

# СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

**А.О. Герасимов, М.В. Чугунова, Ю.М. Поляк**  
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,  
Санкт-Петербург, Россия

*Эл. почта: recchi@rambler.ru, chugunova54@gmail.com, yuliapolyak@mail.ru*

*Статья поступила в редакцию 18.12.2019; принята к печати 15.01.2019*

Противогололедные средства (ПГС), применяющиеся для борьбы с ледяными и снежными отложениями в городах, являются одним из наиболее вредных антропогенных факторов. Значительное число работ по данной тематике посвящено воздействию на окружающую среду технической соли, в то время как реагентам нового поколения уделяется недостаточно внимания. В статье представлены результаты изучения сезонной динамики содержания водорастворимых солей ПГС нового поколения в дерново-подзолистой почве в условиях полевого и лабораторного экспериментов. Сопоставлены 9 ПГС, применяемых в Санкт-Петербурге, – хлоридные, ацетатные и формиатные реагенты. Лабораторные опыты показали, что высокие дозы хлоридных реагентов увеличивали содержание солей в почвах до отметок, соответствующих слабому засолению (максимальные показатели – 3,96 мСм/см), потенциально опасному для растений и почвенных микроорганизмов. В полевых условиях с течением времени степень засоления почвы уменьшалась – соли ПГС вымывались из верхних горизонтов с выпадающими осадками. К концу вегетационного сезона максимальные показатели не превышали 0,29 мСм/см, что соответствовало фоновым значениям. Следовательно, снижалась токсичность загрязненных почв для растений и микроорганизмов. По результатам исследований определены наименее экологически вредные ПГС. К ним относятся ацетатные и формиатные реагенты «Нордвэй» и «Clearway». Хлориды магния («Бишофит») оказались менее опасными среди реагентов хлоридной группы. Также рекомендованы допустимые дозы ПГС на городских улицах. В Северо-Западном регионе сравнительно безопасной можно считать дозу 50 г/м<sup>2</sup>.

*Ключевые слова: противогололедные средства, почвы, растения, эксперимент, содержание соли.*

## THE SEASONAL CHANGES IN THE CONTENT OF DE-ICING SALTS IN SOD-PODZOL SOIL IN LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

**A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova, Y.M. Polyak**  
Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: recchi@rambler.ru, chugunova54@gmail.com, yuliapolyak@mail.ru*

De-icing preparations (DIP) used in winter to prevent ice and snow deposits in cities are one of the most harmful anthropogenic factors. Numerous investigations on this topic are dedicated to the environmental impact of technical sodium chloride, whereas less attention is paid to new-generation reagents. The present paper reports the results of laboratory and field studies of nine DIPs used in Saint Petersburg, including chlorides and newer preparations of acetates and formates. The laboratory experiments showed that high doses of chloride reagents can increase salt content in soils to levels corresponding to low salinity (maximum values were 3.96 mS/cm), which are potentially dangerous to plants and soil microorganisms. Under field conditions, salt content in soil eventually decreased. Salts were washed out from the upper soil horizons by atmospheric precipitation. By the end of vegetation season, the maximum concentration did not exceed 0.29 mS/cm, i.e. corresponded to background indices. Accordingly, contaminated soils toxicity for plants and microorganisms decreased. The results suggest that the least environmentally harmful anti-ice salts are the acetate and formate preparations Nordway and Clearway. Magnesium chlorides «Bishofit») proved to be less dangerous among chloride-based DIP. The permissible doses of DIP salts for urban streets in the Northwest of Russia are within 50 g/m<sup>2</sup>.

*Keywords: de-icing salts; soils; plants; experiment; salt content.*

## Введение

Самыми уязвимыми компонентами природной среды в мегаполисах являются почвы и зеленые насаждения. В Санкт-Петербурге накоплению загрязняющих веществ в почвах способствует целый комплекс негативных антропогенных факторов. Среди них одними из самых экологически опасных являются противогололедные средства [11].

Противогололедными средствами (ПГС) называют химические реагенты, предназначенные для борьбы со снежными и ледяными наносами. ПГС зачастую имеют сложный химический состав и состоят из нескольких компонентов.

Номенклатура современных противогололедных средств представлена следующими основными химическими группами: хлоридная группа (ПГС на основе хлоридов кальция, магния, натрия), ацетатная (ПГС на основе ацетатов калия и аммония), нитратная (ПГС на основе нитратов кальция и магния), формиатная (ПГС на основе формиатов калия и натрия) и аммонийная (мочевина; карбамидно-аммиачная селитра). Кроме того, в качестве ПГС активно используются фрикционные материалы – песок, щебень, мраморная и гранитная крошка.

В Санкт-Петербурге доминирующими ПГС являются реагенты хлоридной группы, чья доля в использовании на магистралях города заметно превышает ацетатные, нитратные и формиатные ПГС.

В российских городах в силу климатических условий традиционно задействуются значительные объемы ПГС. Попадая в больших количествах в придорожные почвы, ПГС негативным образом влияют на сами почвы, на произрастающую в них растительность, на грунтовые и поверхностные воды. По некоторым данным, среди опасных факторов, воздействующих на растения в урбанизированной среде, засоление почв ПГС стоит на первом месте [10–11, 15, 17].

Степень воздействия ПГС на почвы зависит от множества факторов. В их числе – расстояние от проезжей части, время года, высота относительно дороги (рельеф), продолжительность воздействия, гранулометрический состав почвы, наличие или отсутствие дренажа, количество осадков, температура воздуха, ветер, влажность и другие [16].

ПГС, накапливаясь в почвах, изменяют их химический состав и физические характеристики. Со временем это может вызвать структурные и функциональные изменения почвенных экосистем, что в перспективе чревато стрессом и гибелью растений и почвенных микроорганизмов [1].

Механизм стресса для растений состоит в том, что при высоком содержании солей в почве поступление питательных веществ в корни растений затруднено. В этой ситуации нарушается поглощение влаги растениями и возникает явление физиологической сухости. По мере

аккумуляции солей жизнеспособность растений падает, в результате они становятся уязвимыми к негативному воздействию различных фитопатогенов и техногенных факторов [15]. При отсутствии атмосферных осадков в весеннее время или при их незначительном количестве может наблюдаться гибель растений в уличных посадках вследствие применения ПГС. В этом случае соли после таяния снега задерживаются в поверхностном слое почв на длительное время, повышая осмотическое давление почвенного раствора. При обильных весенних дождях аккумуляции солей не происходит, поскольку почвенный профиль промывается осадками.

Кроме того, из-за негативного воздействия ПГС на химические, физические и физико-химические свойства почвы зачастую нарушается нормальная биохимическая активность комплекса почвенных микроорганизмов, изменяются его структура и видовое разнообразие, что влечет за собой снижение почвенного плодородия [2].

Таким образом, применяемые ПГС способны изменить геохимические условия произрастания зеленых насаждений и нормального функционирования почвенных микроорганизмов, что грозит им стрессом и в перспективе гибелью.

Важнейшим фактором воздействия ПГС на окружающую среду является их концентрация в почве. Характер динамики солей ПГС в почве характеризует способность почвы к самоочищению и позволяет выявить наиболее экологически безопасные ПГС с установлением допустимых доз их применения.

Исследованиями противогололедных средств занимались многие отечественные и иностранные специалисты, освещая различные аспекты данной проблемы. Можно выделить работы П.А. Васильева, Н.Е. Кошелевой, Е.М. Никифоровой, В.С. Николаевского, Х.Г. Якупова, Г. Ке, В.Р. Якоби и других [2, 9–11, 15, 18, 19]. Но значительная часть работ по данной тематике посвящена вопросам, связанным с воздействием на окружающую среду технической соли, тогда как ПГС нового поколения в литературных источниках пока еще получили недостаточно внимания. Чаще всего освещаются данные по отдельным ПГС, но не хватает комплексных сравнительных исследований.

В связи с этим задача нашего исследования состояла в изучении динамики содержания солей различных ПГС в почве в течение вегетационного сезона.

## Объекты и методы

Объектами настоящего исследования стали применявшиеся в последние десять лет в Санкт-Петербурге 9 ПГС различного химического состава. Наряду с наиболее часто применяемыми ПГС хлоридной группы исследовались реагенты ацетатной и формиатной групп, которые в последнее время получают все большее распространение.

Хлоридную группу представляли хлорид натрия (техническая соль), хлорид магния (реагент «Бишофит»), хлорид кальция («ТОР»), а также смеси различных хлоридов – реагенты «Айсмелт», «Ежик», «No Ice», «Рокмелт-Эко». Ацетатную группу представлял реагент «Нордвэй» (ацетат калия), а формиатную – «Clearway F-1» (формиат натрия) финского производства.

Эксперименты с ПГС были проведены в лабораторных и полевых условиях. В лабораторных условиях обеспечивается высокая степень контроля за проведением эксперимента, поскольку он изолирован от посторонних воздействий в регулируемой среде (одинаковые температура, влажность и т. д.). Таким образом воздействие внешних факторов сведено к минимуму, и лабораторные эксперименты обеспечивают высокую степень достоверности. Для исследований использовали окультуренную дерново-подзолистую суглинистую почву (Eutric Albic Retisol (abrupt, loamic, aric, ochric)). В соответствии с ТУ были выбраны дозировки ПГС 20, 50 и 150 г/м<sup>2</sup>. Как правило, 20 г/м<sup>2</sup> является минимальной дозой для большинства ПГС, применяющихся при обработке дорог, 150 г/м<sup>2</sup> – максимальной. В лабораторном эксперименте реагенты вносились в почву в растворенном виде. Почву увлажняли до 60% от полной влагоемкости, далее производили ее компостирование в течение 10 дней при комнатной температуре. По окончании компостирования почву помещали в пластиковые сосуды объемом 1 л. Опыт закладывали в 4-кратной повторности. Полученные показатели сравнивали с показателями незагрязненных контрольных образцов.

Натурные микрополевые опыты закладывали в 4-кратной повторности на окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве опытного поля Аграрного университета в г. Пушкин. Размер делянок составлял 50 × 25 см. В мае почву загрязняли теми же дозами ПГС, что и в лабораторном опыте: 20, 50 и 150 г/м<sup>2</sup>. Затем высевали на делянки газонные травы (травосмесь «Универсал», включающая райграс, мятлик, тимофеевку, полевицу, овсяницу и ежу). Осенью с указанных делянок отбирали образцы почвы для проведения лабораторных исследований. Отбор осуществляли с глубины 0–20 см из 3 точек каждой микроделянки, после чего путем перемешивания формировали общий образец.

Показателем содержания растворенных солей в загрязненных ПГС почвах служила электрическая проводимость водных вытяжек из почвенных образцов (с соотношением почвы к дистиллированной воде – 1:5), определяемая с помощью многодиапазонного кондуктометра «Hanna» HI 8733. Подготовку водных вытяжек проводили по ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки». Расчеты достоверности полученных результатов проводили с по-

мощью методов дисперсионного анализа по методике полевого опыта [7].

Метод определения концентрации легкорастворимых солей в почвенном растворе по электропроводности является одним из общепринятых и широко применяемых в почвоведении [3]. Данный метод используют, в частности, для оценки степени засоления почв [4]. Многочисленными исследованиями установлено, что электропроводность является одним из наиболее удобных и надежных параметров, который позволяет с достаточной точностью оценить степень минерализации почвенных растворов [8]. Н.И. Сотиева и И.И. Толпешта также обосновывают возможность оценки засоления почв по результатам химических анализов водных вытяжек [13, 14]. Е.И. Панкова с коллегами разработали специальную шкалу по оценке степени засоленности почв в зависимости от электропроводности [12]. Таким образом, в условиях наших модельных экспериментов величина электропроводности достоверно и объективно характеризует степень засоленности почв.

## Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания легкорастворимых солей по удельной электропроводности в водных вытяжках из почв, загрязненных ПГС в лабораторных условиях, представлены на рис. 1.

Результаты измерений показали, что при внесении максимальных доз хлоридных ПГС в почву в ней наблюдается превышение фонового уровня содержания солей в 18–36 раз. В некоторых случаях содержание солей приближалось к отметке, соответствующей слабозасоленным почвам (4 мСм/см). При этом, по мнению некоторых авторов, в последнее время граница засоления почв снизилась до значений 2 мСм/см [12].

Надо отметить, что ПГС на основе хлоридов магния («Бишофит») вызывало меньшее засоление почв, нежели другие хлоридные реагенты, что отмечалось также в исследованиях некоторых зарубежных специалистов [18].

При внесении средних доз хлоридных ПГС максимальная электропроводность достигала 1,56 мСм/см, что можно считать допустимым.

В то же время содержание солей в почве при внесении ацетатных и формиатных ПГС фактически не превышало контрольных показателей.

Содержание легкорастворимых солей в водных вытяжках из почв полевого опыта, загрязненных противогололедными средствами, измерялось по окончании вегетационного сезона. Эти показатели представлены на рис. 2.

На рис. 2 показано, что к концу вегетационного сезона под действием внешних факторов содержание солей в почве снизилось до фоновых отметок. Наибольшее значение электропроводности не превысило

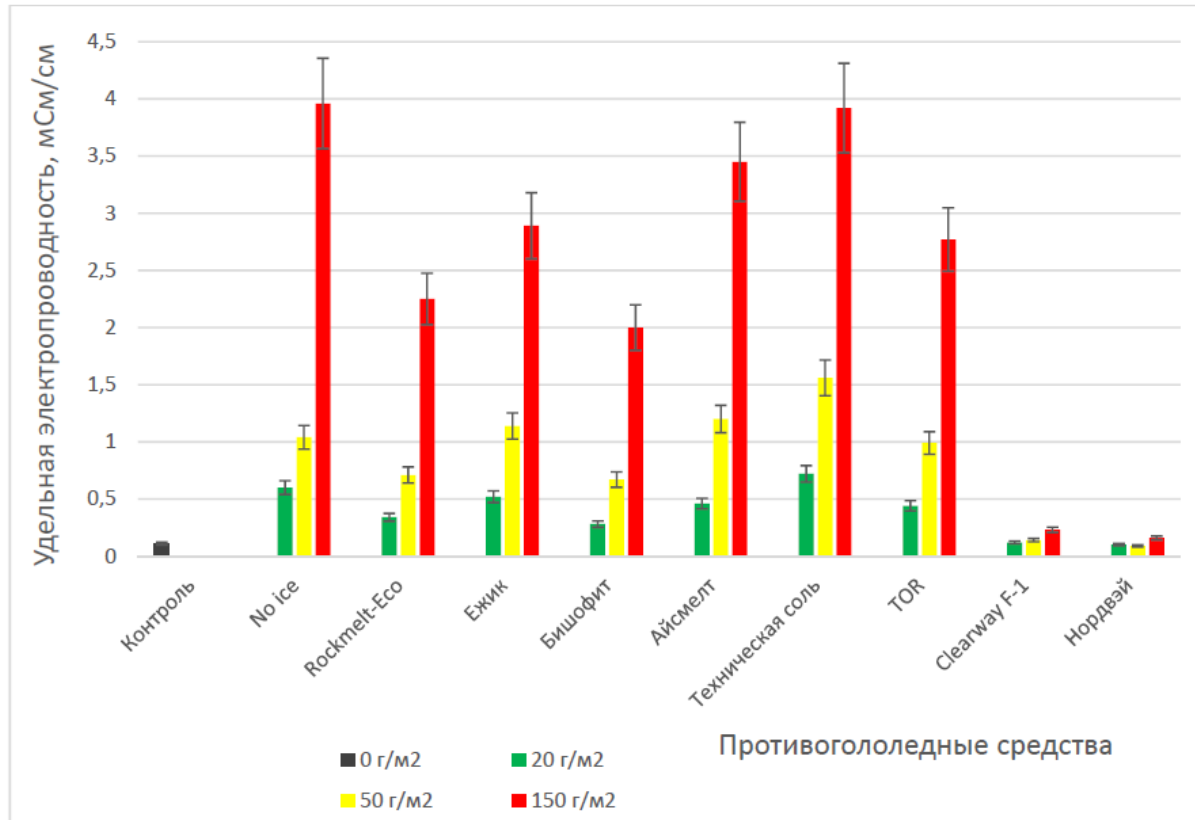


Рис. 1. Удельная электропроводность водных вытяжек из загрязненных ПГС почв (лабораторный опыт), мСм/см

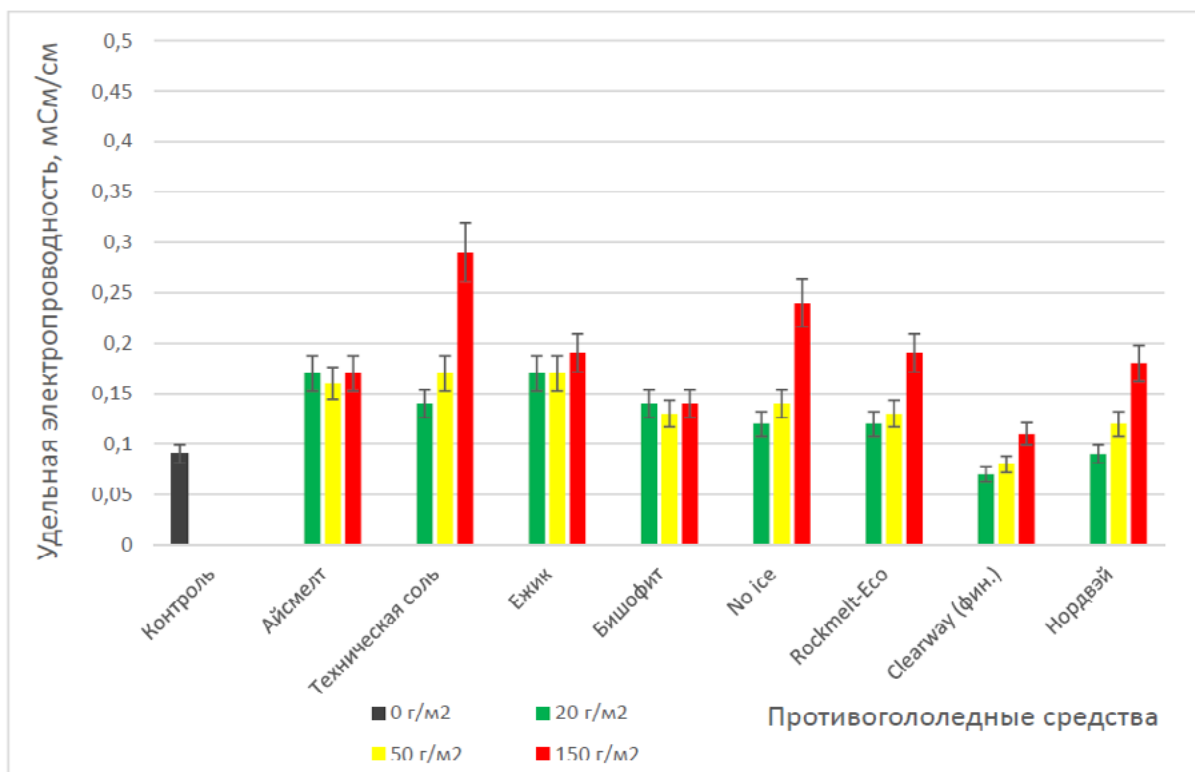
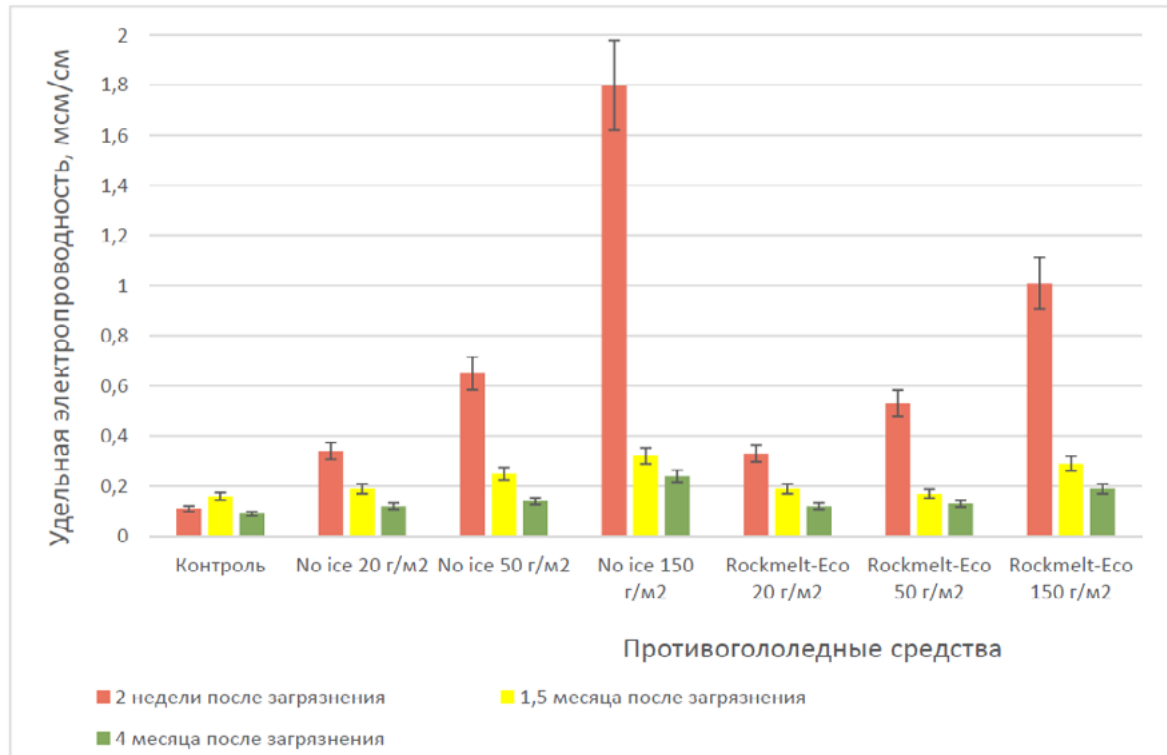


Рис. 2. Удельная электропроводность водных вытяжек из загрязненных ПГС почв (полевой опыт), мСм/см



**Рис. 3.** Динамика удельной электропроводности водной вытяжки из почв в течение вегетационного сезона (полевой опыт), мСм/см

отметки 0,29 мСм/см (при максимальных дозах технической соли). На основании этих данных можно говорить о практически полном вымывании противогололедных реагентов за время вегетационного сезона из верхних горизонтов исследованной почвы.

Динамику содержания солей в почве в полевых условиях в течение вегетационного сезона можно проследить на примере реагентов No ice и Rockmelt-Eco. На рис. 3 сопоставлены величины электропроводности в почвах полевого опыта, измеренных через два недели после загрязнения указанными ПГС, через полтора месяца, а также по окончании вегетационного сезона.

Резкое уменьшение засоления было отмечено уже в самые краткие сроки. Через два месяца содержание солей снизилось фактически до контрольных отметок (наибольшее значение – 0,32 мСм/см). В последующее до окончания вегетационного сезона время наблюдалось дальнейшее, уже плавное снижение уровня засоления.

Таким образом, результаты полевых экспериментов демонстрируют очень значительное снижение содержания солей ПГС в почве к концу вегетационного сезона. Одновременно уменьшалась токсичность загрязненных ПГС почв, что подтвердилось результатами опытов по фитотестированию (на семенах пшеницы), учету растительной биомассы (газонных трав) и микробиологическими экспериментами (на почвенных

микроорганизмах), в которых отмечалось сильное сокращение токсического воздействия ПГС осенью. Эти данные более подробно представлены в отдельных статьях [5, 6].

Столь выраженное снижение засоления можно объяснить, главным образом, вымыванием солей из верхних горизонтов почвы выпадающими осадками. Промывной водный режим почв Санкт-Петербурга, в целом, допускает использование ПГС на основе хлоридов – почвы успевают промыться, и накопления солей в них не происходит.

Тем не менее, необходимо учитывать изменчивость внешних факторов, к примеру, вероятность засушливого лета, при котором процессы очищения почвы от солей могут сильно замедляться. Важно отметить также, что максимальное вредное действие реагентов на растения и почвенные микроорганизмы приходится на вторую половину весны, сразу по окончании зимнего сезона. В это время степень засоления в почве максимальна, а растения как раз вступают в период активного роста и наименее жизнестойчивы. Соответственно, в апреле-мае вред от ПГС для растений является наибольшим.

В настоящий момент широкое применение относительно безвредных для растений ацетатных и формиатных реагентов на улицах Санкт-Петербурга мало осуществимо из-за их высокой стоимости. Поэтому основной упор делается на более дешевые хлоридные

ПГС, и в ближайшее время ситуация, согласно заявлениям представителей дорожных служб, меняться не будет. С учетом данных объективных факторов наименее экологически опасными можно назвать ПГС на основе хлоридов магния («Бишофит»), в результате применения которых содержание солей в почве несколько меньше, чем у других хлоридных ПГС (см. рис. 1, 2).

### Выводы

Проведенные исследования динамики содержания солей в дерново-подзолистой почве, загрязненной ПГС нового поколения, позволяют сделать следующие выводы.

– Максимальные дозы хлоридных реагентов (150 г/м<sup>2</sup>) увеличивают содержание солей в почве до отметок, соответствующих слабому засолению, что несет потенциальную опасность для растений и почвенных микроорганизмов. Поэтому применение хлоридных реагентов в указанных дозах необходимо ограничивать.

– В результате применения ацетатных и формиатных ПГС даже максимальные их дозы практически

не вызывают превышения контрольных показателей и, соответственно, в основном не оказывают угнетающего действия на различные компоненты окружающей среды.

– Среди хлоридных ПГС, применяющихся в Санкт-Петербурге, предпочтение следует отдавать препаратам на основе хлоридов магния («Бишофит»). Ацетатные и формиатные реагенты («Нордвэй» и «Clearway») безопаснее для окружающей среды, нежели хлориды, и поэтому могут быть рекомендованы к применению на улицах городов.

– В течение вегетационного сезона степень засоления почвы, вызванная ПГС, снижается до минимальных отметок вследствие их вымывания из верхних почвенных горизонтов осадками. Поэтому, с учетом принципа максимальной экологической безопасности, при расчете допустимых доз нужно ориентироваться на результаты лабораторных экспериментов, согласно которым дозы ПГС, не превышающие 50 г/м<sup>2</sup>, не изменяют почвенных условий и могут считаться допустимыми для использования на улицах городов.

### Литература

#### Список русскоязычной литературы

1. Азовцева НА. Влияние солевых антифризов на экологическое состояние городских почв. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ; 2004.
2. Васильев ПА. Экологические проблемы, связанные с применением противогололедных реагентов в условиях города. Тезисы докладов XV межд. конф. «Ломоносов-2008»; 2008 8-12 апреля; Москва. Москва: МГУ; 2008. с. 12-3.
3. Возбуцкая АЕ. Химия почвы. Москва: Высшая школа; 1968.
4. Воробьева ЛА, Ладонин ДВ, Лопухина ОВ, Рудакова ТА, Кирюшин АВ. Химический анализ почв. Вопросы и ответы. Москва: МГУ; 2012.
5. Герасимов АО, Чугунова МВ. Изучение воздействия хлоридных противогололедных реагентов на высшие растения и почвенные микроорганизмы в лабораторном и полевом экспериментах. Инженерная геология. 2016;6:48-53.
6. Герасимов АО, Чугунова МВ. Оценка действия противогололедных реагентов разного химического состава на рост травянистых растений и почвенное дыхание. Биосфера. 2018;10(4):273-81.
7. Доспехов БА. Методика полевого опыта. Москва: Альянс; 2011.
8. Копикова ЛП. Изучение электрической проводимости почв и поровых растворов в целях диагностики степени засоления. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ; 1985.
9. Кошелева НЕ, Кузьминская НЮ, Терская ЕВ. Засоление и осолонцевание городских почв из-за применения противогололедных реагентов (на примере Западного административного округа Москвы). Инженерные изыскания. 2017;(6-7):64-7.
10. Никифорова ЕМ, Кошелева НЕ, Власов ДВ. Мониторинг засоления снега и почв Восточного округа Москвы противогололедными смесями. Фундаментальные исследования. 2014;11(2):340-7.
11. Николаевский ВС, Якубов ХГ. Новые методы оценки устойчивости древесных растений к комплексу экстремальных факторов мегаполиса. Проблемы озеленения городов. 2004;(10):146-9.
12. Панкова ЕИ, Воробьева ЛА, Гаджиев ИМ, Горохова ИН и др. Засоленные почвы России (отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова). Москва: Академкнига; 2006.
13. Сотнева НИ. Применение экспресс-методов для оценки почв по степени засоления (на примере почв севера Прикаспийской низменности). Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2005;57:68-80.
14. Толпешта ИИ, Соколова ТА, Сиземская МЛ. Активности ионов и электропроводность вод-

ной вытяжки целинных и мелиорированных почв Джаныбекского стационара. Почвоведение. 2000;11:1365-76.

15. Якубов ХГ, Николаевский ВС. Удаление натрия и хлоридов из почв города в целях улучшения условий роста и развития древесных растений. Экология большого города. 2001;(5):100-5.

#### Общий список литературы/Reference lists

1. Azovtseva NA. [The effect of salt antifreezes on the ecological state of urban soils. Candidate of Sciences Theses]. Moscow: MGU; 2004. (In Russ.)
2. Vasiliev PA. [Environmental problems associated with the use of anti-ice reagents in urban conditions]. In: Tezisy Dokladov XV Mezhdunarodnoy Konferentsii «Lomonosov-2008». Moscow: MGU; 2008. p. 12-3. (In Russ.)
3. Vozbutskaya AYe. Khimiya Pochvy. [Soil Chemistry]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1968. (In Russ.)
4. Vorobyeva LA, Ladonin DV, Lopukhina OV, Rudakova TA, Kiryushin AV. Khimicheskiy Analiz Pochv. Voprosy i Otvety. [Chemical Analysis of Soils. Questions and Answers]. Moscow: MGU; 2012. (In Russ.)
5. Gerasimov AO, Chugunova MV. [A study of anti-ice materials effect on higher plants and soil microorganisms in laboratory and field experiments]. Inzhenernaya Ekologiya. 2016;6:48-53. (In Russ.)
6. Gerasimov AO, Chugunova MV. [Evaluation of the effect of anti-icing agents of different chemical composition on the growth of herbaceous plants and soil respiration]. Biosphere. 2018;10(4):273-81. (In Russ.)
7. Dospekhov BA. Metodika Polevogo Opyta. [Methodology of Field Experiments]. Moscow: Alyans; 2011. (In Russ.)
8. Kopikova LP. [A study of electrical conductivity of soils and pore solutions for diagnosing the degree of salinity Candidate of Science Theses]. Moscow: MGU; 1985. (In Russ.)
9. Kosheleva NYe, Kuzminskaya NYu, Terskaya YeV. [The salinization and alkalization of urban soils due to the use of anti-ice reagents (exemplified with Moscow Western Administrative District)]. Inzhenernye Izyskaniya 2017;(6-7):64-7. (In Russ.)
10. Nikiforova YeM, Kosheleva NYe, Vlasov DV. [The monitoring of snow and soils salinization by anti-ice materials in the Eastern District of Moscow]. Fundamentalnye Issledovaniya. 2014;11(2):340-47. (In Russ.)
11. Nikolayevsky VS, Yakubov KhG. [New methods for assessing the resistance of woody plants to a complex of extreme factors of a megacity]. Problemy Ozeleeniya Gorodov. 2004;(10):146-9. (In Russ.)
12. Pankova YeI, Vorobieva LA, Gadzhiev IM, Gorokhova IN et al. Zasolennye Pochvy Rossii. [Saline Soils in Russia]. Moscow: Akademkniga; 2006. (In Russ.)
13. Sotneva NI. [The use of express methods for estimating of soils by the degree of their salinity (exemplified with North Caspian lowland soils)]. Biulleten Pochvennogo Instituta Imeni V V Dokucheyava. 2005;57:68-80. (In Russ.)
14. Tolpeshta II, Sokolova TA, Sizemskaya ML. [Ion activity and electric conductivity of water extract from virgin and meliorated soils of the Dzhanybek Station]. Pochvovedeniye. 2000;11:1365-76. (In Russ.)
15. Yakubov KhG, Nikolaevskiy VS. [Removal of sodium and chlorides from urban soil to improve conditions for growth and development of woody plants]. Ekologiya Bolshogo Goroda. 2001;(5):100-5. (In Russ.)
16. Cain NP et al. Review of the Effects of NaCl and Other Road Salts on Terrestrial Vegetation in Canada. Environment Canada Commercial Chemicals Evaluation Branch; 2001.
17. Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impact. NCHRP Report 577. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies; 2007.
18. Jacobi WR, Goodrich BA, Koski RD. Environmental Effects of Magnesium Chloride-Based Dust Suppression Products on Roadside Soils, Vegetation and Stream Water Chemistry. Agricultural Experiment Station Technical Report. TR09-04. Colorado State University; 2009.
19. Ke G, Zhang J, Tian B. Evaluation and selection of de-icing salt based on multi-factor. Materials (Basel). 2019;12(6):912.