

УДК 504.54

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФИТОЦЕНОЗЫ

Романова И.В.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,  
Москва, e-mail: romirv@mail.ru

Ежегодно для обеспечения безопасности дорожного движения и пешеходов на улицах Москвы используются тысячи тонн противогололедных реагентов (ПГР). Внесение такого количества инородного вещества влечет изменения в составе и свойствах почв обочин дорог, вызывая, в частности, их засоление. Проведена оценка солевой нагрузки на эколого-геологические системы городских территорий от зимнего содержания территорий по результатам многолетнего опробования снегового покрова. Также изучена динамика сезонных изменений степени засоленности почв путём многолетнего опробования в периоды, предшествующие сезону применения ПГР и последующие за ним. Влияние на фитоценозы оценивается по результатам оценки влияния растворов противогололедных реагентов, используемых на объектах дорожного хозяйства и при содержании дворовых территорий, на всхожесть семян овсяницы тростниковой Галатея (*Festuca arundinacea subsp. Galatea*). Результаты исследований позволяют заключить, что автодороги являются источниками стабильного интенсивного воздействия на окружающую среду в зимний период. При этом изменения степени засоленности почв напрямую зависят от объемов применения реагентов за сезон, которые определяются погодными условиями и параметрами самой автодороги, включая ширину полотна и интенсивность движения. Применение ПГР зачастую приводит к переходу почв в категории более засоленных в весенний период. Инфильтрация растворов применяемых солей в почвы приводит к формированию неблагоприятной для прорастания газонных насаждений среды: установлено, что значительное угнетение растительности происходит уже при концентрации 2 г/л, а при 8 г/л наблюдается полная гибель.

**Ключевые слова:** зимнее содержание дорог, противогололедные реагенты, эколого-геологические условия городов, засоление почв, угнетение растительности

## ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF SOIL SALINIZATION IN ROADSIDE DUE TO ANTI-ICING REAGENTS APPLICATION AND THEIR EFFECT ON PHYTOCENOSES

Romanova I.V.

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: romirv@mail.ru

Thousands of tons of deicing reagents are used annually to ensure the safety of road traffic and pedestrians on the streets of Moscow. The introduction of such a quantity of foreign matter entails changes in the composition and properties of the roadside soils, in particular, causing their salinization. The article evaluates the salt load on the ecological and geological systems of urban areas from the winter road maintenance, based on the results of long-term testing of the snow cover. The dynamics of seasonal changes in the degree of soil salinization was also studied by means of long-term sampling in the periods preceding the season of application of the anti-icing reagents and subsequent to it. The effect on phytocenoses was studied based on the results of assessing the effect of solutions of anti-icing reagents used on roads and in courtyards on the germination of seeds of *Festuca arundinacea subsp. Galatea*. According to the results of the conducted studies urban highways can be attributed to the sources of stable intensive impact on the environment in winter, causing long-term changes in it. Changes in the degree of soil salinity directly depend on the volume of applied reagents for the season, which are determined by weather conditions and the parameters of the road itself, including the width of the road and the intensity of traffic. The use of deicing reagents often leads to the transition of soils to the more saline category in the spring. The infiltration of solutions of the applied salts into roadside soils leads to the formation of an environment unfavorable for the germination of lawn plantations: a significant suppression of vegetation occurs at a concentration of 2 g/l, and the complete death is observed at the concentration of 8 g/l.

**Keywords:** winter road maintenance, anti-icing reagents, ecological and geological conditions of urban areas, soil salinization, suppression of vegetation

В зимний период все города, где фиксируется переход температур через 0°C в сторону отрицательных значений, сталкиваются с феноменом зимней скользкости, приводящей к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий на дорогах и случаев травматизма среди населения. Существует множество способов борьбы с погодными условиями, и самым

очевидным и наиболее экологичным является механизированная уборка территорий. Однако такая борьба осуществляется только постфактум, то есть уже после наступления холодов или выпадения осадков, что образует временной интервал, в который на асфальтовом полотне может образоваться наледь. Во-вторых, на территориях крупных мегаполисов такие мероприятия

требуют колоссальных, а иногда невозможных трудозатрат. Наиболее распространенным в мире на сегодняшний день методом является использование противогололедных материалов, представляющих собой различные по соотношению смеси химических реагентов, понижающих температуру замерзания атмосферных осадков, и фрикционных материалов, предназначенных для механического разрушения наледей и увеличения сцепления колес автотранспорта с дорожным покрытием. К преимуществам такого вида зимнего содержания территорий можно также отнести возможность проведения превентивных обработок полотна, что позволяет избежать небезопасного временного интервала, как в случае исключительного механизированной уборки. Минус у применения противогололедных реагентов тоже есть – объемы их применения. К примеру, Москва ежегодно закупает до 345 тыс. т твердых ПГР, что означает образование солевой нагрузки в среднем  $2 \text{ кг/м}^2$  за сезон. Согласно технологии зимней уборки [1] дорожные остатки реагентов (смесь продуктов их гидролиза с атмосферными осадками) должны собираться с дорожного полотна снегоуборочной техникой, однако значительная их часть оказывается отброшенной на придорожные территории, и по данным различных исследователей солевое загрязнение может распространяться на расстояния до 40 м от дорог в зависимости от объемов использования ПГР и интенсивности дорожного движения [2]. При снеготаянии продукты гидролиза реагентов попадают в почвы прилегающих к дорогам территорий, неизбежно вызывая определенные изменения их состава и свойств.

Целью проводимых исследований стала оценка во времени динамики изменения степени засоленности почв на прилегающих к автодорогам территориях вследствие применения ПГР в рамках мероприятий по зимнему содержанию автодорог, и оценка их воздействия на фитоценозы почв как объекта декоративного озеленения г. Москвы.

В методическом отношении работа делится на несколько блоков. В первом проводился анализ нормативной документации, регламентирующей состав и нормы использования ПГР, и регулярное опробование снега с дорожными остатками реагентов в зимний период для установления средних величин солесодержания и оценки изменчивости показателя в зависимости от погодных условий. Вторая часть

работ – оценка изменения засоленности почв в осенний и весенний периоды для установления вклада противогололедных реагентов в засоление урбанизированных почв. Исследования проводились путем анализа водных вытяжек почв на предмет содержания сухого остатка. В качестве пробных площадок были выбраны обочины нескольких автодорог в Юго-Западном административном округе г. Москвы с различной интенсивностью движения: ул. Академика Бакулева (внутриквартальная однополосная автодорога), Ленинский проспект (крупная транспортная артерия города, трехполосная) и МКАД (наиболее «нагруженная» автодорога города с высокими скоростями движения и пятью полосами в точке опробования). Третья часть работ – проведение фитотестирования с применением культуры овсяницы тростниковой Галатея (*Festuca arundinacea* subsp. *Galatea*) на растворах дорожных солей в двух сериях: первая – ПГР, использующихся на дорогах, и вторая – применяемых на пешеходных зонах.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Противогололедные реагенты для зимнего содержания территорий поставляются г. Москве на основании контрактов на государственные закупки. При этом каждый из поставляемых материалов проходит проверку соответствия нормативным документам, определяющим их состав и свойства [1, 3]. Для обслуживания объектов дорожного хозяйства используются жидкие и твердые ПГР марок ХКН, МР и МРК; при этом жидкая разновидность применяется для превентивных обработок дорожного полотна или в диапазоне слабоотрицательных температур. В химическом отношении для твердых ПГР определено процентное содержание состава, устанавливающее долю  $\text{NaCl}$ , не превышающую 75–80% (в зависимости от марки), и долю  $\text{CaCl}_2$ , не менее 15–20%. В состав реагентов маркировок МР и МРК также входят хлорид (не более 10 и 20% соответственно) и формиат натрия – не менее 5%. Плотность распределения реагентов по дорожному полотну избирается в зависимости от погодных условий и изменяется в широком диапазоне: от  $20 \text{ г/м}^2$  для превентивных обработок полотна до  $80 \text{ г/м}^2$  при температурах ниже  $-16^\circ\text{C}$ . При экстремальных погодных условиях норма расхода ПГР может быть увеличена по распоряжению оперативного штаба.

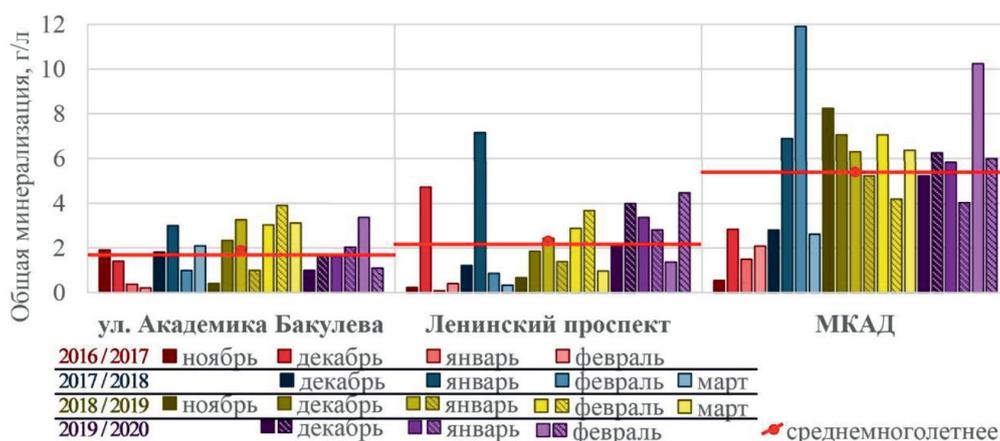


Рис. 1. Общая минерализация проб снега на расстоянии 0,5 м от дорожного полотна

Решение по отбору проб дорожных остатков ПГР принималось оперативно, исходя из мониторинга погодных условий, на следующий день после гарантированного применения на автодорогах реагентов. Выявлены общие закономерности изменения величин измеряемых параметров: применение ПГР увеличивает показатель рН среды, уменьшает окислительно-восстановительный потенциал, увеличивает электропроводность среды и минерализацию раствора, которая изменяется в течение последнего сезона от концентрации 1,4 г/л, характерной для периодов превентивных обработок полотна, до 4,5 г/л в течение сезонных режимных обработок на обочине Ленинского проспекта, занимающего среднее положение по абсолютным величинам исследуемых параметров (рис. 1).

Относительно стабильно высокое значение величин минерализации дорожных остатков ПГР на протяжении всего сезона позволяет определить автодороги как источник стабильного техногенного воздействия на эколого-геологические системы придорожных территорий.

В феврале 2019 г. опробование на обочине Ленинского проспекта проводилось с минимальными временными интервалами для проверки истинности получаемых средних значений параметров среды и оценки их зависимости от погодных условий (рис. 2). Значения минерализации снега лежат в диапазоне от 0,98 до 6,31 г/л, с наибольшей частотой в интервале значений от 2,76 до 4,54 г/л. Максимумы значений солесодержания наблюдались в дни, или следующие за длительным периодом положительных дневных температур, что обусловлено слеживаемостью снега, или

следующие за днями непосредственных обработок дорожного полотна реагентами (например, при резком понижении температур). Результаты регулярного опробования снега по вышеописанной методике также лежат в интервале значений с наибольшей частотой, что свидетельствует о правильности разработанного методического подхода.

В весенний период накопленные за зимний сезон в снежных валах объемы дорожных солей вместе с талыми водами инфильтруются в почвы обочин дорог. Как правило, почвы наследуют химический состав залежавших на них атмосферных осадков: например, катион натрия, высвобождающийся в процессе гидролиза, заменяет собой катионы кальция и магния в почвенном поглощающем комплексе, усиливая подвижность органического вещества [4]. Доминирование в составе ПГР хлоридов приводит к развитию соответствующего вида засоления в почвах придорожных территорий, который, в свою очередь, способствует образованию вторичных аккумуляций в городской среде ряда тяжелых металлов [4].

Для оценки вклада применения противогололедных реагентов в развитие процессов засоления, пробы почв отбирались в осенний период, до наступления периода применения дорожных солей, и в весенний. При содержании солей в водной вытяжке (1:5) более 0,1% наблюдается токсический эффект в отношении высших растений; это же значение является границей между незасоленными и слабозасоленными почвами [5]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что интенсивность проявления негативных последствий применения ПГР находится в такой же прямой зависимости от изначальной антропоген-

ной нагрузки на территорию. Так почвы на обочине внутриквартальных дорог (ул. Академика Бакулева) в осенний период относятся к категории незасоленных почв, а на обочине МКАД даже самые минимальные значения лежат в области средnezасоленных почв (рис. 3).

В весенний период содержание солей в почвах, естественно, увеличивается, но амплитуда этих изменений зависит как от погодных условий в зимний период, определяющих частоту и объемы примененных реагентов, так и от параметров самой автодороги. Так наименьший прогресс засоления фиксируется на обочине внутриквартальной дороги – узость дорожного полотна определяет относительно небольшие объемы использования солей, а низкие скорости движения транспорта снижают интенсивность пульверизационного переноса дорожных остатков ПГР непосредственно на обочину. Наибольшие амплитуды сезонных колебаний солесодержания фиксируются на обочине многополосной и высокоскоростной автодороги. На этой площадке

пробоотбора почвы в весенний период относятся уже к категориям сильнозасоленных почв, за исключением весны 2020 г.: предшествующий зимний период был аномально бесснежным и теплым. Ленинский проспект, занимающий среднее положение среди рассматриваемых участков по параметрам автодороги и уровню засоления почв в осенний период, занимает соответствующее место и в ряду по увеличению амплитуды сезонных колебаний солесодержания. В весенний период, как и в осенний, почвы обочины Ленинского проспекта относятся в основном к категории слабозасоленных.

Обратный процесс уменьшения солесодержания в почвах от весеннего периода к осеннему реализуется за счет летнего рассоления почв с дождевыми осадками. Однако стоит учитывать, что избыток солей не просто пропадает из почв, а инфильтруется в подпочвенные грунты, что в ряде случаев – например, при залегании ниже проницаемых почв с высокими коэффициентами фильтрации – может приводить к изменению состава грунтовых вод [6].

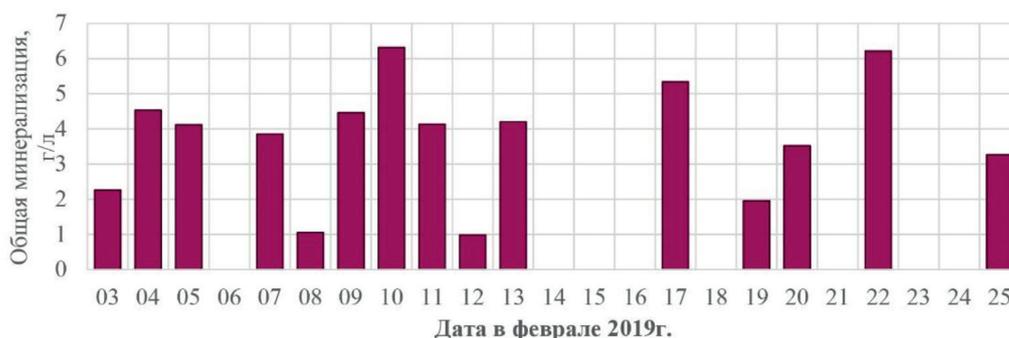


Рис. 2. Общая минерализация проб снега с дорожными остатками ПГР на расстоянии 0,5 м от дорожного полотна Ленинского проспекта в феврале 2019 г.

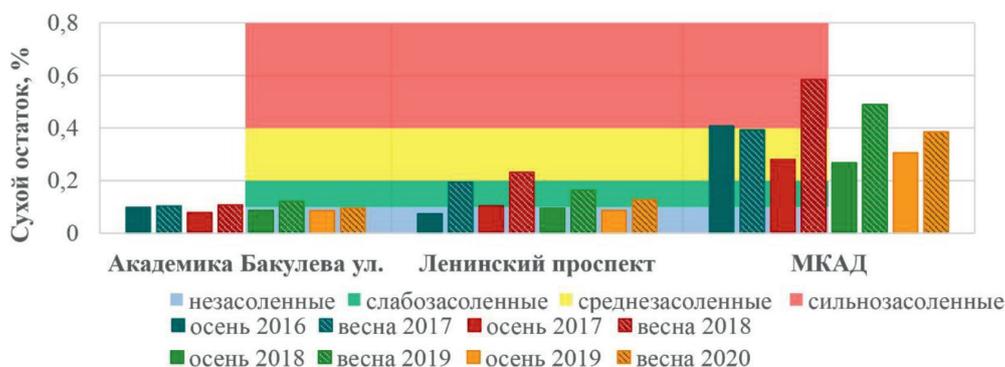


Рис. 3. Содержание сухого остатка в водных вытяжках почв, отобранных на расстоянии 0,5 м от дорожного полотна в точках опробования

В весенний период почвы обочин дорог увлажнены талым снегом, являющимся, в сущности, раствором противогололедных реагентов. Они формируют или, по крайней мере, значительно трансформируют среду, в которой происходит прорастание газонных трав на обочинах дорог. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что даже при небольших значениях минерализации (1 г/л) наблюдается угнетение растительности. Помимо уменьшения доли проросших семян, наблюдается также усыхание и полегание некоторых стеблей, уменьшается длина ростков, и по мере увеличения концентрации раствора усиливался и наблюдаемый токсический эффект (таблица), а при концентрации 8 г/л наблюдается полная гибель всех растений. Показатель биомассы растений является в этой ситуации наиболее информативным и ярко отражающим условия вегетации растений в угнетенном состоянии. При этом сделать однозначный вывод о большей опасности той или иной разновидности изучаемых ПГР по результатам фитотестирования не представляется возможным из-за близости оцениваемых тест-параметров.

Результаты фитотестирования растворов ПГР с разной концентрацией

Соле-содержание, г/л	Количество проросших семян, % от контрольного образца		Биомасса, % от контрольного образца	
	1	2	1	2
1	80	83	78	71
2	65	60	60	58
4	46	52	32	35
8	0	0	0	0

Прим.: 1 – ПГР, используемые в обслуживании дорожного полотна; 2 – для дворовых территорий.

При аналогичных условиях оценивалось влияние на всхожесть семян модельных растворов, имитирующих применяемые в городе ПГР – раствора  $\text{NaCl}:\text{CaCl}_2=7:3$  и приближенных к нему по составу – ПГС «Уокса» на основе хлоридов натрия, кальция и магния [7]. Авторы отмечают меньшую токсичность последнего состава в отношении тест-культуры при концентрации 4 г/л. В целом же культуры, используемые для создания газонов в городах, отличаются высокой чувствительностью ко всем видам применяемых ПГР [8], что приводит к потере плотности проективного покрытия и рекреационных свойств городской среды.

Весеннее натурное обследование пробных площадок показало, что в большинстве случаев на непосредственно прилегающих к дорожному полотну обочинах наблюдается угнетение травянистой растительности по сравнению с более отдаленными участками. В проективном покрытии трав образуются проплешины от 10–15% до образования полностью безжизненной полосы вдоль дороги шириной до одного метра у наиболее оживленных трасс. На обочине Ленинского проспекта ширина такой полосы в точке опробования составляет в среднем за все периоды наблюдений 0,5 м. Обочины дорог являются объектом ландшафтного планирования территорий г. Москвы и для сохранения ее облика зачастую просто проводится замена верхнего слоя почв с последующим настиланием рулонного газона. Так, учитывая протяженность Ленинского проспекта, замене подвергается 16 тыс. м<sup>2</sup> при допущении, что обновляется только поврежденная часть газона. Стоит обратить внимание, что при расчетах не были учтены площади перекрестков и озелененных разделительных полос, что делает оценку лишь приблизительной. Тем не менее это только одна автодорога в мегаполисе с густой транспортной сетью, и итоговые значения площадей, подвергающихся замене верхнего слоя почв, будут колоссальными, как и экономические затраты.

### Заключение

Применение противогололедных реагентов является неотъемлемой частью мероприятий по зимнему содержанию дорог на урбанизированных территориях. Несмотря на достаточно жесткий регламент их использования и обязательное прохождение процедуры Государственной экологической экспертизы, в результате применения ПГР происходит ухудшение эколого-геологических условий придорожных территорий. Продукты гидролиза дорожных солей в атмосферных осадках отбрасываются на обочины дорог, а в весенний период, при снеготаянии, инфильтруются в почвы, вызывая их засоление. Кроме того, растворы ПГР обладают высокой фитотоксичностью в отношении газонных трав, что наряду с обеднением почв приводит к деградации травянистых сообществ на обочинах дорог. Таким образом, применение противогололедных реагентов является необходимой мерой для обеспечения безопасности дорожного движения и пешеходов, но несет в себе как экологические, связанные с ухуд-

пением эколого-геологических условий, так и экономические, связанные с затратами на замену верхнего слоя почв, риски.

#### Список литературы / References

1. Распоряжение Правительства Москвы от 28 сентября 2011 г. № 05-14-650/1 «Об утверждении технологии зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня фракции 2–5 мм (на зимние периоды с 2010–2011 гг. и далее)». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/537913792> (дата обращения: 19.04.2021).
2. Moscow Government Decree from 09/28/2011 of No. 05-14-650/1 «On approval of the winter harvest technology carriageway highways, streets, roads and squares (road facilities of Moscow) with the use of antireagents and 2–5 mm fraction of crushed granite (for the winter periods of 2010–2011 and beyond)». [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/537913792> (date of the application: 19.04.2021) (in Russian).
3. Blomqvist G., Johansson E.-L. Airborne spreading and deposition of de-icing salt a case study. *Science of The Total Environment*. 1999. Vol. 235. Is. 1-3. P. 161–168.
4. ГОСТ Р 58427-2020 Материалы противогололедные для применения на территории населенных пунктов. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 24 с.
5. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Власов Д.В. Мониторинг засоления снега и почв Восточного округа Москвы противогололедными смесями // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11–2. С. 340–347.
6. Nikiiforova E.M., Kosheleva N.E., Vlasov D.V. Monitoring of snow and soil salinization by de-icing compounds in Eastern Administrative Okrug of Moscow // *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014. № 11–2. P. 340–347 (in Russian).
7. Vargas R., Pankova E.I., Balyuk S.A., Krasilnikov P.V., Hasanhanova G.M. Руководство по управлению засоленными почвами. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/3/i7318r/i7318r.pdf> (дата обращения: 19.04.2021).
8. Vargas R., Pankova E.I., Balyuk S.A., Krasilnikov P.V., Hasanhanova G.M. (ed.). Handbook for saline soil management. *Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya Ob'yedinennykh Natsiy*, 2017. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/3/i7318r/i7318r.pdf> (date of the application: 19.04.2021) (in Russian).
9. Robinson H.K., Hasenmueller E.A., Chambers L.G. Soil as a reservoir for road salt retention leading to its gradual release to groundwater. *Applied Geochemistry*. 2017. Vol. 83. P. 72–91. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2017.01.018.
10. Королев В.А., Горняков А.К. Оценка влияния противогололедных реагентов на городские территории при инженерно-экологических изысканиях // *Инженерные изыскания*. 2018. Т. XII. № 1–2. С. 66–78.
11. Korolev V.A., Gorniyakov A.K. Impact assessment of the anti-icing reagents application when conducting engineering-ecological surveys // *Inzhenernyye izyskaniya*. 2018. Vol. XII. № 1–2. P. 66–78 (in Russian).
12. Gladkov E.A., Evsyukov S.V., Shevyakova N.I., Dolgih Yu.I., Gladkova O.N., Glushetskaya L.S. Влияние противогололедных реагентов на газонные травы // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016. № 5–1. С. 157–159.
13. Gladkov E.A., Evsyukov S.V., Shevyakova N.I., Dolgih Yu.I., Gladkova O.N., Glushetskaya L.S. Effect of anti-icing reagents on lawn grasses // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016. № 5–1. P. 157–159 (in Russian).