forestry]. *Lesovedenie* [Forestry]. 2017; 6:446–451. Russian.
9. Sidorovich EA, Arabey NM, Kirkovsky KK. *Akkumulyatsiya ionov hlora pochvami i assilyacionnymi organami derev'ev v gorodskikh nasazhdeniyah Minska* [Accumulation of chlorine ions by soils and assimilation organs of trees in urban plantings of Minsk]. *Problemy ozeleneniya gorodov*. 2004;10:203–207. Russian.
10. Golovaty SE, Kovalevich ZS, Lukashenko NK, Vishnyakov RV. *Prostranstvennoe raspredelenie khimicheskikh zagryaznitelei v pochvakh territorii, prilegayushchikh k predpriyatiyam PO «Belarus'kali»*. *Soobshchenie 2. Natrii* [Spatial distribution of chemical pollutants in the soils of areas adjacent to the enterprises of the Belaruskali Production Association. Message 2. Sodium]. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil science and agrochemistry]. 2008;2(41):244–255. Russian.
11. Kulbachevsky AO, editor. *O sostoyanii okruzhayushchej sredy v gorode Moskve v 2017 godu. Doklad* [On the state of the environment in the city of Moscow in 2017. Report]. Moscow: DPiOOS; 2018. 358 p. Russian.
12. Parfenov VI, editor. *Opredelitel' vysshih rastenij Belarusi* [Key to higher plants of Belarus]. Minsk: Design PRO; 1999. 472 p. Russian.
13. Tsvelev NN. *Opredelitel' sosudistyh rastenij Severo-Zapadnoj Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* [Key to vascular plants of North-Western Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod regions)]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo SPFHA; 2000. 781 p. Russian.

14. Mirkin BM, Naumova LG. Istoriya i kontseptual'nye ustanovki klassifikatsii rastitel'nykh soobshchestv s ispol'zovaniem podkhoda Braun-Blanke. *Lethaea rossica* [History and conceptual guidelines for classifying plant communities using the Braun-Blanquet approach]. *Lethaea rossica*. 2014; 9:21–34. Russian.

15. Gerasimova MI. *Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivaciya*. [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation]. Moscow: Ojkumena; 2003. 270 p. Russian.

16. Bakanina FM. *Tekhnogennye izmeneniya pochvennogo pokrova gorodskikh territorii (na primere goroda Gor'kogo)* Antropogennye izmeneniya i okhrana prirodnoi sredy. [Technogenic changes in the soil cover of urban areas (using the example of the city of Gorky)]. Anthropogenic changes and environmental protection]. N. Novgorod: NSPU Publishing House; 1990. 61-66. Russian.

17. Lysikov AB. *Otsenka sostoyaniya lesnykh pochv, nakhodyashchikhsya pod vozdeistviem moskovskoi kol'tsevoi avtodorogi. Pochvy*. In: *Natsional'noe dostoyanie Rossii. Materialy IV s''ezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvovedov* [Assessment of the condition of forest soils affected by the Moscow ring road. Soils. In: *National treasure of Russia. Materials of the IV Congress of the Dokuchaevsky Society of Soil Scientists*]. Novosibirsk: «Science-Center»; 2004. 345 p. Russian.

18. Pavlov PD, Reshetnikov MV, Eremin VN. *Sostoyanie pochvennogo pokrova v zone vliyaniya poligona tverdykh bytovykh otkhodov (na primere Aleksandrovskogo poligona g. Saratova)* [The state of the soil cover in the zone of influence of the solid waste landfill (using the example of the Aleksandrovsky landfill in Saratov)]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural scientific journal]. 2014; 11:34–38.

19. Zhestkova DB. *Sostav i struktura travyanistogo pokrova pridorozhnykh territorij avtomagistralей крупного промышленного города* [Composition and structure of grass cover on roadside areas of highways in a large industrial city [PhD thesis]. N. Novgorod: [publisher unknown]; 2016. 167 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 20.06.2024.

Received by editorial board 20.06.2024.