

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15593/2224-9400/2025.1.02
УДК 502.521(470.53)

Научная статья

А.В. Большова, Р.Х. Гильфанов

Научно-исследовательский институт зимних технологий и инноваций,
Краснокамск, Российская Федерация

В.З. Пойлов

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Российская Федерация

А.Е. Леснов

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Российская Федерация
Пермский государственный аграрно-технологический
университет, Пермь, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ СОСТАВОВ НА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Безопасное использование автотранспорта в климатических условиях Пермского края требует применения антигололедных материалов, в состав которых входят токсичные для растений компоненты, способные ухудшить состояние окружающей среды прилегающих к дороге территорий. В работе приведена экологическая характеристика противогололедного материала «Бионорд», марки «Бионорд-универсальный» на основе смеси NaCl и CaCl_2 , дано описание его воздействия на свойства почвы и снежного покрова. Представлены результаты сезонной динамики двухгодичного мониторинга почв на участке поля вблизи Федеральной автомобильной дороги М-7 «Волга» на отрезке Пермь–Краснокамск между 476 и 477 километрами, а также результаты полевых и лабораторных экспериментов по изучению влияния различных доз твердого многокомпонентного противогололедного материала на агроэкологические свойства почв. Показано, что, несмотря на токсическое действие изученного реагента, определенное по проращиванию семян редиса и репродуктивной способности коллембол, его реальная экологическая опасность для прилегающих к дороге почв, по результатам 2-летних наблюдений не выявлена. Реагент обладает хорошей способностью к вымыванию из верхних горизонтов почвы

талыми водами. Изучение токсичности талой воды, полученной из образцов снега, отобранных на различном расстоянии от дороги, показало, что негативного влияния на всхожесть семян редиса, развитие дафний и микроводорослей не обнаруживается. Тем не менее проведенные исследования подтвердили негативное влияние автодороги на окружающие экосистемы, заключающееся в снижении видового разнообразия растительности, подщелачивании, увеличении солесодержания почвы при приближении к дорожному полотну, наличия фитотоксичного действия на проращивание семян редиса, вплоть до удаления 100 м.

Ключевые слова: *противогололедные материалы, биотестирование, почвенный мониторинг, влияние автодороги на агроэкологические свойства почвы.*

A.V. Bolshova, R.H. Gilfanov

Scientific Research Center "Research Institute of Winter Technologies
and Innovations", Krasnokamsk, Russian Federation

V.Z. Poilov

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

A.E. Lesnov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russian Federation

INFLUENCE OF ANTI-ICE COMPOSITIONS ON THE AGROECOLOGICAL STATE OF SOD-PODZOLIC SOILS

The safe use of vehicles in the climatic conditions of the Perm Region requires the use of anti-icing materials, which include components toxic to plants that can worsen the environmental condition of the territories adjacent to the road. The paper presents the ecological characteristics of Bionord deicing material, brand Bionord-universal, based on a mixture of NaCl and CaCl₂, and describes its effects on the properties of soil and snow cover. The results of the seasonal dynamics of two-year soil monitoring in a field area near the Federal Highway M-7 Volga on the Perm-Krasnokamsk segment between kilometers 476 and 477 are presented, as well as the results of field and laboratory experiments to study the effect of various doses of solid multicomponent deicing material on agroecological properties of soils. It is shown that, despite the toxic effect of the studied reagent, determined by the germination of radish seeds and the reproductive ability of collembol, its real environmental danger to the soils adjacent to the road has not been identified according to the results of 2 years of observations. The reagent has a good ability to be washed out of the upper horizons of the soil by meltwater. A study of the toxicity of meltwater obtained from snow samples taken at different distances from the road showed that there was no negative effect on the germination of radish seeds, the development of daphnia and microalgae. Nevertheless, the conducted studies have confirmed the negative impact of the highway on the surrounding ecosystems, consisting in a

decrease in the species diversity of vegetation, alkalization, an increase in soil salinity when approaching the roadway, and the presence of a phytotoxic effect on the germination of radish seeds, up to a distance of 100 m.

Keywords: *Anti-icing materials, biotesting, soil monitoring, influence of the road on the agroecological properties of the soil.*

В целях обеспечения бесперебойного и безопасного движения автотранспорта в зимний период на всей территории Российской Федерации широкое распространение получили новые противогололедные материалы (ПГМ), основными компонентами которых являются хлорид натрия и хлорид кальция с добавлением антикоррозионных и биофильных компонентов. По сравнению с устаревшими составами на основе песка и соли (пескосоляные смеси), новые разработанные составы ПГМ более экономичны и безопасны с точки зрения воздействия на окружающую среду и оказывают меньшее отрицательное влияние на почву [1]. Однако полностью исключить неблагоприятные экологические последствия, связанные с засолением снежного покрова и почв придорожных территорий, нельзя [2]. Снегоуборочной техникой загрязненный снег отбрасывается в стороны от проезжей части до 50 м, с брызгами от автомобильных колес, с пылью и снегом переносится ветром на дальние расстояния. Таким образом, антигололедные средства попадают на придорожную растительность, а после таяния снега в весенний период проникают в почвенный покров с талыми водами, а затем грунтовыми переносятся в ближайшие водоемы [3, 4]. Несмотря на имеющиеся отрицательные качества этих реагентов, альтернативного способа борьбы со снегом и гололедом в зимнее время на сегодняшний день практически не существует.

На поступление поллютантов в растения влияют свойства почвы, которые, в свою очередь, могут изменяться под влиянием загрязнителей, источником которых является аэральный перенос с автодороги [5]. Ореолы загрязнения снежного покрова техногенного происхождения хорошо заметны вдоль автомобильных дорог. Например, хлорид натрия вызывает засоление почв и снижение их биопродуктивности [6]. Наблюдается изменение ферментативной активности почв [7]. Воздействие ПГС на растительность зависит от комплекса факторов и условий конкретных участков: расстояние от проезжей части, местоположение (повреждения от ПГС сильнее на подветренной стороне дороги), сезон, продолжительность воздействия, возраст и жизненное состояние растений, текстуру почвы и дренаж, температуру, свет, влажность, осадки, ветер [8].

Состояние снежного покрова может дать представление о накопленном за зимний период времени количестве загрязняющих веществ, т.е. быть индикатором антропогенной нагрузки на территорию [9]. При низких температурах и отсутствии стока ПГМ интенсивно впитываются слоем снега и в дальнейшем перебрасываются уборочными машинами в стороны от проезжей части до 50 м. Часть солей остается на дорожном покрытии и с брызгами от автомобильных колес, с пылью и снегом переносится ветром на дальние расстояния. Движение автотранспорта и снегоуборочные мероприятия приводят к загрязнению снежных масс на придорожных участках грубодисперсными веществами (мусор, песок, гравий). В результате этого в 1,5–5 раза возрастает плотность снега. Значительно снижается альбеда загрязненного снега. В результате чего сход снежного покрова происходит на 3–10 дней раньше [10]. В конечном итоге большое количество хлорида натрия накапливается в почвах вблизи дорог и оказывает отрицательное влияние на различные свойства почв, вызывая их деградацию. При значительном количестве хлориды могут распространяться на десятки метров и могут сохраняться в почве до следующего года [11].

В апреле после таяния снежного покрова наблюдается высокая засоленность почв, так как распределенные за зимний период соли еще не успели проникнуть в нижние слои грунта. В мае благодаря осадкам происходит вымывание солей в нижние горизонты почвы. В июле при повышенных температурах увеличивается испарение воды в почве, что вызывает восходящее движение грунтовых вод и увеличение солесодержания. В сентябре в условиях с пониженной температурой количество испаренной воды из почвы уменьшается, и ионы натрия, вызывающие зацементирование почвы, вымываются из ее верхних слоев в более глубокие горизонты [12, 13].

Одним из главных экологических факторов, который лимитирует рост и продуктивность многих растений, является засоление почв [14]. По мере увеличения доли в составе обменных катионов натрия увеличивается степень разрушения почвенной структуры, возрастают пептизация тонкодисперсных частиц, набухание, пластичность и липкость почвы, снижаются пористость и скорость фильтрации. В то время как калий и кальций оказывают влияние в меньшей степени на изменение структуры почвы [15].

Одними из основных способов определения степени антропогенного влияния на окружающую среду являются методы биотестирова-

ния и биоиндикации. Тест-организмы позволяют констатировать факт токсичности среды, независимо от того, обусловлена ли она наличием одного или целого комплекса веществ. В качестве тест-объектов используют самые разнообразные организмы, от бактерий до высших растений и позвоночных животных, включая млекопитающих. При выборе тест-организма предпочтение отдают организмам с коротким жизненным циклом, но достаточно чувствительным к исследуемому объекту [16, 17]. Например, оценка токсичности ПГМ методом биотестирования на образцах дерново-подзолистой почвы с помощью семян овса показала, что концентрация антигололедных средств до 500 г/м^2 положительно сказывается на росте проростков, свыше 2000 г/м^2 – прекращается рост корней, а свыше 5000 г/м^2 – рост проростков. Концентрации $200\text{--}5000 \text{ г/м}^2$ не оказывают негативного воздействия на количество почвенных микроскопических грибов [18].

Цель данной работы заключается в изучении воздействия противогололедного материала «Бионорд», марки «Бионорд-универсальный» производства ООО «УЗПМ» на агроэкологические свойства снежного покрова и почвы.

Методы исследования. Для исследований был выбран участок поля, расположенный вблизи Федеральной автомобильной дороги М-7 «Волга» на отрезке Пермь–Краснокамск между 476 и 477 километрами. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Исследуемый участок представляет собой залуженные пахотные почвы.

Объектами для исследований являлись твердый ПГМ «Бионорд», марка «Бионорд-универсальный» (СТО 001-80119761–2010 производитель ООО «УЗПМ», массовая доля NaCl ~78 %, CaCl_2 ~21 %, рН 20 % раствора 8,3), снеговые отложения, почва.

Отбор и подготовка образцов почвы проводились по ГОСТ Р 58595–2019. Образцы отбирались 20 мая 2023 г. и 14 мая 2024 г. Каждый из 4 образцов составлял три точечные пробы на расстоянии 50 м друг от друга по длине поля. Образцы снега отбирались 25 марта 2023 г. и 27 марта 2024 г. На каждой точке отбирали снег в трехкратной повторности. Отбор образцов почвы и снега был осуществлен на расстоянии 10, 25, 50 и 100 м от автомобильной дороги (рисунки).

Таяние снега проводили при комнатной температуре. В течение 3–4 ч после таяния определяли рН без предварительной фильтрации на иономере рХ-150МИ и общее солесодержание кондуктометрическим

методом на кондуктометре COM-100 EC/TDS/Temp. Массовая доля нерастворимого остатка была определена на следующий день гравиметрическим методом по ГОСТ Р 58426–2020. Биотестирование проводилось на семенах редиса, сорт 18 дней [19], на рачках *Daphnia magna* Straus по методике ФР 1.39.2007.03222, микроводорослях *Scenedesmus quadricauda* по методике ФР. 1.39.2007.03223, коллемболах *Folsomia Candida*.



Рис. Схема точек отбора образцов снежного покрова и почвы
вблизи Федеральной автомобильной дороги М-7 «Волга»

Для проведения опыта по фитотоксичности талых вод и в качестве контроля в эксперименте по фитотестированию образцов грунта с различным содержанием ПГМ использовался почвогрунт марки «Универсальный питательный» ООО «Фабрика грунтов».

Для эксперимента по самоочищению почвы от больших концентраций антигололедного состава, местом проведения эксперимента выбран равнинный участок поля в 140 м от дороги (координаты: 58,056043°; 55,853439°). Было огорожено 3 участка площадью 4 м² каждый, в 5 м друг от друга. Участок № 1 не обрабатывался. Участок № 2 был обработан однократной нормой расхода, рекомендуемой производителем: 70 г средства на 1 м² поверхности. Участок № 3 был обработан десятикратной нормой расхода, рекомендуемой производителем: 700 г средства на 1 м² поверхности. Для равномерного распределения ПГМ по всей поверхности навески взятого ПГМ были разведены в 10 л воды и распределялись с помощью садовой лейки. Образцы грунта взяты через 1 месяц после обработки ПГМ в сентябре 2022 г. и в мае 2023 г. Отбор образцов проводился из горизонта 0–15 см.

Исследования влияния ПГМ на агроэкологические свойства почв вблизи дорог общего пользования были использованы следующие методы: определение pH и общего солесодержания (в пересчете на NaCl) по ГОСТ 26423–85; биотестирование с помощью тест-объекта коллембол *Folsomia Candida* по ГОСТ 32632–2014; фитотестирование с помощью семян редиса [17].

Энергия прорастания семян определялась на третьи сутки прорастивания. Всхожесть и длины проростка корешка у каждого растения – на седьмые сутки. Взошедшими считались семена, имеющие нормально развитый проросток. Фитотоксичность (фитостимуляция) считается доказанной, если она имеет величину больше 15 % [20].

Результаты и их обсуждение. Результаты химического анализа снежного покрова представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты мониторинга талых вод в марте 2023 и 2024 гг.

Номер образца (проба)	Общее солесодержание (NaCl), мг/л		pH		Нерастворимый остаток, г/л	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
1 (10 м)	67,3±1,3	35,8±0,7	7,37	7,43	0,036	0,122
2 (25 м)	58,2±1,2	22,4±0,4	6,54	6,94	0,015	0,091
3 (50 м)	16,3±0,3	15,0±0,3	5,65	6,73	-	0,063
4 (100 м)	14,0±0,3	12,1±0,2	5,63	5,98	-	0,014

Наблюдается закономерное снижение значения pH, количества нерастворимого остатка и общего солесодержания, в пересчете на NaCl, с увеличением расстояния от дороги.

Фитотестирование талых вод проводилось на образцах, отобранных в марте 2023 г. Результаты представлены в табл. 2. По результатам фитотестирования, талые воды не оказывают токсичность при прорастивании семян редиса.

Таблица 2

Результаты фитотестирования образцов талых вод
(в скобках приведено значение фитотоксичности, %)

Номер образца	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина побега, см
Контроль	100	100 (–)	6,03 (–)	1,78 (–)
1 (10 м)	98	98 (2)	5,27 (12,6)	1,66 (6,7)
2 (25 м)	96	96 (4)	5,20 (13,8)	1,64 (7,9)
3 (50 м)	100	100 (0)	6,57 (-8,9)	1,64 (7,9)
4 (100 м)	100	100 (0)	5,94 (1,5)	2,04 (-14,6)

Биотестирование талых вод с помощью ракообразных *Daphnia magna* Straus проводилось в 2024 г. Результаты биотестирования представлены в табл. 3. Токсического действия не обнаружено.

Таблица 3

Результаты биотестирования талой воды
с помощью *Daphnia magna* Straus

Номер образца	Число дафний в начале опыта	Среднее число дафний через 96 ч	Отклонение от контроля, %
Контроль (дист. вода)	10	10	—
1 (10 м)	10	9,7	3
2 (25 м)	10	10	0
3 (50 м)	10	10	0
4 (100 м)	10	9,7	3

При биотестировании с применением *Scenedesmus quadricauda* в качестве аналитического сигнала использовали оптическую плотность при длине волны 560 нм. Пробы талого снега для биотестирования не разбавляли. Освещение в камере для биотестирования составляло 6000 лк светодиодными светильниками белого света. Критерием острой токсичности является отклонение от контроля, %: до +20 (угнетение) / до –30 (стимуляция) нетоксичная, от +50 и более (угнетение) / более –30 (стимуляция) острая токсичность. Заключение о степени токсичности испытуемых образцов талого снега приведено в табл. 4.

Таблица 4

Результаты биотестирования талого снега
с помощью *Scenedesmus quadricauda*

Номер образца	Оптическая плотность через 72 ч культивирования	Отклонение от контроля		Заключение о наличии токсичности
		ед. оптической плотности	%	
Контроль (дист. вода)	0,3695	—	—	—
1 (10 м)	0,5275	- 0,158	- 42,8	стимуляция более 30 %
2 (25 м)	0,3755	- 0,006	- 1,6	отсутствует
3 (50 м)	0,3745	- 0,005	- 1,4	отсутствует
4 (100 м)	0,3825	- 0,013	- 3,5	отсутствует

В пробе талой воды № 1 (10 м от автодороги) наблюдается избыточная стимуляция роста культуры микроводоросли (более 30 %). Со-

стояние культуры микроводоросли в остальных вариантах практически не отличается от контрольных значений.

Сравнительные результаты определения химико-экологических показателей образцов почвы отобранных в 2023–2024 гг. приведены в табл. 5.

Таблица 5

Общее солесодержание и pH почвы

Номер образца	Общее солесодержание в пересчете на NaCl, мг/кг		pH 20 % суспензии	
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
1 (10 м)	201,0±4,0	173,5±3,5	7,19	7,26
2 (25 м)	159,5±3,2	147,0±2,9	6,85	7,05
3 (50 м)	192,0±3,8	201,0±4,0	6,63	7,15
4 (100 м)	91,0±1,8	90,0±1,8	6,46	6,68

По результатам мониторинга, проведенного в 2023–2024 гг., значительных отклонений в солесодержании и кислотности почвы не наблюдалось.

С мая по июнь 2023 г. определены виды растений, произрастающих на точках отбора проб. Самый скудный состав растительности на участке № 1 представлен 15 видами растительности, из которых доминантными видами являются: борщевик Сосновского, кострец безострый и мать-и-мачеха обыкновенная. Самый богатый видовой состав представлен 29 видами на удалении 25 м, доминантные виды: ежа сборная, мятлик луговой и одуванчик лекарственный. На участке № 3 – 28 видов, доминантные виды: подмаренник цепкий, клевер луговой и свербига восточная. На участке № 4 – 20 видов, доминируют: клевер луговой, зубровка душистая и молочай прутьевидный.

По мере удаления от автодороги разнообразие растительности изменяется с изменением pH почвы. На участках № 3 и 4 отсутствуют борщевик Сосновского, зубчатка обыкновенная. Тысячелистник обыкновенный встречается только на участке № 4, так как предпочитает почвы с более кислым pH. Пастернак лесной предпочитает слабокислые и нейтральные почвы, поэтому растение не встречается на участках № 1 и 2, где почва имеет более щелочную реакцию среды.

Результаты фитотестирования образцов почвы, отобранных в 2023 г. методом проращивания семян редиса, представлены в табл. 6. В качестве емкостей для проращивания использовались пластиковые

контейнеры с габаритами 18×13×7 см (д×ш×в). Емкости заполнялись почвой по 300 г в каждый. На поверхности почвы в каждом контейнере делались 20 лунок диаметром 1 см и глубиной 1 см. В каждую лунку укладывалось по 1 семени, присыпалось почвой без уплотнения и накрывалось крышками так, чтобы присутствовала циркуляция воздуха. Проращивание семян проводилось при температура воздуха 20–22 °С и влажности в помещении 56–62 %.

Таблица 6

Результаты фитотестирования почвы методом проращивания семян редиса

Номер образца	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Средняя длина проростка, см	Фитотоксичность, %	
				по всхожести	по длине проростка
Контроль	100	100	9,3	-	-
1 (10 м)	61	61	5,1	39	45,2
2 (25 м)	73	74	5,6	26	39,8
3 (50 м)	63	66	5,2	34	44,1
4 (100 м)	82	82	6,6	18	29,0

По результатам тестирования все образцы оказывают токсическое действие и по всхожести, и по длине проростка по сравнению с контролем. Наиболее выраженной токсичностью обладают участки в 10 и 50 м от проходящей автотрассы.

Для эксперимента по фитотестированию ПГМ «Бионорд» методом проращивания семян редиса был взят почвогрунт марки «Универсальный питательный» производитель ООО «Фабрика грунтов». В грунт было внесено противогололедное средство с содержанием от 1 до 8 % от массы условно сухой почвы. Проводился подсчет всхожести, средней всхожести и средней длины проростка. Взошедшими считались семена, имеющие нормально развитый проросток. Результаты опыта представлены в табл. 7.

Полученные результаты свидетельствуют об отрицательном влиянии противогололедных реагентов на силу роста семян редиса. Токсичность доказана по всхожести и по длине проростка в образцах с 3 % ПГМ и выше по сравнению с контролем. В образцах с 1 и 2 % ПГМ токсичность по сравнению с контролем отсутствует.

Таблица 7

Результаты фитотестирования почвогрунта
с различным содержанием ПГМ «Бионорд»

Содержание ПГМ, %	Энергия прорастания, %	Всхо- жесть, %	Длина проростка, см	Фитотоксичность, %	
				по всхожести	по длине проростка
Контроль	100	100	9,2	0	0
1	92	100	8,6	0	6,5
2	48	100	8,1	0	11,9
3	17	63	7,5	37	18,5
4	15	41	6,0	59	34,8
5	11	22	2,2	78	76,1
6	2	10	2,4	90	73,9
7	0	0	-	100	100
8	0	0	-	100	100

Изучено влияние различных концентраций ПГМ «Бионорд» в грунте на репродуктивную способность коллембол *Folsomia Candida*. Тестовые контейнеры заполнялись по 50 г подготовленными образцами почвы с содержанием ПГМ от 1 до 10 % с шагом в 1 %. В контейнеры помещалось по 10 женских особей членистоногих. Условия проведения: температура воздуха 19–22 °С, влажность в помещении 54–63 %. Время экспонирования 28 дней. В отсутствие токсичности средняя смертность взрослых коллембол не должна превышать 20 % в конце теста. В ходе наблюдений было установлено, что в образцах с >7 % ПГМ 100 % смертность наступила в течение суток, в образцах с 6 % ПГМ – на вторые сутки, с 5 % ПГМ – на седьмые сутки эксперимента. Через 20 дней погибли все особи в образце с 4 % ПГМ. Полученные результаты свидетельствуют об отрицательном влиянии ПГМ «Бионорд-универсальный» на жизнь и репродуктивную способность коллембол *F. Candida* при содержании его в почве более 2 %. В образце, содержащем 1 % ПГМ, наблюдается стимуляция репродуктивной способности коллембол *F. Candida* по сравнению с контролем.

В течение осени–зимы 2022/23 гг. был проведен полевой эксперимент по определению способности почвы к самоочищению при внесении однократной и десятикратной дозы ПГМ и оценке показателей общего солесодержания и pH через месяц после внесения и после схода снега в весенний период. Полученные результаты проведения испытаний представлены в табл. 8.

Таблица 8

Изменение pH и общего солесодержания (в пересчете на NaCl)
искусственно загрязненной почвы за период
осень 2022 г. – весна 2023 г.

Номер участка (количество ПГМ)	Общее солесодержание, мг/кг		pH	
	сентябрь 2022	май 2023	сентябрь 2022	май 2023
1 (контроль)	245,5±4,9	91,0±1,8	6,59	6,52
2 (70 г/1 м ²)	1035,0±20,7	112,0±2,2	6,46	6,69
3 (700 г/1 м ²)	4480,0±89,6	180,5±3,6	6,40	6,93

По результатам полевого эксперимента видно, что почва при внесении десятикратной дозы ПГМ «Бионорд-Универсальный» (700 г/м²) от рекомендованной производителем ООО «УЗПМ» для уборки дорожных покрытий в зимний период полностью очистилась от загрязнения после таяния снежного покрова.

Таким образом, несмотря на выраженное токсическое действие изученного ПГМ, определенное по проращиванию семян редиса и репродуктивной способностью коллембол, его реальная экологическая опасность по результатам 2-летних наблюдений не выявлена. Реагент обладает хорошей способностью к вымыванию из верхних горизонтов почвы талыми водами. Проведенные исследования подтвердили негативное влияние автодороги на окружающие экосистемы, заключающееся в снижении видового разнообразия растительности, подщелачивании, увеличении солесодержания почвы при приближении к дорожному полотну, наличия фитотоксичного действия на проращивание семян редиса, вплоть до удаления 100 м.

Список литературы

1. Герасимов, А.О. Оценка токсичности новых противогололедных средств для высших растений / А.О. Герасимов // Экология и промышленность России. – 2013. – № 3. – С. 58–62.
2. Герасимов, А.О. Оценка действия противогололедных реагентов разного химического состава на рост травянистых растений и почвенное дыхание / А.О. Герасимов, М.В. Чугунова // Биосфера. – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 273–281.
3. Пшенин, В.Н. Загрязнение почвенного покрова придорожных территорий / В.Н. Пшенин // Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики: труды IV Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: МАНЭБ, 2008. – С. 48–55.

4. Острожная, Е.Е. Вред и польза от использования противогололедных средств в Краснодарском крае / Е.Е. Острожная, Н.Н. Астафурова // Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа: Аэтерна, 2017. – С. 79–82.
5. Зудилин, С.Н. Накопление травами тяжелых металлов / С.Н. Зудилин, А.А. Толпекин // Кормопроизводство. – 2005. – № 9. – С. 30–32.
6. Герасимов, А.О. Изучение воздействия хлоридных противогололедных реагентов на высшие растения и почвенные микроорганизмы в лабораторном и полевом эксперименте / А.О. Герасимов, М.В. Чугунова // Инженерная геология. – 2016. – № 6. – С. 48–53.
7. Пименова, Е.В. Экологическая оценка почв в зоне влияния автодороги / Е.В. Пименова, С.В. Лихачев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 4. – С. 63–67.
8. 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.
9. Грачева, И.В. Минерализация и кислотно-щелочные свойства снегового покрова промышленных городов Челябинской области / И.В. Грачева // Известия Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена. – 2010. – № 135. – С. 112–117.
10. Жарников, В.Б. О содержании мониторинга снежных отвалов и подверженных их влиянию земель северных городов (на примере города Томска) / В.Б. Жарников, О.А. Пасько, Н.С. Ушакова // Вестник СГУГиТ. – 2019. – № 1. – С. 174–191.
11. Закамская, Е.С. Оценка хлоридного засоления почвогрунтов на территории города Йошкар-Олы / Е.С. Закамская, Е.А. Скочилова // Вестник Марийского государственного университета. Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 218–227.
12. Герасимов, А.О. Сезонные изменения содержания противогололедных средств в дерново-подзолистой почве в лабораторном и полевом опыте / А.О. Герасимов, М.В. Чугунова, Ю.М. Поляк // Биосфера. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 171–177.
13. Романова, И.В. Оценка динамики засоления почв придорожных территорий вследствие применения противогололедных реагентов и их влияние на фитоценозы / И.В. Романова // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 4. – С. 71–76.
14. Ахмадуллина, Э.Б. Влияние засоления почвы на мезоструктуру фотосинтетического аппарата галофитов, различающихся по жизненной форме / Э.Б. Ахмадуллина // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. – 2017. – № 2. – С. 135–144.

15. Петров, В.Г. Оценка скорости разрушения структуры почвенного покрова при использовании хлорида натрия в составе антигололедных средств / В.Г. Петров, Я.А. Балицкий, Н.Е. Суксин // *Химическая физика и мезоскопия*. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 332–340.

16. Зуева, Н.В. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учеб. пособие / Н.В. Зуева, Д.К. Алексеев, А.Ю. Куличенко; РГГМУ. – СПб., 2019. – 140 с.

17. Лихачев, С.В. Биотестирование в экологическом мониторинге: учеб.-метод. пособие / С.В. Лихачев, Е.В. Пименова, С.Н. Жакова; Перм. гос. аграр.-технол. ун-т им. акад. Д.Н. Прянишникова. – Пермь: Прокрость, 2020. – 89 с.

18. Коньшина, С.М. Оценка токсичности антигололедных средств методом биотестирования / С.М. Коньшина // *Антропогенная трансформация природной среды*. – 2014. – № 1. – С. 60–63.

19. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 687 с.

20. Лозановская, И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М.: Высшая школа, 1998. – 286 с.

References

1. Gerasimov A.O. Ocenka toksichnosti novykh protivogolodnykh sredstv dlya vysshikh rastenij [Assessment of the toxicity of new deicing agents for higher plants] *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii*. 2013, no. 3, pp. 58–62.

2. Gerasimov A.O., Chugunova M.V. Otsenka deistviia protivogolodnykh reagentov raznogo khimicheskogo sostava na rost travianistykh rastenii i pochvennoe dykhanie [Evaluation of the effect of deicing reagents of various chemical compositions on the growth of herbaceous plants and soil respiration] *Biosfera*. 2018, vol. 10, no. 4, pp. 273–281.

3. Pshenin V.N. Zagryaznenie pochvennogo pokrova pridorozhnykh territorij [Pollution of the soil cover of roadside territories] Motor transport: from environmental policy to everyday practice: proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg: MANEB, 2008. pp. 48–55.

4. Ostrozhnaya E.E., Astafurova N.N. Vred i pol'za ot ispol'zovaniya protivogolodnykh sredstv v Krasnodarskom krae [The harm and benefits of using deicing agents in the Krasnodar Territory] Modeling and analysis of complex technical and technological systems: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (Volgograd, November 1, 2017). Ufa: Aeroflot. pp. 79–82.

5. Zudilin S.N., Tolpekin A.A. Nakoplenie travami tiazhelykh metallov [Accumulation of heavy metal injuries] *Kormoproizvodstvo*. 2005, no. 9. pp. 30–32.

6. Gerasimov A.O., Chugunova M.V. Izuchenie vozdeistviia khloridnykh protivogolodnykh reagentov na vysshie rasteniia i pochvennye mikroorganizmy v labotatornom i polevom eksperimente [Study of the effects of chloride deicing reagents on higher plants and soil microorganisms in laboratory and field experiments] *Inzhenernaia geologiya*. 2016, no. 6. pp. 48–53.

7. Pimenova E.V., Likhachev S.V. Ehkologicheskaya ocenka pochv v zone vliyaniya avtodorogi [Ecological assessment of soils in the zone of influence of highways] *Problems of agrochemistry and ecology*. 2020, no. 4, pp. 63–67.

8. Gerasimov A.O., Chugunova M.V. Vliyanie zagryazneniya dernovo-podzolistoj pochvy protivogolodnymi reagentami na vysshie rasteniya i pochvennye mikroorganizmy [The effect of pollution of sod-podzolic soils with deicing reagents on higher plants and soil microorganisms] *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii*. 2015, vol. 19, no. 4, pp. 59–63.

9. Gracheva I.V. Mineralizatsiya i kislotno-shchelochnye svoystva snegovogo pokrova promyshlennykh gorodov Chelyabinskoy oblasti [Mineralization and acid-base properties of snow cover in industrial cities of the Chelyabinsk region] *Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A.I. Gercena*. 2010, no. 135, pp. 112–117.

10. Zharnikov V.B., Pas'ko O.A., Ushakova N.S. O sodержanii monitoringa snezhnykh otvalov i podverzhennykh ikh vliyaniyu zemel' severnykh gorodov (na primere goroda Tomska) [On the content of snow dumps and the lands of northern cities affected by them (on the example of the city of Tomsk)] *Vestnik SGUGIT*. 2019, no. 1, pp. 174–191.

11. Zakamskaya E.S., Skochilova E.A. Ocenka khloridnogo zasoleniya pochvogruntov na territorii goroda Yoshkar-Oly [Assessment of the chloride composition of soils in the territory of the city of Yoshkar-Ola] *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyajstvennye nauki. Ehkonomicheskie nauki*. 2021, vol. 7, no. 3, pp. 218–227.

12. Gerasimov A.O., Chugunova M.V., Polyak YU.M. Sezonnye izmeneniya sodержaniya protivogolodnykh sredstv v dernovo-podzolistoj pochve v labotatornom i polevom opyte [Seasonal changes in the content of deicing agents in sod-podzolic soil in laboratory and field experience] *Biosfera*. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 171–177.

13. Romanova I.V. Ocenka dinamiki zasoleniya pochv pridorozhnykh territorij vsledstvie primeneniya protivogolodnykh reagentov i ikh vliyanie na fitocenozy [Assessment of the dynamics of soil salinization in roadside areas due to the use of deicing reagents and their effect on phytocenoses] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2021, no. 4, pp. 71–76.

14. Akhmadullina E.B. Vliyanie zasoleniya pochvy na mezostrukturu fotosinteticheskogo apparata galofitov, razlichayushchikhsya po zhiznennoj forme [The influence of soils on the mesostructure of the photosynthetic apparatus of hal-

ophytes, differing in life form] *Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ehkologii*. 2017, no. 2, pp. 135–144

15. Petrov V.G., Balickij Ya.A., Suksin N.E. Ocenka skorosti razrusheniya struktury pochvennogo pokrova pri ispol'zovanii khlorida natriya v sostave antigolodnykh sredstv [Assessment of the rate of destruction of the soil cover structure when using sodium chloride as part of deicing agents] *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2020, vol. 22, no. 3, pp. 332–340.

16. Zueva N.V., Alekseev D.K., Kulichenko A.Yu. Bioindikaciya i biotestirovanie v presnovodnykh ehkosistemakh: uchebnoe posobie dlya VUZov [Bioindication and biotesting in freshwater ecosystems: a textbook for universities] S.-Peterburg: RGGMU, 2019. 140 p.

17. Likhachev S.V., Pimenova E.V., Zhakova S.N. Biotestirovanie v ehkologicheskom monitoringe: uchebno-metodicheskoe posobie Permskij gosudarstvennyj agrarno-tekhnologicheskij universitet imeni akademika D.N. Pryanishnikova [Biotesting in environmental monitoring: an educational and methodical manual Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov] Perm': Prokrost', 2020, 89 p.

18. Kon'shina S.M. Ocenka toksichnosti antigolodnykh sredstv metodom biotestirovaniya [Assessment of the toxicity of deicing agents by biotesting] *Antropogennaya transformaciya prirodnoj sredy*. 2014, no. 1, pp. 60–63.

19. Mineev, V.G. Praktikum po agrokhimii [Practicum on agrochemistry] Moskva: MGU, 2011, 687 p.

20. Lozanovskaya I.N., Orlov D.S., Sadovnikova L.K. Ehkologiya i okhrana biosfery pri khimicheskom zagryaznenii: uchebnoe posobie [Ecology and protection of the biosphere under chemical pollution: a textbook] Moskva: Vysshaya shkola, 1998, 286 p.

Об авторах

Большова Анастасия Вячеславовна (Краснокамск, Российская Федерация) – ведущий инженер-химик НИЛЦ ООО «НИИ зимних технологий и инноваций» (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: nastya86000@rambler.ru).

Гильфанов Рустам Халэфович (Краснокамск, Российская Федерация) – председатель Совета по инновациям и стратегическому развитию Уральского завода противогололедных материалов (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: gilfanovrustam1976@gmail.com).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Российская Федерация) – доктор технических наук, профессор кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Леснов Андрей Евгеньевич (Пермь, Российская Федерация) – доктор химических наук, профессор кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета, профессор кафедры «Экология и химические технологии» Пермского государственного аграрно-технологического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: lesnov_ae@mail.ru).

About the authors

Anastasia V. Bolshova (Krasnokamsk, Russian Federation) – Leading Chemical Engineer at the Scientific Research Institute of Winter Technologies and Innovations (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: nastya86000@rambler.ru)

Rustam H. Gilfanov (Krasnokamsk, Russian Federation) – Chairman of the Council for Innovation and Strategic Development of the Ural Plant of Deicing Materials (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: gilfanovrustam1976@gmail.com).

Vladimir Z. Poilov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology, Perm National Research University Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: vladimirpoilov@mail.ru).

Andrey E. Lesnov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Department of Environmental Protection (Perm National Research Polytechnic University), Professor of the Department of Ecology and Chemical Technologies of the Perm State Agrarian and Technological University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: lesnov_ae@mail.ru).

Поступила: 23.01.2025

Одобрена: 05.02.2025

Принята к публикации: 12.02.2025

Финансирование. Работа не имела спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Влияние антигололедных составов на агроэкологическое состояние дерново-подзолистых почв / А.В. Большова, Р.Х. Гильфанов, В.З. Пойлов, А.Е. Леснов // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2025. – № 1. – С. 17–33.

Please cite this article in English as:

Bolshova A.V., Gilfanov R.H., Poilov V.Z., Lesnov A.E. Influence of anti-ice compositions on the agroecological state of sod-podzolic soils. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2025, no. 1, pp. 17-33 (In Russ).