

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ РАЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА РОСТ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ И ПОЧВЕННОЕ ДЫХАНИЕ

А.О. Герасимов, М.В. Чугунова

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург, Россия

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

Статья поступила в редакцию 03.07.2018; принята к печати 24.10.2018

Представлены результаты сравнительного изучения воздействия применяемых в Санкт-Петербурге противогололедных средств (ПГС) различного состава на рост травянистых растений и почвенное дыхание, проведенного с целью определить наименее опасные и установить допустимые концентрации их применения. Были исследованы ПГС на основе хлоридов натрия, магния, кальция, ацетата калия и формиата натрия, которые в условиях лабораторного и полевого экспериментов вносились в дерново-подзолистую почву в концентрациях 20, 50 и 150 г/м². Показателями воздействия ПГС на растения служили биомасса газонных трав и длина корней проростков пшеницы. В лабораторных опытах средние и высокие дозы хлоридов значительно подавляли почвенное дыхание и также снижали длину проростков семян пшеницы и биомассу газонных трав. В отдельных случаях угнетение растений наблюдалось уже при минимальном уровне хлоридных реагентов, а при высоком уровне оно достигало 100%. Среди хлоридных ПГС наименее токсичным оказался хлорид магния. Ацетатные и формиатные реагенты не оказывали на растения и почвенные микроорганизмы столь же выраженное токсическое действие. В некоторых случаях отмечался их стимулирующий эффект, в частности, на почвенное дыхание. В полевых экспериментах в течение вегетационного сезона ингибирующее действие хлоридных ПГС постепенно нивелировалось природными факторами (атмосферные осадки и др.) до слабotoксичного или нейтрального. Ацетатные и формиатные ПГС при сравнении с хлоридными менее опасны для растений и, судя по почвенному дыханию, для микроорганизмов и могут рекомендоваться к использованию в городской среде. В условиях промывного водного режима Санкт-Петербурга рекомендуется, чтобы концентрации применяемых противогололедных средств не превышали 50 г/м².

Ключевые слова: противогололедные средства, почвы, растения, микроорганизмы, токсичность.

EVALUATION OF THE IMPACTS OF ICE CONTROL MATERIALS HAVING DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITIONS ON GRASS GROWTH AND SOIL RESPIRATION

A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova

Saint-Petersburg Research Center of Environmental Safety, Saint Petersburg, Russia

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

Comparative evaluation of the impact of ice control materials (ICM) used in Saint Petersburg grass growth and soil respiration was carried out to select the least hazardous of ICM and to establish their tolerable dosages. The ICM studied were based on sodium, magnesium or calcium chlorides, or potassium acetate, or sodium formate. ICM solutions were applied to sod-podzolic soils to make a 20, 50 or 150 g/m² application dose. Grass conditions were assessed by lawn grass biomass and wheat sprout root length. Under laboratory conditions, medium and high dosages of chlorides suppressed all parameters, the least toxic being magnesium chloride. Acetates and formates were less toxic and in some cases even stimulatory, in particular, for soil respiration. Under field conditions, the impact of chlorides gradually declined over the vegetative season, most likely because washing out by atmospheric precipitates, which are usual for the rainy climate of Saint Petersburg. On a whole, acetates and formates are the least hazardous among ICM tested. Under Saint-Petersburg climatic conditions, application dosages of ICM should not exceed 50 g/m².

Keywords: ice control materials, soil, grass, toxicity.

Введение

В последние годы в России появилось значительное число новых противогололедных средств (ПГС). Во многом подобное изобилие обуславливается маркетинговыми решениями. Вследствие актуальности и масштабов проблемы под разными торговыми марками могут скрываться одни и те же препараты, внедрение которых связано с потенциальными доходами производителей. Сейчас на рынке фигурирует несколько десятков ПГС различного химического состава. Некоторые из них широко и бесконтрольно используются на магистралях городов на постоянной основе.

В связи с этим важной природоохранной задачей является оценка последствий применения различных ПГС на улицах российских городов. Это обуславливается тем, что в мегаполисах ПГС являются одним из главных антропогенных факторов, негативно влияющих на окружающую среду, в первую очередь – на высшие растения и почвенные микроорганизмы.

Известно, что одним из наиболее важных показателей качества почв служит жизненное состояние и биомасса произрастающих на них растений. ПГС прежде всего повреждают растительность опосредованно, через загрязненную почву [10]. Поступая вместе с тающим снегом в придорожные почвы и накапливаясь в них, ПГС изменяют их химический состав и нарушают физические характеристики. Это приводит к структурным и функциональным изменениям почвенной экосистемы, что чревато гибелью растений [8]. В то же время непосредственно на растения ПГС могут попадать через воздух в форме брызг, пыли и аэрозолей, что вызывает отмирание стеблей и почек молодых побегов, задержку возобновления роста весной, снижение фотосинтетического потенциала. Степень воздействия ПГС на почвы и растительность зависит от множества факторов. В их числе – расстояние от проезжей части, продолжительность воздействия, гранулометрический состав почвы, наличие или отсутствие дренажа, количество осадков и другие [9].

Выделение углекислого газа почвой в первую очередь определяется дыханием содержащихся в ней микроорганизмов в процессе окисления и минерализации органического вещества ими. Изменение состояния микробсообществ, вызванное загрязнением почв ПГС, может привести к нарушению экологического равновесия и постепенной деградации экосистемы, что негативно скажется на почвенном плодородии. Микроорганизмы являются чувствительными биоиндикаторами, быстро реагирующими на изменения в среде. В связи с этим микробиологические показатели с успехом используются для экологической оценки состояния почв в условиях антропогенной нагрузки [2]. Однако, несмотря на первостепенную роль микроорганизмов в функционировании биосферы, сведения

о микробиологическом состоянии почв, загрязненных ПГС, малочисленны, а данные о влиянии доз различных ПГС на интенсивность процессов, контролируемых микроорганизмами, практически отсутствуют.

В последние годы вопросам негативного воздействия ПГС на окружающую среду уделяется все большее внимание. Однако, как правило, публикации на эту тему освещают действие одного-двух реагентов (в основном из хлоридной группы).

В Санкт-Петербурге среди различных ПГС наиболее часто для борьбы с обледенением используют реагенты на основе хлоридов натрия, кальция или магния. В последнее время все большее распространение получают также реагенты ацетатной и формиатной групп.

Целью настоящей работы было исследовать характер и степень воздействия ПГС различного химического состава, применяемых в Санкт-Петербурге, на растения и почвенное дыхание и определить наиболее безопасные ПГС и допустимые дозы их внесения.

Объекты и методы

Эксперименты по загрязнению окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы противогололедными реагентами проводились в лабораторных и полевых условиях. Для этого были выбраны ПГС, представляющие каждую из трех основных химических групп: техническая соль (хлорид натрия), «ТОР» (хлорид кальция), «Бишофит» (хлорид магния), «Нордвэй» (ацетат калия) и «Clearway» (формиат калия). В полевых опытах вместо реагента «ТОР» использовался реагент «Ежик» (смесь хлоридов кальция и натрия). Производителем ПГС «ТОР» и «Ежик» являлось ООО «Зиракс», «Нордвэй» – ООО «Профлинг», «Бишофита» – ЗАО «Бишофит-Авангард», а «Clearway» – концерн «Kemira».

ПГС в полевом и лабораторном экспериментах вносили в исследуемую почву в дозах 20, 50 и 150 г/м², соответствующих нормативам ТУ. Полученные результаты сравнивали с показателями незагрязненных контрольных образцов.

Натурный мелкоделяночный эксперимент был заложен в 4-кратной повторности на территории опытного поля Аграрного университета (г. Пушкин) с целью выявить степень уменьшения токсичности загрязненных ПГС почв в течение вегетационного сезона вследствие процессов самоочищения.

После загрязнения ПГС опытных делянок в начале вегетационного сезона (в мае) высевали газонные травы (травосмесь «Универсал»). Осенью (в сентябре) производили полный укос трав с делянок для определения их биомассы, служащей интегральным показателем при оценке физиологического состояния растений. Тогда же отбирали образцы контрольных и загрязненных почв для проведения лабораторных

исследований (фитотестирование и микробиологические опыты).

Лабораторный опыт проводили с целью выявить воздействие неизменных концентраций ПГС (в отсутствие внешних природных факторов) на состояние растений и почвенное дыхание.

Для проведения лабораторного эксперимента почву, увлажненную до 60% полной влагоемкости, помещали в вегетационные сосуды объемом 1 л. Реагенты вносили в почву в растворенном виде. После загрязнения указанными дозами ПГС засеивали почву газонными травами (травосмесь «Универсал»). Через три-четыре недели по достижении определенной высоты надземную часть растений срезали, затем путем взвешивания определяли ее биомассу.

Показателем степени воздействия ПГС на растения как в натуральных, так и в лабораторных условиях, кроме биомассы газонных трав, служили различия в длине корней проростков пшеницы (*Triticum aestivum L.*), выросших на загрязненных почвах, по сравнению с контрольной пробой¹.

Интенсивность выделения CO₂ (иначе – почвенное дыхание), которая характеризует интегральную на-

¹ Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. М-П-2006. Федеральный реестр (ФР). ФР.1.39.2006.02264. Санкт-Петербург; 2009.

пряженность протекающих в почвах процессов биодеструкции органического вещества, использовали в качестве показателя микробиологического состояния почв. В настоящее время почвенное дыхание считается одним из наиболее важных индикаторов состояния не только микробного комплекса почв, но и почвенной экосистемы в целом [4, 5]. Почвенное дыхание определяли в лабораторных условиях адсорбционным методом [1].

Достоверность различий между полученными результатами оценивали по критерию Манна-Уитни и дополнительно по критерию Стьюдента. Последний использовали на основании того, что в полевых опытах случайные ошибки неизбежны и даже при малом числе параллельных наблюдений они соответствуют t-распределению Стьюдента [3].

Результаты и обсуждение

Результаты определения длины корней проростков пшеницы, выращиваемых в лабораторных условиях, при действии различных ПГС представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что при максимальной концентрации хлоридных реагентов подавление проростков пшеницы достигало 90–100%. Серьезное угнетение – от 32 до 52% – наблюдалось даже при минимальных дозах ПГС. В то же время у ацетатного и формиатного

Табл. 1

Воздействие ПГС на длину корней проростков пшеницы в лабораторном опыте

Реагент	Доза ПГС, г/м ²	Длина корня, мм*	Δ, %**
Контроль	0	16,0 ± 2,2	
	20	8,4 ± 1,4	-47,7 ^{^#}
	50	5,3 ± 0,3	-66,9 ^{^#}
	150	0	-100 ^{^#}
Техническая соль	20	10,8 ± 2,1	-32,3 [#]
	50	9,7 ± 0,6	-39,6 [#]
	150	1,6 ± 0,1	-90,0 ^{^#}
Бишофит	20	7,6 ± 0,3	-52,8 ^{^#}
	50	4,7 ± 0,1	-71,0 ^{^#}
	150	0,7 ± 0,2	-96,0 ^{^#}
TOR	20	23,2 ± 1,6	+45,2 ^{^#}
	50	18,4 ± 1,4	+14,8
	150	7,3 ± 0,2	-54,6 ^{^#}
Нордвэй	20	19,2 ± 4,3	+20,2
	50	18,4 ± 2,2	+14,8
	150	12,6 ± 0,4	-21,3 [^]

* Среднее значение 4 параллельных измерений ± стандартное отклонение.

** Δ – отличие от контроля (%); ^ – p ≤ 0,05 (по критерию Манна-Уитни).

– p ≤ 0,05 (по критерию Стьюдента); отсутствие значков ^ и/или # означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

реагентов «Нордвэй» и «Clearway» угнетение началось только при максимальных концентрациях ПГС – 54 и 21% соответственно. При низких же и средних дозах, наоборот, в некоторых вариантах отмечалась стимуляция роста корней (до 45%).

Схожие закономерности были выявлены в опыте по учету биомассы (табл. 2). Ацетатный и формиатный реагенты в малых и средних концентрациях не ингибировали рост трав, а достигаемое угнетение от их воздействия оказалось менее значительным (максимум – 34% у реагента «Clearway»). Влияние минимальных доз хлоридов оказалось опасно токсичным для газонных трав: угнетения на 58% и более, и уже при средних дозах семена практически не взошли (отмечались лишь единичные всходы, чья масса не достигала 1% контроля).

Необходимо подчеркнуть, что, по сравнению с пшеницей, восприимчивость газонных трав к действию хлоридов может считаться более репрезентативной, поскольку именно травы используют в уличных посадках.

Судя по изменениям почвенного дыхания, почвенные микроорганизмы также испытывали угнетение от действия противогололедных реагентов, однако в меньшей степени, чем растения (табл. 3). Минималь-

ные дозы всех исследованных реагентов не оказывали достоверного воздействия на почвенное дыхание. Наиболее токсичной оказалась техническая соль, которая существенно ингибировала дыхательную активность при средних и максимальных дозах (–40 и –53% соответственно по сравнению с контролем). Хлоридные реагенты «ТОР» и «Бишофит» снижали (в среднем на треть) интенсивность почвенного дыхания при их внесении в максимальных количествах. Известно, что критический порог устойчивости почвенных систем составляет потерю не более 30% биоорганического потенциала от фонового или контрольного уровня [13]. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о деградации микробсообществ исследованных почв, что в свою очередь указывает на низкую устойчивость изученных почвенных систем в целом к токсическому воздействию высоких доз хлоридных ПГС.

Ацетатные и формиатные реагенты стимулировали почвенное дыхание. В то же время выраженное превышение интенсивности дыхания над контрольными показателями (до 73,9% у «Нордвэя») нельзя считать положительным явлением, поскольку подобная гипертрофированная активность способна вывести систему из режима нормального функционирования и в дальнейшем привести к ее разрушению [6, 7].

Табл. 2

Воздействие ПГС на биомассу газонных трав в лабораторном опыте

Реагент	Доза ПГС, г/м ²	Биомасса, г*	Δ, %**
Контроль	0	2,48 ± 0,1	
Техническая соль	20	0,18 ± 0,0	–92,9 ^#
	50	0,01 ± 0,0	–99,8 ^#
	150	0	–100 ^#
Бишофит	20	1,03 ± 0,0	–58,3 ^#
	50	0,004 ± 0,0	–99,8 ^#
	150	0	–100 ^#
ТОР	20	0,12 ± 0,0	–95,0 ^#
	50	0	–100 ^#
	150	0	–100 ^#
Нордвэй	20	2,1 ± 0,1	–15,2 ^
	50	2,53 ± 0,1	+2,0
	150	2,1 ± 0,1	–15,2 ^
Clearway	20	3,15 ± 0,1	+26,7 ^#
	50	2,58 ± 0,1	+4,0
	150	1,63 ± 0,0	–34,2 ^#

* Среднее значение по 3 параллельным измерениям ± стандартное отклонение.

** Δ – отличие от контроля (%).

^ – $p \leq 0,05$ (по критерию Манна-Уитни); # – $p \leq 0,05$ (по критерию Стьюдента); отсутствие значков ^ и/или # означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

В целом результаты экспериментов по загрязнению почвы ПГС в лабораторных условиях продемонстрировали опасную токсичность хлоридных реагентов для растений и микроорганизмов и менее токсичное действие ацетатных и формиатных реагентов. Из числа хлоридных ПГС наиболее токсичной оказалась техническая соль.

Стимуляцию формиатным и ацетатным реагентами почвенного дыхания и роста растений можно объяснить действием калия, входящего в состав этих препаратов. В то же время хлоридные ПГС снижали эти показатели, что согласуется с исследованиями зарубежных ученых. Уинтерс с коллегами установил, что ацетаты в составе ПГС менее вредны для растений, нежели хлориды натрия [12]. Хорнер также пришел к выводу, что ацетаты в концентрациях, используемых в ПГС, не наносят вреда наземной растительности, за исключением тех случаев, когда их высокие уровни вызывают осмотический стресс в корневой зоне [11]. Но и в этом случае опасность ацетатов неоднозначна, поскольку он является питательным веществом для многих видов микроорганизмов, а сами реагенты обычно разлагаются в течение 2–4 недель [10].

Поскольку зимой противогололедные реагенты остаются в почве и со временем накапливаются в ней, то

даже минимальные вносимые дозы некоторых реагентов могут стать опасными для жизнедеятельности растений и почвенных микроорганизмов. Однако по окончании периода обработок улиц ПГС, в течение вегетационного сезона, реагенты в почве подвергаются действию различных внешних факторов. В частности, климатические условия Северо-Западного региона РФ характеризуются большим количеством осадков. С целью выявления динамики токсичности загрязненной ПГС почвы для растений и микроорганизмов в течение вегетационного сезона были заложены полевые опыты.

Результаты фитотестирования проб загрязненных ПГС полевых почв, отобранных по истечении вегетационного сезона, представлены в таблице 4.

Как видно, к осени действие хлоридных ПГС на проростки пшеницы в полевом эксперименте стало, в основном, менее токсичным, чем в лабораторном эксперименте, а с «Бишофитом» длина корней даже превзошла контрольные показатели.

Степень угнетения растительной биомассы хлоридными ПГС также заметно уменьшилась. Действие хлоридов магния и кальция на биомассу соответствовало «практически не токсичному», как видно в таблице 5.

Табл. 3

Дыхание почвы (лабораторный опыт)

Реагент	Доза ПГС, г/м ²	мг СО ₂ /100 г сухой почвы в сутки*	Δ, %**
Контроль	0	28,0 ± 0,3	–
Техническая соль	20	28,1 ± 1,0	+0,7
	50	16,6 ± 0,3	–40,7 ^{^#}
	150	13,1 ± 1,1	–53,2 [#]
Бишофит	20	25,4 ± 1,1	–9,5
	50	27,1 ± 1,2	–3,4
	150	20,5 ± 1,1	–26,4
ТОР	20	42,2 ± 1,2	+50,6 [#]
	50	25,4 ± 0,9	–9,5
	150	18,2 ± 1,0	–35,2 [#]
Нордвэй	20	45,6 ± 4,4	+62,9 ^{^#}
	50	32,9 ± 2,1	+17,5
	150	48,7 ± 3,6	+73,9 ^{^#}
Clearway	20	44,1 ± 0,6	+57,3 ^{^#}
	50	30,8 ± 1,3	+9,9
	150	35,7 ± 1,6	+27,4 ^{^#}

* Среднее по 3 определениям ± стандартное отклонение.

** Δ – отличие от контроля.

[^] – p ≤ 0,05 (по критерию Манна-Уитни); [#] – p ≤ 0,05 (по критерию Стьюдента); отсутствие значков [^] и/или [#] означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

Табл. 4

Воздействие ПГС на длину корней проростков высших растений в полевом опыте

Реагент	Доза ПГС, г/м ²	Длина корня, мм*	Δ, %**
Контроль	0	35,0 ± 0,2	–
Техническая соль	20	23,0 ± 0,3	–34,3 ^#
	50	23,5 ± 0,7	–33,0 ^#
	150	17,6 ± 0,2	–49,8 ^#
Бишофит	20	39,4 ± 2,6	+12,6
	50	32,2 ± 1,6	–8,1
	150	45,8 ± 2,1	+30,8 ^#
«Ежик»	20	33,2 ± 3,9	–5,1
	50	28,8 ± 1,6	–17,7 #
	150	22,1 ± 1,6	–36,9 ^#
Нордвэй	20	26,2 ± 0,4	–25,1 ^#
	50	31,1 ± 0,5	–11,2 ^#
	150	18,5 ± 2,2	–47,2 ^#
Clearway	20	23,0 ± 2,9	–32,8 ^#
	50	25,7 ± 1,7	–24,9 ^#
	150	16,8 ± 1,2	–50,9 ^#

* Среднее по 4 параллельным измерениям ± стандартное отклонение;

** Δ – отличие от контроля (%); ^ – $p \leq 0,05$ (по критерию Манна-Уитни); # – $p \leq 0,05$ (по критерию Стьюдента); отсутствие значков ^ и/или # означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

Табл. 5

Воздействие ПГС на биомассу газонных трав в полевом опыте

Реагент	Доза ПГС, г/м ²	Биомасса, г*	Δ, %**
Контроль	0	347,5 ± 7,8	
Техническая соль	20	278,0 ± 4,9	–20,0
	50	133,9 ± 4,0	–61,5 ^
	150	49,8 ± 2,2	–85,7 ^#
Бишофит	20	358,8 ± 25,4	+3,3 #
	50	343,8 ± 23,3	–1,1 #
	150	272,5 ± 25,3	–21,6 #
Ежик	20	362,5 ± 51,8	+4,3 #
	50	333,8 ± 16,4	–3,9 #
	150	250 ± 28,1	–28,1 #
Нордвэй	20	216,2 ± 5,4	–37,8
	50	251,4 ± 7,8	–27,7
	150	66,9 ± 2,4	–80,7 ^#
Clearway	20	261,8 ± 16,4	–24,7 #
	50	303,0 ± 9,2	–12,9 #
	150	264,6 ± 29,1	–23,9 #

* Среднее значение по 3 параллельным измерениям ± стандартное отклонение;

** Δ – отличие от контроля (%); ^ – $p \leq 0,05$ (по критерию Манна-Уитни); # – $p \leq 0,05$ (по критерию Стьюдента); отсутствие значков ^ и/или # означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

Некритичное для микробоценозов снижение уровня почвенного дыхания отмечалось лишь в варианте со средними концентрациями формиата, а в отдельных случаях (средняя концентрация хлорида магния и максимальная – ацетата) выявлена незначительная стимуляция микробиологической активности.

Результаты полевых экспериментов демонстрируют значительное снижение токсичности загрязненной ПГС почвы в течение лета и осени. Его можно объяснить, главным образом, вымыванием солей хлоридных ПГС из верхних горизонтов почвы выпадающими осадками. У ацетатных и формиатных реагентов за этот же период отмечено нивелирование стимулирующего действия, что, по всей видимости, обусловлено теми же факторами.

Техническая соль и в этом случае сильнее прочих хлоридов подавляла газонные травы, но при слабой и средней концентрациях ее влияние уже не превышало степени умеренной токсичности.

В то же время подавление надземной биомассы формиатами осталось на прежнем уровне, а в случае ацетатов даже немного усилилось.

Что касается активности микроорганизмов, то по окончании вегетационного сезона действие всех про-

отивогололедных реагентов становится нейтральным – они не оказывали существенного влияния на интенсивность почвенного дыхания (табл. 6).

Исследования показали, что степень токсичности в большинстве загрязненных ПГС проб к концу вегетационного периода снижалась (за единичными исключениями). В этой связи есть основания считать, что использование имеющихся ПГС при промывном водном режиме Санкт-Петербурга (и всего Северо-Западного региона) не является для растений чрезвычайно опасным, как это видится по данным лабораторных экспериментов, где концентрации загрязнителя неизменны. Тем не менее, необходимо учитывать изменчивость внешних факторов, например, вероятность засушливого лета. Кроме того, известно, что максимальное токсическое действие реагентов проявляется сразу по окончании сезона противогололедных обработок, когда растения вступают в период активного роста и наименее устойчивы. Соответственно, вред от ПГС в данное время максимален.

Тенденции рынка противогололедных средств таковы, что хлоридные реагенты занимают сегодня доминирующее положение, поскольку они заметно дешевле ацетатных и формиатных реагентов. В частности, в

Табл. 6

Дыхание загрязненной ПГС почвы, мг CO₂/100 г сухой почвы, в сутки (полевой опыт)

Реагент	Доза, г/м ²	мг CO ₂ /100 г сухой почвы в сутки*	Δ, %**
Контроль	0	9,7 ± 0,9	
Техническая соль	20	9,9 ± 0,9	+2,1
	50	10,6 ± 0,7	+9,3
	150	8,7 ± 0,8	-10,3
Бишофит	20	10,7 ± 1,5	+10,0
	50	13,1 ± 1,8	+35,0
	150	9,9 ± 1,4	+2,9
Ежик	20	9,9 ± 1,4	+2,8
	50	9,3 ± 0,5	-4,3
	150	10,5 ± 1,4	+7,8
Нордвэй	20	9,8 ± 0,9	+1,0
	50	10,1 ± 1,0	+4,0
	150	12,4 ± 0,4	+27,8 #
Clearway	20	8,5 ± 0,5	-12,4
	50	7,6 ± 0,1	-21,6 #
	150	8,5 ± 1,2	-12,4

* среднее по 4 параллельным измерениям CO₂ ± стандартная ошибка;

** Δ – отличие от контроля;

^ – p ≤ 0,05 (по критерию Манна-Уитни); # – p ≤ 0,05 (по критерию Стьюдента); отсутствие значков ^ и/или # означает недостоверность различия по одному либо обоим критериям.

Санкт-Петербурге в ближайшем будущем не планируется отказываться от применения технической соли на магистралях города (по утверждениям работников соответствующих служб). Однако при выборе из хлоридных реагентов предпочтительно использовать хлориды магния (реагент «Бишофит» и схожие с ним по химическому составу ПГС). Для еще большего снижения опасности для окружающей среды целесообразно применение реагентов «Нордвэй» и «Clearway».

При расчете концентраций применяемых ПГС следует ориентироваться на результаты лабораторных экспериментов, согласно которым рекомендуется не превышать дозы 50 г/м².

Выводы

– Ацетатные и формиатные реагенты («Нордвэй» и «Clearway») представляют меньшую экологическую опасность для жизнедеятельности высших растений и почвенных микроорганизмов по сравнению с хлоридными реагентами.

– Среди хлоридных ПГС, применяющихся в Санкт-Петербурге, хлориды магния («Бишофит») оказались менее токсичными в сравнении с хлоридами кальция и натрия.

– В течение вегетационного сезона токсичность хлоридных ПГС в почве снижается вследствие вымывания их солей из верхних почвенных горизонтов осадками. Тем не менее, рекомендуется не допускать превышения концентрации ПГС 50 г/м², которую можно считать приемлемой для использования на улицах городов.

– Во избежание накопления отдельных химических элементов в почве целесообразно довести число применяемых ПГС до четырех-пяти, чтобы иметь возможность чередовать их применение.

– Дальнейшие разработки в области ПГС должны быть направлены на реагенты комбинированного состава, которые позволяли бы эффективно плавить снег и лед и не наносить при этом значительного ущерба окружающей среде.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Головкин ЭА. О методах изучения биологической активности торфяных почв. Материалы научной конференции по методам микробиологических и биохимических исследований почв; 1971 28-31 окт.; Киев. Киев; 1971. с. 68-76.
2. Гузев ВС, Левин СВ. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов. Материалы конференции: «Перспективы развития почвенной биологии». М.: МАКС-Пресс; 2001. с. 178-219.
3. Доспехов БА. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд. Москва: Альянс; 2011.
4. Ершов ЮИ. Органическое вещество биосферы и почвы. Новосибирск: Наука; 2004.
5. Заварзин ГА, Кудеяров ВН. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России. Вестник Российской Академии наук. 2006;76(1):14-29.
6. Звягинцев ДГ. Почва и микроорганизмы. М.: Издательство МГУ; 1987.
7. Звягинцев ДГ, Бабьева ИП, Зенова ГМ. Биология почв. М.: Издательство МГУ; 2005.
8. Якубов ХГ, Николаевский ВС. Удаление натрия и хлоридов из почв города в целях улуч-

шения условий роста и развития древесных растений. Экология большого города. Альманах «Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы». 2001;5:100-5.

Общий список литературы/Reference List

1. Golovko EA. [About methods for studying the biological activity of peat soils]. In: Materialy Nauchnoy Konferentsii po Metodam Mikrobiologicheskikh i Biokhimicheskikh Issledovaniy Pochv. Kiev; 1971. p. 68-76. (In Russ.)
2. Guzev VS, Levin SV. [The anthropogenic changes in communities of soil microorganisms]. In: Materialy Konferentsii «Perspektivy Razvitiya Pochvennoy Biologii». Moscow: MAKS-Press; 2001. p. 178-219. (In Russ.)
3. Dospekhov BA. Metodika Polevogo Opyta (s Osnovami Statisticheskoy Obrabotki Rezultatov Issledovaniy). Moscow: Aliyans; 2011. (In Russ.)
4. Yershov YuI. Organicheskoye Veschestvo Biosfery i Pochvy. Novosibirsk: Nauka; 2004. (In Russ.)
5. Zavarzin GA, Kudeyarov VN. [Soil as the main source of carbon dioxide and a reservoir of organic carbon on the territory of Russia]. Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk. 2006;76(1):14-29. (In Russ.)

6. Zviagintsev DG. Pochva I Mikroorganizmy. Moscow: Izdatelstvo MGU; 1987. (In Russ.)
7. Zviagintsev DG, Babyeva IP, Zenova GM. Biologiya Pochvs. Moscow: Izdatelstvo MGU; 2005. (In Russ.)
8. Yakubov KhG, Nikolayevsky VS. [Removal of sodium and chlorides from urban soils for improving the conditions for woody plants growth and development]. In: Problemy Soderzhaniya Zelenykh Nasazhdeniy v Usloviyakh Moskvy. Moscow; 2001. P. 100-5. (In Russ.)
9. 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.
10. Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impact. NCHRP report 577. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, DC; 2007.
11. Horner RR. Environmental Monitoring and Evaluation of Calcium Magnesium Acetate (CMA). National Cooperative Highway Research Program 305; 1988.
12. Winters GR, Gidley J, Hunt H. Environmental Evaluation of Calcium Magnesium acetate (CMA). California Department of Transportation, CA; 1985.
13. Yakovlev AS, Evdokimova MV. Ecological standardization of soil and soil quality control. Eurasian Soil Science. 2011;44(5):534-46.

