

# ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХЛОРИДНЫХ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ВЫСШИЕ РАСТЕНИЯ И ПОЧВЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

## THE STUDY OF ANTI-ICE MATERIALS' EFFECT ON THE HIGH PLANTS AND SOIL MICROORGANISMS IN THE LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

**ГЕРАСИМОВ А. О.**

Старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, к.б.н., г. Санкт-Петербург, [recchi@rambler.ru](mailto:recchi@rambler.ru)

**ЧУГУНОВА М. В.**

Старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, к.б.н., г. Санкт-Петербург, [chugunova54@gmail.com](mailto:chugunova54@gmail.com)

**GERASIMOV A. O.**

Senior researcher, Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Science, PhD (Candidate of Science in Biology), St. Petersburg, [recchi@rambler.ru](mailto:recchi@rambler.ru)

**CHUGUNOVA M. V.**

Senior researcher, Scientific Research Center for Ecological Safety of the Russian Academy of Science, PhD (Candidate of Science in Biology), St. Petersburg, [chugunova54@gmail.com](mailto:chugunova54@gmail.com)

### Ключевые слова:

противогололедные средства; почвы; почвенные микроорганизмы; растения; хлориды; токсичность; эксперимент.

### Keywords:

anti-ice materials; soils; soil microorganisms; plants; chlorides; toxicity; experiment.

### Аннотация

В статье представлены результаты лабораторных и полевых исследований воздействия противогололедных средств на основе хлоридов, применяющихся в Санкт-Петербурге, на компоненты окружающей среды. Выявлена степень экологической опасности реагентов хлоридной группы для высших растений и почвенных микроорганизмов. По результатам исследований определены наименее экологически вредные противогололедные средства, а также рекомендованы допустимые дозы их применения на улицах городов.

### Abstract

The article presents the results of laboratory and field studies of the effect of chloride anti-ice materials used in St. Petersburg on some environmental components. The degree of chloride reagents environmental hazard for higher plants and soil microorganisms was revealed. The least environmentally harmful anti-ice materials were established according to the research findings, as well as permissible doses of their application in the city streets were recommended.

### Введение

Почвы и зеленые насаждения в городах являются самыми уязвимыми компонентами природной среды, так как в урбосистемах на них воздействует целый комплекс вредных антропогенных факторов, среди которых один из наиболее экологически опасных — противогололедные средства (ПГС). Попадая в больших объемах в почвы рядом с транспортными магистралями, ПГС негативным образом влияют как на сами почвы, так и на произрастающие на них растения и почвенные микроорганизмы [8].

На улицах российских городов применяются ПГС нескольких химических групп — хлоридной, ацетатной, формиатной, нитратной и аммонийной. В настоящий момент наиболее часто используемыми являются реагенты на основе хлоридов, чья доля заметно превышает формиатные и ацетатные ПГС.

В связи с этим целью исследований было изучение

в условиях полевого и лабораторного экспериментов степени воздействия различных хлоридных ПГС на экологическое состояние таких важнейших компонентов окружающей среды, как высшие растения и почвенные микроорганизмы.

### Методика исследования и характеристика объектов исследования

В данной работе изучались хлориды натрия (техническая соль), кальция (реагент «Юнипелл») и магния (реагент «Бишофит»), а также реагент «Ежик», представляющий собой смесь хлоридов кальция и натрия.

Загрязнение почвы возрастающими дозами указанных ПГС проводилось в условиях полевого и лабораторного экспериментов. В соответствии с ТУ были выбраны дозы: 20 г/м<sup>2</sup>, 50 г/м<sup>2</sup> и 150 г/м<sup>2</sup>. 20 г/м<sup>2</sup> — минимальная доза для большинства реагентов, применяющихся

при обработке дорог, 150 г/м<sup>2</sup> — максимальная.

Мелкоделяночный полевой опыт был заложен в 4-кратной повторности на дерново-подзолистой суглинистой окультуренной почве, расположенной на территории опытного поля Санкт-Петербургского аграрного университета. В начале лета почва загрязнялась дозами ПГС и засеивалась газонными травами (травосмесь «Универсал»). В конце вегетационного сезона почвенные образцы отбирались с глубины 2—10 см и затем тестировались в лаборатории. В те же сроки проводился укос газонных трав.

Модельный лабораторный опыт проводился с целью выявить воздействие неизменных концентраций ПГС (в отсутствие внешних факторов — промывание осадками и др.) на образцах той же дерново-подзолистой почвы, что и в полевом эксперименте. После загрязнения ПГС почвы засеивались газонными травами, укос которых проводился через 4 недели. Контролем служила чистая (не загрязненная ПГС) почва.

Степень воздействия ПГС на высшие растения определялась двумя способами:

1. Методом фитотестирования с использованием в качестве тест-организма семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Показателем воздействия ПГС являлись статистически значимые различия в длине корней и coleoptилей проростков пшеницы, выросших в лаборатории на загрязненных ПГС почвах, по сравнению с контрольной пробой [4].

2. Методом учета биомассы газонных трав, служащей интегральным показателем при оценке физиологического состояния растений. Величина надземной биомассы на загрязненной почве сравнивалась с величиной биомассы контрольных образцов.

Наряду с высшими растениями важнейшими индикаторами экологического состояния почв являются микроорганизмы. Для контроля за состоянием микробных комплексов в загрязненных ПГС почвах лабораторного и полевого опытов были выбраны два показателя биологической активности:

1. Почвенное дыхание (интенсивность выделения почвой CO<sub>2</sub>), являющееся интегральным показателем напряженности протекающих в почвах деструкционных процессов, вызываемых микроорганизмами, определялось в лаборатории адсорбционным способом [2].

2. Средорегулирующая активность комплекса почвенных микроорганизмов использовалась в качестве критерия ее экологической гибкости и устойчивости к антропогенному воздействию. Количественная оценка регуляторных механизмов, ограничивающих диапазон колебаний химических свойств почвы, проводилась по интенсивности ответной реакции микроорганизмов на внесение энергетического субстрата [1]. В качестве стимулятора ответной биологической реакции почв использовалась глюкоза, вносимая в количестве 1% от веса сухой почвы. Скорость и интенсивность ответной реакции устанавливалась в лабораторных условиях по количеству выделившейся углекислоты, которое определялось в течение нескольких дней адсорбционным способом [2]. Показателем характера ответной

биологической реакции почв (средорегулирующая активность) на внесение глюкозы служил уровень максимальной суточной энергии процесса выделения CO<sub>2</sub>.

Критерии при оценке микробиологического состояния загрязненных ПГС почв определялись на основе статистически значимых изменений уровня почвенного дыхания и средорегулирующей активности их микрофлоры по сравнению с контролем. Все определения проводились в 4-кратной повторности. Полученные результаты обрабатывались методом дисперсионного анализа.

### Полученные результаты и их обсуждение

Результаты фитотестирования почв, загрязненных ПГС в лабораторных условиях, представлены на рис. 1. Было установлено значительное угнетение растений, типичное при отравлении хлоридами, — задержка прорастания семян и сокращение размера побегов. Угнетение проростков наблюдалось уже при минимальной дозе ПГС. При максимальной концентрации всех хлоридных реагентов подавление корней проростков достигало 90–100%. Показатели хлорида магния («Бишофит») оказались лучше, чем у препаратов на основе кальция и натрия, а действие его низких концентраций — малотоксичным (32% угнетения).

Результаты фитотестирования проб почвы, отобранных с полевых участков по истечении вегетационного сезона, представлены на рис. 2. Реагент «Ежик» (смесь хлоридов кальция и натрия), использованный в полевых экспериментах, условно считался заменой хлориду кальция («Юнипелл»).

В условиях полевого эксперимента токсичность загрязненной ПГС почвы оказалась значительно ниже, чем в лабораторном опыте. По всей видимости, при промывном водном режиме, свойственном для нашей зоны, происходит вымывание водорастворимых солей ПГС за пределы корнеобитаемого слоя. В результате со временем (в нашем опыте — к концу вегетационного сезона) концентрации ПГС, а следовательно, и токсичность в верхних почвенных горизонтах снижаются. Так, действие остаточной

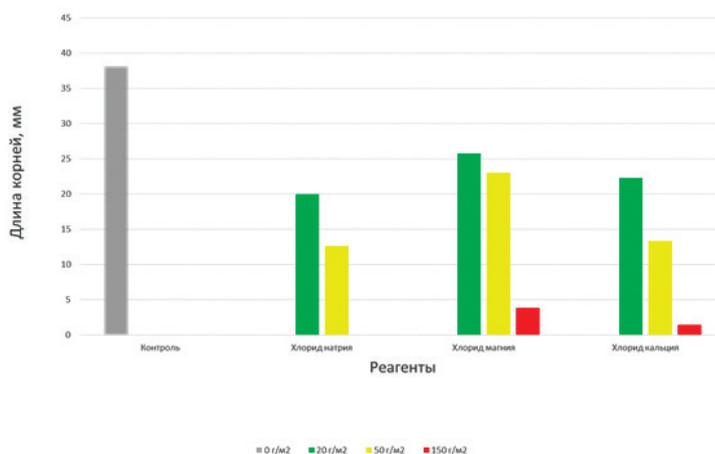
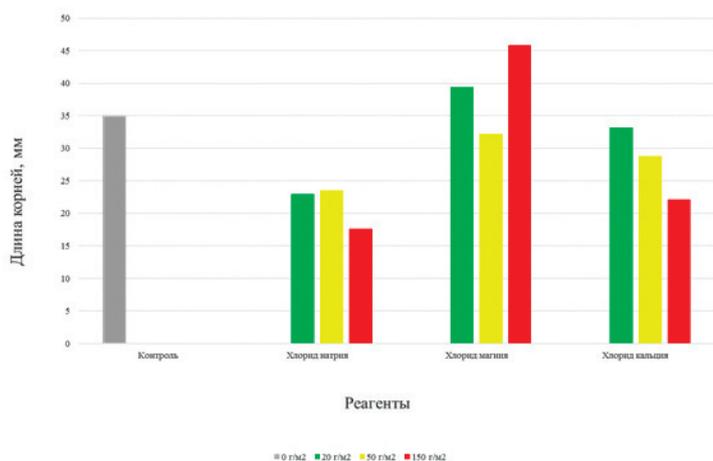
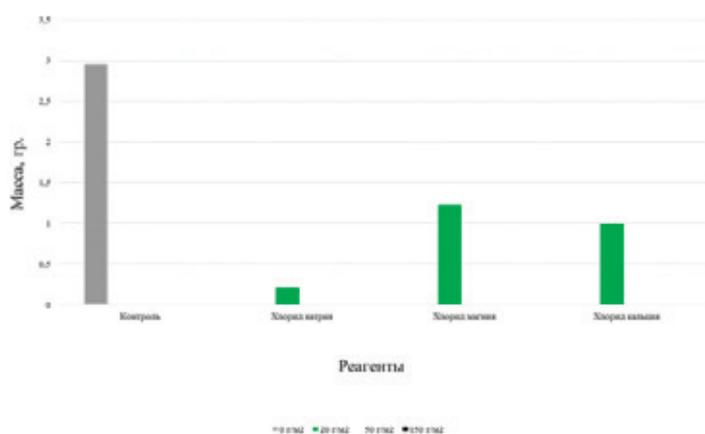


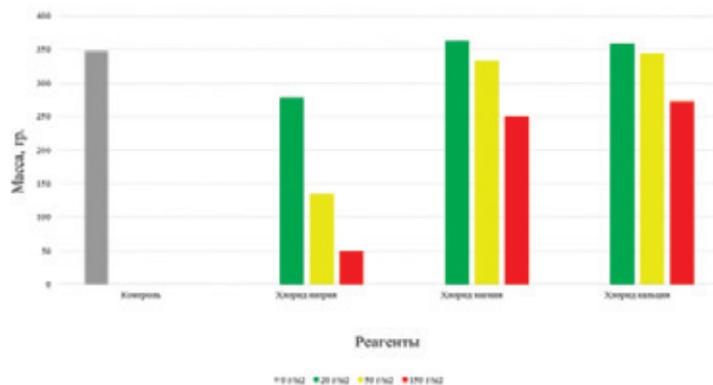
Рис. 1. Воздействие ПГС на длину корней проростков высших растений (лабораторный опыт, при острой токсичности)



**Рис. 2. Воздействие ПГС на длину корней проростков высших растений (полевой опыт, при остаточной токсичности)**



**Рис. 3. Воздействие ПГС на величину биомассы газонных трав в лабораторном опыте (при острой токсичности)**



**Рис. 4. Воздействие ПГС на величину биомассы газонных трав в полевых условиях (при остаточной токсичности)**

концентрации большинства реагентов на проростки пшеницы было в основном слаботоксичным. Даже в вариантах с максимальным загрязнением технической солью угнетение корней проростков не превышало 50%, а в вариантах с «Бишофитом» даже наблюдалось превышение их длины над контрольными

образцами. Экологические показатели магниевого реагента вновь оказались выше по сравнению с хлоридами натрия и кальция.

Важным критерием восприимчивости растений к воздействию противогололедных реагентов является изменение величины их биомассы под воздействием токсикантов. Результаты лабораторного вегетационного опыта по учету биомассы представлены на рис. 3. Газонные травы испытывали сильное угнетение уже под действием минимальных доз ПГС, а при средних концентрациях лучший показатель составил всего 1,2% от контрольного образца (у «Юнипелла»), что соответствует уровню опасной токсичности (эти показатели не отражены на рисунке ввиду их крайне низких значений). Известно, что травянистая растительность обладает более высокой устойчивостью к антропогенному воздействию, чем древесная (в особенности хвойные и молодые деревья) [10]. Поэтому исследованные ПГС могут представлять значительную опасность для деревьев придорожных полос.

Таким образом, результаты лабораторных опытов по фитотестированию и измерению величины биомассы трав говорят о высокой токсичности хлоридных реагентов для растений в городской среде. В случае когда реагенты остаются в почве в первоначальных концентрациях, даже минимальные дозы хлоридов чрезвычайно опасны для растений.

Результаты полевого эксперимента по учету биомассы газонных трав представлены на рис. 4. Как и при фитотестировании, данный опыт выявил выраженное снижение токсичности почвы для растений в природных условиях по сравнению с лабораторными. Почвы полевого опыта, загрязненные минимальными концентрациями хлоридов, практически утратили токсичность. В вариантах со средними концентрациями хлоридов магния и кальция угнетение биомассы оставалось фактически номинальным. Исключение составила техническая соль, продолжающая подавлять газонные травы, но и ее действие стало умеренно токсичным.

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что в полевых условиях попавшие в почву ПГС подвергаются действию различных природных факторов. В частности, за счет атмосферных осадков со временем происходит растворение и вымывание реагентов из верхних почвенных горизонтов в нижележащие, и, таким образом, осуществляется процесс самоочищения почвы.

Результаты исследований показывают, что, несмотря на определенную токсичность хлоридов магния и кальция для высших растений, их использование с точки зрения экологической безопасности предпочтительнее технической соли. Этот вывод согласуется с данными зарубежных специалистов, установивших, что натрий обладает наибольшим потенциалом негативного воздействия на почвы среди катионов. Натрий снижает проницаемость почвы и усиливает осмотический стресс растений. Магний же, напротив, улучшает почвенную структуру, связывая органические частицы и удерживая их в почве. Некоторые авторы считают магний нетоксичным даже в высоких концентрациях, так как он является неотъемлемым

Таблица 1

| Почвенное дыхание загрязненной ПГС почвы, мг CO <sub>2</sub> /100 г сухой почвы, в сутки (лабораторный опыт)<br><i>n=4, P=0,95, tst=2,45</i> |                                  |         |       |     |      |
|--|----------------------------------|---------|-------|-----|------|
| №  | Реагент                          | Среднее | N, %  | S   | t    |
| 1.   | Контроль                         | 14,8    |       | 1,2 |      |
| 2.   | Хлорид натрия (Техническая соль) | 14,9    | +0,7  | 1,0 | 0,06 |
|  |                                  | 8,8     | -40,7 | 0,3 | 4,84 |
|  |                                  | 6,9     | -53,2 | 1,1 | 4,85 |
| 3.   | Хлорид магния («Бишофит»)        | 13,4    | -9,5  | 1,1 | 0,86 |
|  |                                  | 14,3    | -3,4  | 1,2 | 0,29 |
|  |                                  | 10,9    | -26,4 | 1,1 | 2,39 |
| 4.   | Хлорид кальция («Юнипелл»)       | 14,9    | +0,4  | 0,5 | 0,08 |
|  |                                  | 14,6    | -1,7  | 0,7 | 0,14 |
|  |                                  | 14,2    | -4,1  | 1,3 | 0,34 |

Таблица 2

| Средорегулирующая активность, мг CO <sub>2</sub> /100 г почвы, в сутки (лабораторный опыт)<br><i>n=4, P=0,95, tst=2,45</i> |                            |         |       |     |       |
|--|----------------------------|---------|-------|-----|-------|
| №  | Реагент                    | Среднее | N, %  | S   | t     |
| 1.   | Контроль                   | 290,1   |       | 6,0 |       |
| 2.   | Хлорид магния («Бишофит»)  | 294,0   | +1,3  | 0,7 | 0,65  |
|  |                            | 299,6   | +3,2  | 5,5 | 1,17  |
|  |                            | 90,4    | -68,8 | 2,3 | 31,06 |
| 3.   | Хлорид кальция («Юнипелл») | 258,2   | -11,0 | 7,4 | 3,35  |
|  |                            | 157,5   | -45,8 | 5,5 | 16,29 |
|  |                            | 131,9   | -54,6 | 3,9 | 22,09 |

**Примечания (для таблиц № 1—4):**

*Среднее* – среднее арифметическое значение параллельных измерений CO<sub>2</sub>.

*N* – степень изменения биологической активности исследуемой почвы по сравнению с контролем.

*S* – ошибка среднего арифметического.

*t* – коэффициент Стьюдента, рассчитанный для каждой пары средних значений биологической активности почвы, загрязненной ПГС, и контрольного образца.

компонентом хлорофилла. По общему мнению, в составе ПГС главная опасность для придорожной растительности исходит больше от хлора, а не от магния или даже натрия [9, 10].

С учетом реакции высших растений на воздействии противогололедных реагентов было целесообразно проследить за поведением почвенных микроорганизмов в идентичных условиях загрязнения. Результаты лабораторного опыта по изучению микробиологического состояния исследованных почв представлены в табл. 1 и 2, а результаты полевого опыта — в табл. 3 и 4.

Как показывают данные табл. 1, в условиях лабораторного опыта микробные сообщества оказались более устойчивыми к острому действию ПГС, нежели

высшие растения. Реагенты на основе хлоридов магния и кальция фактически не подавляли почвенное дыхание даже при максимальной дозе: угнетение не превышало 26% (у «Бишофита»). Такая степень угнетения не является угрожающей для функционирования микробиоценозов, так как не превышает критического порога устойчивости почвенных экосистем, который составляет потерю не более 30% биоорганического потенциала от фонового или контрольного уровня [3, 7].

Техническая соль для микроорганизмов оказалась более токсичной, чем прочие хлориды. Ее средние и максимальные дозы угнетали интенсивность почвенного дыхания по сравнению с контролем, соответственно на 41 и 53%. Это свидетельствует о том, что

Таблица 3

| Почвенное дыхание загрязненной ПГС почвы, мг CO <sub>2</sub> /100 г сухой почвы, в сутки (полевой опыт)<br><i>n=4, P=0,95, tst=2,45</i> |                                  |         |       |     |      |
|---|----------------------------------|---------|-------|-----|------|
| №   | Реагент                          | Среднее | N, %  | S   | t    |
| 1.  | Контроль                         | 14,0    |       | 1,3 |      |
| 2.  | Хлорид натрия (Техническая соль) | 14,3    | +2,1  | 0,9 | 0,19 |
|   |                                  | 15,3    | +9,3  | 0,7 | 0,88 |
|   |                                  | 12,6    | -10,0 | 0,8 | 0,92 |
| 3.  | Хлорид магния («Бишофит»)        | 15,4    | +10,0 | 1,5 | 0,70 |
|   |                                  | 18,9    | +35,0 | 1,8 | 2,21 |
|   |                                  | 14,4    | +2,9  | 1,4 | 0,21 |
| 4.  | Хлорид кальция и натрия («Ежик») | 14,4    | +2,9  | 1,4 | 0,21 |
|   |                                  | 13,4    | -4,3  | 0,5 | 0,43 |
|   |                                  | 15,1    | +7,9  | 1,4 | 0,58 |

способность микроорганизмов к самовосстановлению подавлена и угнетение биоценозов может носить необратимый характер. Минимальные концентрации технической соли не оказывали вредного воздействия на уровень почвенного дыхания.

Более серьезным оказалось влияние токсикантов на средорегулирующую активность микроорганизмов, то есть на их способность поддерживать в почве экологическое равновесие (табл. 2).

Высокие концентрации хлоридов магния и кальция (а в случае хлорида кальция и средняя) вызывали выраженное угнетение микроорганизмов (до 45 – 68%). Полученные цифры свидетельствуют о значительной деградации микробиоценозов в почвах данных вариантов лабораторного опыта.

Исследования почв в полевом эксперименте, как и

в случае с высшими растениями, выявили снижение токсического действия ПГС на почвенные микроорганизмы (табл. 3 и 4).

Установлено, что в условиях полевого опыта хлоридные реагенты не угнетали активность почвенных микроорганизмов (за некоторыми исключениями). Напротив, была отмечена стимуляция обоих микробиологических показателей: наивысшая для почвенного дыхания – до 35% – при средней дозе «Бишофита». Техническая соль и «Ежик», не оказывая влияния на уровень почвенного дыхания, незначительно (но статистически достоверно) подавлял при средних и высоких концентрациях средорегулирующую активность почвенных микроорганизмов.

Микробиологические исследования позволяют сделать вывод, что в лабораторном опыте хлориды

Таблица 4

| Средорегулирующая активность, мг CO <sub>2</sub> /100 г почвы, в сутки (полевой опыт)<br><i>n=4, P=0,95, tst=2,45</i> |                                  |         |       |     |      |
|---|----------------------------------|---------|-------|-----|------|
| №   | Реагент                          | Среднее | N, %  | S   | t    |
| 1.  | Контроль                         | 145,4   |       | 7,8 |      |
| 2.  | Хлорид натрия (Техническая соль) | 119,2   | -18,0 | 6,6 | 2,56 |
|   |                                  | 117,4   | -19,3 | 5,3 | 2,97 |
|   |                                  | 128,5   | -11,6 | 3,3 | 2,00 |
| 3.  | Хлорид магния («Бишофит»)        | 164,1   | +12,9 | 8,1 | 1,66 |
|   |                                  | 188,5   | +29,6 | 4,9 | 4,68 |
|   |                                  | 182,5   | +25,5 | 6,3 | 3,70 |
| 4.  | Хлорид кальция и натрия («Ежик») | 165,3   | +13,7 | 7,8 | 1,80 |
|   |                                  | 105,2   | -27,7 | 7,8 | 3,65 |
|   |                                  | 99,9    | -31,3 | 4,1 | 5,17 |

натрия (техническая соль) оказывали значительно больший ингибирующий эффект на функциональную активность микробного комплекса изученной почвы, чем хлориды магния и кальция, а в полевом опыте токсичность соли снижалась до уровня токсичности хлоридов кальция.

## Выводы

Различные виды исследований выявили меньшую экологическую опасность реагентов на основе хлоридов магния для высших растений и почвенных микроорганизмов по сравнению с хлоридами кальция и натрия.

Полученные результаты демонстрируют значительное снижение токсичности загрязненной ПГС почвы в течение лета и осени под действием внешних природных факторов. В основном благодаря промыванию верхних горизонтов почвы выпадающими осадками. В этой связи можно говорить, что использование реагентов на основе хлоридов при промывном водном режиме Санкт-Петербурга не является для растений и микроорганизмов чрезвычайно опасным, как представляется на основе только лабораторных опытов. Однако необходимо учитывать возможности засушливого лета, а также то, что

максимальное токсическое действие реагентов приходится на конец весны, сразу по окончании сезона обработок. Именно в этот период – период роста, растения наименее устойчивы, и вред от реагентов максимален.

Конъюнктура современного рынка противогололедных средств ориентирована на хлориды, которые заметно дешевле ацетатных и формиатных реагентов, чье действие на растительность считается малотоксичным. Поэтому, исходя из данной объективной реальности, на основе проведенных исследований среди хлоридных реагентов для использования в Санкт-Петербурге наиболее предпочтительны хлориды магния – реагент «Бишофит», а также схожие с ним по составу реагенты «Гринрайд» и «Рокмелт». Их можно назвать относительно безопасными для окружающей среды с экологической точки зрения. Применение же технической соли следует ограничивать. При расчете концентраций вносимых ПГС, исходя из принципа максимальной экологической безопасности, предлагается не допускать превышения дозы реагентов в 50 г/м<sup>2</sup>, которую можно считать сравнительно безопасной.

Тем не менее имеет смысл разрабатывать новые противогололедные средства комбинированного состава, которые позволяли бы и эффективно плавить лед, и наносить меньший ущерб окружающей среде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристовская Т.В., Чугунова М.В., Зыкина Л.В. Скорость биологической реакции почвы на внесение органических веществ как показатель способности микрофлоры к регуляции условий почвенной среды // Микробиология, 1988. Т. 57, вып. 5. С. 860–867.
2. Головкин Э.А. О методах изучения биологической активности торфяных почв // Матер. научной конференции по методам микробиологических и биохимических исследований почв, Киев, 28-31 окт., 1971. Киев, 1971. С. 68-76.
3. Кречетов П.А., Алябина И.О. Оценка потенциального экологического риска техногенного воздействия на экосистемы // Матер. Межвузовской научной конференции: «Природопользование в районах со сложной экологической ситуацией», Тюмень, 18–19 марта 1999. Тюмень, 1999. С. 24–27.
4. 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. СПб., 2009. 19 с.
5. Николаевский В.С., Якубов Х.Г. Новые методы оценки устойчивости древесных растений к комплексу экстремальных факторов мегаполиса // Проблемы озеленения городов: альманах под общ. ред. Якубова Х.Г. Вып.10. М.: Прима-М, 2004. С. 146–149.
6. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В. и др. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006, № 5. С. 603–615.
7. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение, 2011, № 5. С. 582-596.
8. Якубов Х.Г., Николаевский В.С. Удаление натрия и хлоридов из почв города в целях улучшения условий роста и развития древесных растений / Экология большого города. Вып. 5. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. М.: Группа Стагирит, 2001. С. 100–105.
9. Environmental Effects of Magnesium Chloride-Based Dust Suppression Products on Roadside Soils, Vegetation and Stream Water Chemistry. William R. Jacobi, Betsy A. Goodrich, Ronda D. Koski / Agricultural Experiment Station Technical Report. TR09-04. Colorado State University. 2009. 184 p.
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. 152 p.