

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

ENGINEERING SURVEY

Том XII 1-2/2018

ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве»



СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Казаков Н.А.

Обращение директора АНО НИЦ «Геодинамика» по вопросу принятия закона № 372-ФЗ "О внесении изменений в градостроительный кодекс РФ и отдельные законодательные акты РФ» и приказа № 688/пр от 06.04.2017 г. 28

Трофимов В.Т., Королев В.А.

К итогам международной научной конференции «Инженерная и экологическая геология в МГУ: выдвинутые научные идеи, их развитие и реализация» 34

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Трофимов В.Т.

История формирования научных школ инженерной геологии и экологической геологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, их лидеры, коллективы и достижения. 42

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Стурман В.И.

Картографические аспекты инженерно-экологических изысканий 54

Королев В.А., Горняков А.К.

Оценка влияния противогололедных реагентов на городские территории при инженерно-экологических изысканиях. 66

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Куликов В.А., Алексанова Е.Д., Бобачев А.А., Соловьева А.В., Шустов Н.Л.

Методика совместной интерпретации данных ВЗЗ И ЗСБ при изучении палеодолины р. Угра 80

ОПЫТ ВУЗОВ

Барыкина О.С.

Вторая научно-учебная практика магистрантов кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета 90

ПРИЛОЖЕНИЯ

Воспоминания

Орлов М.С.

К 50-летию работы на кафедре гидрогеологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Часть 3 104

Глумова Г.М. (составитель)

Глины в зарубежной и русской поэзии (сборник). Раздел IV 120



По вопросам подписки обращайтесь в редакцию:
+7 (495) 210-63-90, www.geomark.ru





<https://figis.ru/blog/item-1513>

DOI: 10.25296/1997-8650-2018-12-1-2-66-78

УДК 504.54: 574

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ГОРОДСКИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

КОРОЛЕВ В.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, va-korolev@bk.ru

ГОРНЯКОВ А.К.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, gornyakov.ak@gmail.com

Аннотация: рассмотрены последствия применения противогололедных реагентов (ПГР) на эколого-геологические системы. В частности, изучено влияние реагентов на снеговой и почвенный покровы, на фитоценозы, сталь и асфальт. Установлено, что вследствие внесения ПГР снеговой и почвенный покровы подщелачиваются, в них формируется восстановительная обстановка. Кроме того, было зафиксировано повышение уровня засоления и электропроводности почв, а основным анионом вытяжек почв к весне становится хлор, который частично замещает гидрокарбонаты. Также установлено, что ПГР заметно угнетают растительность уже при концентрации в 2 г/л, а при концентрации 8 г/л на растительность оказывается катастрофическое воздействие. При изучении воздействия ПГР на объекты техносферы выявлено, что раствор противогололедных реагентов имеет высокую коррозионную активность по отношению к стали, а также способен растворять некоторые компоненты битумов. Повышение агрессивности дорожных остатков ПГР вызывает увеличение износа асфальтового покрытия дорог. Попадание остатков ПГР в грунты обуславливает изменение их физико-механических свойств. Несущая способность засоленных грунтов зачастую не удовлетворяет действующим нормативам. Засоление подпочвенных грунтов также способствует образованию крупных агрегатов и увеличивает размер пор, что ведет к росту фильтрационной способности грунтов. В связи с этим появляется опасность проявления суффозионных процессов в грунтах. Если суффозия обусловлена утечками воды из поврежденных коррозией трубопроводов, то этот процесс может перерасти во внутривластовый размыв, что чревато образованием провалов поверхности и аварийными ситуациями.

Ключевые слова: противогололедные реагенты; антиобледенители; коррозионная активность ПГР; засоление почв; агрессивность ПГР; антропогенное засоление; городские территории

Ссылка для цитирования: Королев, В.А., Горняков, А.К., 2018. Оценка влияния противогололедных реагентов на городские территории при инженерно-экологических изысканиях. Инженерные изыскания, Том XII, № 1-2, с. 66-78. DOI: 10.25296/1997-8650-2018-12-1-2-66-78.

IMPACT ASSESSMENT OF THE ANTI-ICING REAGENTS APPLICATION WHEN CONDUCTING ENGINEERING–ECOLOGICAL SURVEYS IN CITIES

KOROLEV V.A.

Lomonosov Moscow State University Moscow, Russia, va-korolev@bk.ru

GORNYAKOV A.K.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, gornyakov.ak@gmail.com

Abstract: the article discusses the impact of the use of anti-ice reagents on ecological-geological system. Particularly the influence of reagents on snow and soil cover, phytocenosis, steel and asphalt was studied. It was determined that as result of the introduction of anti-icing treatment, the snow and the soil cover are alkalized, and the redox potential reduces. Moreover, the increase in levels of soils salinity and conductivity was documented, and the main anion of the soil extracts is chlorine by spring, which partially replaces hydrocarbonates. It was also identified that anti-icing reagents significantly oppress vegetation already at a concentration of 2000 ppm and has a catastrophic impact at a concentration of 8000 ppm. When studying the impact of anti-ice reagents on the objects of the technosphere, it was revealed that the solution of anti-icing reagents has a high corrosive activity with respect to steel, and is strong enough to dissolve some components of bitumen. The increase of corrosive power of road remnants of anti-ice reagents causes an increase in asphalt road surface wear. The insertion of anti-icing reagents remnants into soils causes a change in their physical and mechanical properties. The carrying capacity of saline soils often does not meet the applicable standards. Salinization of the subsoil soils also contributes to the formation of large aggregates and increases the pore size, which leads to an increase in the filtration capacity of soils. In this regard, there is a danger of suffosion processes emerging in soils. If suffosion is caused by water leaks from corrosion-damaged pipelines, this process can develop into in-situ erosion, which can trigger with the formation of surface failures and emergency situations.

Key words: anti-icing reagents; antiicers; corrosion activity; salinization of soils; corrosive power; anthropogenic salinization; urban areas

For citation: Korolev, V.A., Gornyakov, A.K., 2018. Impact assessment of the anti-icing reagents application when conducting engineering–ecological surveys in cities. *Engineering Survey*, Vol. XII, No. 1-2, pp. 66-78. DOI: 10.25296/1997-8650-2018-12-1-2-66-78.

Введение

Использование в зимний период на городских территориях противогололедных реагентов по-прежнему вызывает ряд дискуссионных вопросов, связанных с оценкой их воздействия на городские экосистемы [5]. Между тем оценка воздействия противогололедных реагентов (ПГР) на компоненты городской окружающей среды и экосистемы пока не входит в состав инженерно-экологических изысканий для целей строительства и эксплуатации жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) города. И это положение никак не отражено в составе работ по инженерно-экологическим изысканиям в действующем СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

Особенно остро проблема ПГР стоит в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург и др.), в которых объемы их использования достигают значительных масштабов. Так, например, в Москве за один зимний сезон используется до 500 тыс. т. ПГР, а на их

закупку тратится до 10 млрд. руб. Вся эта огромная масса реагентов затем поступает в геологическую среду города, влияя на ее агрессивность и состояние инфраструктуры, на городские экосистемы и общую экологическую ситуацию. Между тем оценка влияния ПГР при эксплуатации ЖКХ города пока никак не отражена в нормативных технических документах по инженерно-экологическим изысканиям и экологическому мониторингу.

Начиная с 2009 года, на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова ведутся работы по независимой экспертизе последствий применения в Москве ПГР. В период с 2016 года такие мониторинговые исследования регулярно проводились авторами на территории ЮЗАО г. Москвы, что позволило получить данные по динамике воздействия ПГР на городские экосистемы и инфраструктуру города.

В связи с вышеизложенным, целью исследований являлась оценка воздействия ПГР на компоненты экосистем,

прилегающих к автотрассам территорий, расположенных в ЮЗАО г. Москвы, и выработка рекомендаций по эколого-геологическим изысканиям на городских территориях, относящихся к ЖКХ города, для их последующего включения в новую редакцию СП 47.13330 и иные нормативные технические документы.

Характеристика противогололедных реагентов, применяемых в Москве

В Москве применяются три группы ПГР: 1) *жидкие*: раствор с массовым содержанием солей равным 27–29%, из которых 22–23% — CaCl_2 , 5–6% — NaCl ; 2) *твердые*: либо чистый CaCl_2 , либо композиция на основе NaCl (75%) и CaCl_2 (25%), либо многокомпонентный реагент на основе NaCl (60–70%) с добавлением CaCl_2 (25%), KCl (не более 10%) и HCOONa (2–7%) в качестве антикоррозионной присадки; 3) *фрикционные*: гранитный щебень фракций 2–5 мм. На тротуарах же применяются *комбинированные* ПГР, состоящие

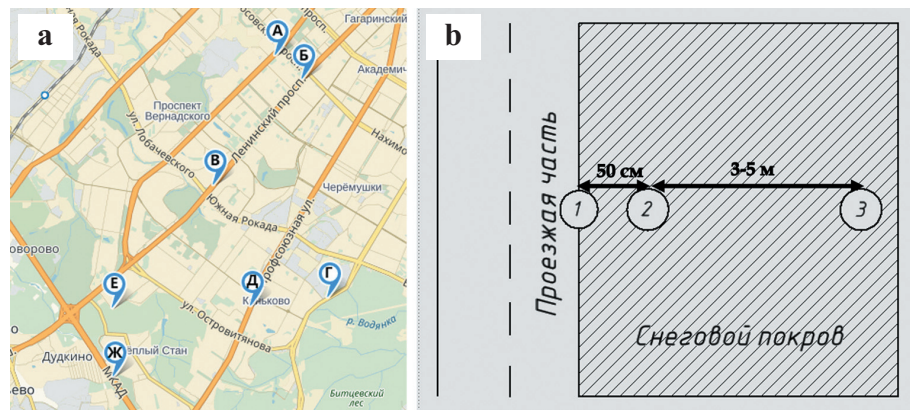


Рис. 1. Расположение площадок опробования на территории ЮЗАО г. Москвы (а) и схема опробования на площадке (б)

из композиции мраморного щебня и формиата натрия, также допустимо добавление в смесь хлоридов натрия, кальция и калия.

Начиная с зимы 2005–2006 годов, исходя из тенденций накопления магния в почвах и подземных водах, в Москве было запрещено использование хлористого магния в качестве ПГР, после чего основными противогололедными реагентами стали реагенты на основе композиций хлоридов натрия и кальция. В то же время имеется целый ряд данных о негативном воздействии и данных реагентов на окружающую среду города [3–5].

Хлорид кальция, как ПГР, довольно эффективен при низких температурах (до 35°C), не позволяет образовываться гололеду и ледяным накатам. Кроме того, кальций отчасти замещает ионы натрия, накопившиеся в почвах города за долгое время использования технической соли в качестве основного ПГР [6].

В то же время, по мнению ряда экспертов, хлориды кальция и натрия вызывают аллергию у людей и способствуют разъеданию металлов. Как техническая соль, так и хлорид кальция агрессивны по отношению к обуви из натуральных материалов: даже очень хорошо выделанная кожа под воздействием реагентов становится жесткой. Хлор зачастую используют в роли отбеливающего средства — этими же свойствами обладают и хлориды натрия и кальция в составе ПГР. Помимо этого, хлориды кальция и натрия небезопасны для животных: зимой отмечается увеличение количества жалоб от собаководов, чьи питомцы чаще попадают в ветлечебницы с химическими ожогами лап и нарушениями работы желудочно-кишечного тракта [3].

Также в качестве противогололедного материала для тротуаров и пешеходных дорожек используется мраморная или гранитная крошка, в том числе —

в смеси с ПГР. У нее много достоинств: крошка не несет опасности для окружающей среды и является достаточно эффективным фрикционным противогололедным средством. В то же время гранитная крошка, которой посыпают проезжую часть, способствует дополнительному истиранию дороги. Сама гранитная крошка истирается в пыль и, попадая в ливневую канализацию, забивает ее [7].

Исследования экологической безопасности использования ПГР в Москве регулируются Постановлением Правительства Москвы от 10.04.2007 г. № 242-ПП «О порядке допуска к применению противогололедных реагентов для зимней уборки объектов дорожного хозяйства в городе Москве» [8]. Методика зимней уборки в столице отражена в документе «Технология зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства города Москвы) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня фракции 2–5 мм (на зимние периоды с 2012 г. и далее)» в Постановлении 242-ПП от 16 апреля 2013 г. «О порядке допуска к применению противогололедных реагентов для зимней уборки объектов дорожного хозяйства в городе Москве». Основным документом, регламентирующим химический состав ПГР является ОДН 218.2.027-2003 «Требования к противогололедным материалам».

Однако главная проблема ПГР состоит в несоблюдении требований указанных документов эксплуатирующими компаниями ЖКХ города, особенно — дорожными службами.

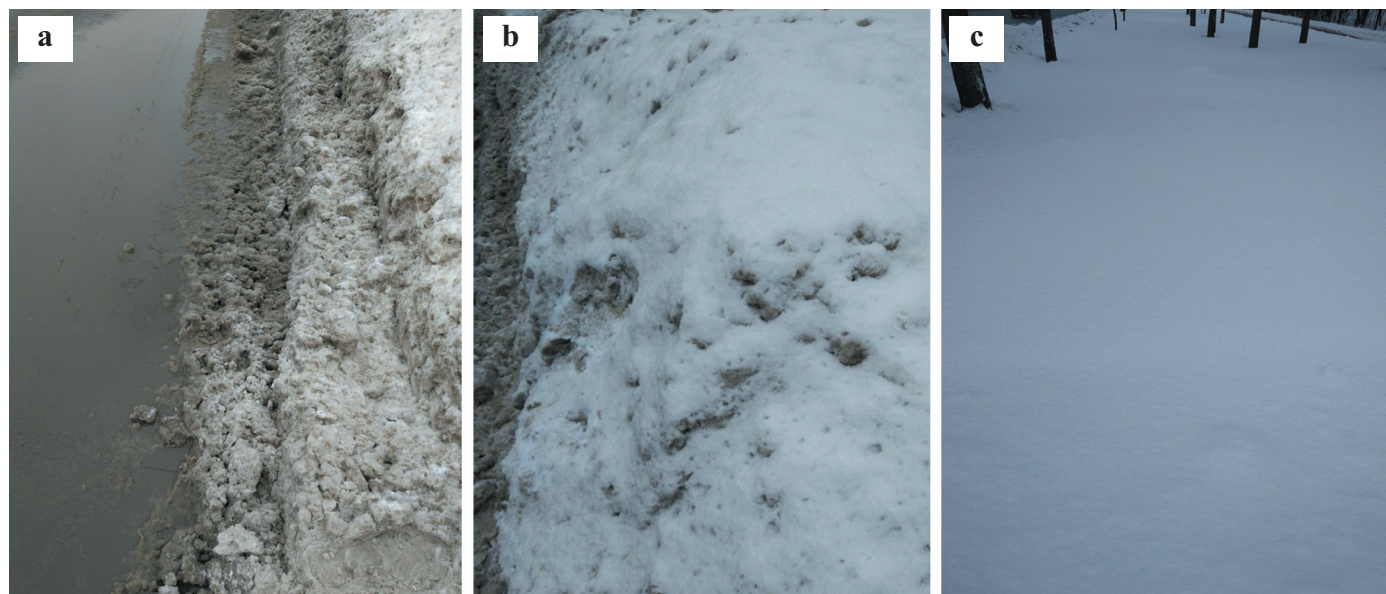


Рис. 2. Внешний вид точек опробования на площадке «Г» (Севастопольский проспект) в феврале 2017 г.: а — точка № 1; б — точка № 2, с — точка № 3

Методика исследований

В соответствии с вышеуказанной целью, исследования на территории ЮЗАО г. Москвы проводились авторами с осени 2016 г. по настоящее время, что позволило судить о динамике процессов воздействия ПГР на компоненты городских экосистем [2].

Всего было выбрано семь площадок для опробования, прилегающих к основным автомагистралям ЮЗАО г. Москвы, расположение которых показано на рис. 1, а. Каждая из площадок обозначалась буквой от А до Ж: А — пересечение проспектов Вернадского и Ломоносовского; Б — пересечение Ленинского и Ломоносовского проспектов; В — Ленинский проспект в районе пересечения с Южной Рокадой; Г — Севастопольский проспект; Д — Профсоюзная улица в районе метро «Беляево»; Е — улица Академика Бакулева; Ж — МКАД в районе Теплого Стана. Выбор указанных площадок обусловлен разной интенсивностью движения автотранспорта по этим магистралям и различными объемами применяемых на них ПГР.

На каждой из выбранных площадок (см. рис. 1, б) опробование проводилось по профилю, ориентированному перпендикулярно дорожному полотну по трем точкам. Точка «1» располагалась на краю проезжей части, где обычно накапливалось наибольшее количество дорожных остатков ПГР, точка «2» — на удалении 0,5 м от обочины характеризовала место поступления ПГР в почву при весеннем таянии, а точка «3» — на расстоянии более 3–5 м от проезжей части, куда не достигали выбросы ПГР, характеризовала «фоновое» состояние снега (см. рис. 1, б). Внешний облик точек опробования на площадке «Г» — Севастопольском проспекте — в период зимней уборки можно увидеть на рис. 2.

Нумерация образцов проб состояла из буквенного обозначения площадки опробования (А, Б, В и т.д. согласно рис. 1, а) и номера точки отбора на площадке (согласно рис. 1, б). В каждой из этих точек в специальный контейнер отбирались дорожные остатки ПГР или снег, а из точек 2 и 3 также отбиралась проба почвы из верхнего горизонта с глубины 5–10 см в количестве около 500 г.

Растаявший снег с дорожными остатками противогололедных реагентов сепарировался на бумажном фильтре «Синяя лента» на жидкую и твердую фазы, после чего проводился анализ жидкой фазы раствора с определением величин водородного показателя (рН) (с помощью рН-метра типа «РН-061»), окисли-

тельно-восстановительного потенциала (ОВП или Eh) (с помощью ОВП-метра типа «ОРР-16961»), а также электрической проводимости и общего содержания (с помощью кондуктометра типа «СОМ-80»).

Твердый остаток дорожных ПГР отделялся на бумажном фильтре, после чего подвергался морфологическому и элементному анализу с помощью растрового электронного микроскопа типа «LEO 1450 VP» с микрозондовой приставкой «OXFORD ENERGY INCA 300». При этом анализировались пробы, отобранные в ноябре и декабре 2016 года на точках «1» и «2» каждой площадки.

На исследуемых площадках отбирались и пробы почв. Образцы высушивались, растирались и просеивались через сито с диаметром отверстий в 1 мм. Далее из 40 г высушенной и просеянной почвы готовилась водная вытяжка, в которой определялось содержание Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и сухого остатка по общепринятой методике [1]. Помимо этого, в вытяжке определялись водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность и содержание с помощью вышеуказанной аппаратуры.

Оценка влияния ПГР на фитоценозы проводилась с помощью биотестирования — определялось прорастание семян газонной травы в растворах ПГР различной концентрации. В качестве тест-объекта была выбрана овсяница тростниковая Галатея (*Festuca arundinacea* subsp. *galatea*). Для проведения эксперимента использовалось четыре образца и один контрольный. Контрольным образцом выступала отстоянная водопроводная вода. В качестве растворов противогололедных реагентов использовались растворы солей следующих концентраций: образец № 1 — 1 г/л, образец № 2 — 2 г/л, образец № 3 — 4 г/л, образец № 4 — 8 г/л.

Оценка коррозионной активности ПГР по отношению к обычной стали определялась весовым методом. В качестве образцов стали использовались три партии стальных гвоздей с известной исходной массой и площадью поверхности. Все три партии стальных образцов помещались в жидкие ПГР, массовая доля растворимых солей в растворе составляла 28%: хлористого кальция — 22,5%, а хлористого натрия — 5,5%, что соответствует применяемому в городе ПГР. Образцы выдерживались в растворе течение 12 недель. Ржавчина удалялась один раз в две недели (с помощью

картофельного сока), затем образцы высушивались.

Агрессивность ПГР по отношению к асфальтовому покрытию изучалась на образцах «свежего» асфальта. В раствор ПГР помещался образец асфальта в воздушно-сухом состоянии. Масса асфальта составляла 40 г, тогда как объем раствора — 400 мл. Асфальт выдерживался в растворе в течение шести месяцев. По окончании экспериментов проводилось взвешивание высушенных образцов с точностью 0,0001 г, позволившее выявить влияние ПГР на дорожное покрытие. В качестве жидкой компоненты раствора использовалась предварительно замороженная дистиллированная вода в объеме 400 мл, на которой готовились растворы ПГР.

Перечисленные методы позволяют всесторонне охарактеризовать влияние применяемых ПГР на городских территориях, в частности на таком важнейшем элементе ЖКХ, как городские автомагистрали и прилегающие к ним территории, дороги внутридворовых территорий, тротуары и т.п. Поскольку ЖКХ города входит в сферу нормативных технических документов, разрабатываемых для строительства и ЖКХ, то оценка влияния ПГР на городские экосистемы должна по мнению авторов входить и в состав инженерно-экологических изысканий, и в мониторинг городских экосистем. Однако в существующих нормативных технических документах, в частности в СП 47.13330.2016, эти работы никак не отражены.

Исходя из этого, состав работ при инженерно-экологических изысканиях на городских территориях в СП 47.13330.2016 и др. должен быть расширен. Основываясь на проведенных исследованиях, характеризуемых ниже, можно рекомендовать состав работ по оценке применения ПГР в следующем виде:

- периодическое опробование в зимний период дорожных остатков ПГР на обочинах дорог с последующим гидрохимическим анализом проб (определение состава растворимых солей, рН, Eh, содержания и электропроводности, содержания твердого остатка, коррозионной активности);
- периодическое опробование снега вдоль трасс автодорог с последующим гидрохимическим анализом проб (определение состава растворимых солей, рН, Eh, содержания и электропроводности, содержания твердого остатка);

— опробование почв вдоль трасс дважды в сезон: осенью (до начала применения ПГР) и в конце зимы (после завершения применения ПГР) с последующим их анализом и исследованием водной вытяжки (определение состава водной вытяжки, pH, Eh, содержания и электропроводности).

Для обоснования приведенного перечня рассмотрим результаты выполненных авторских исследований.

Оценка воздействия дорожных остатков противогололедных реагентов

После применения ПГР значительная их часть остается на проезжей части в виде дорожных остатков — продуктов гидролиза ПГР. Внешне они выглядят как серая до почти черной снежная кашеобразная масса. Именно она и оказывает наиболее существенное экологическое воздействие на все компоненты окружающей городской среды, т.к. обладает щелочной агрессивностью.

Концентрация солей в дорожных остатках ПГР на разных трассах различная. Наибольшие значения содержания, как правило, фиксировались авторами на обочине МКАД (точка «Ж-1»), где применение ПГР шло наиболее интенсивно. В течение всех периодов зимней уборки снега в 2016/2017 и 2017/2018 годах на обочине МКАД фиксировалось содержание солей в среднем в два раза превышающее их содержание на других площадках ЮЗАО (рис. 3).

Учитывая, что между дорогой и обочиной МКАД установлено барьерное ограждение, можно говорить с уверенностью, что все остатки ПГР, оказавшиеся за пределами проезжей части, при снеготаянии попадут в почвы и подземные воды (рис. 4).

Общее содержание проанализированных проб закономерно уменьшалось с удалением от проезжей части. Если на точках, максимально отдаленных от проезжей части, средние значения содержания составляют 100–300 мг/л, то непосредственно на обочине величины возрастают в сотни раз, в некоторых случаях до 20 г/л (рис. 5).

Следует отметить, что вместе с повышением содержания солей, соответственно, увеличивается и электропроводность раствора, что влечет за собой усиление подземной электрической коррозии и способствует распространению блуждающих токов. Из этого можно сделать вывод о влиянии на электрохимическую агрессивность дорожных

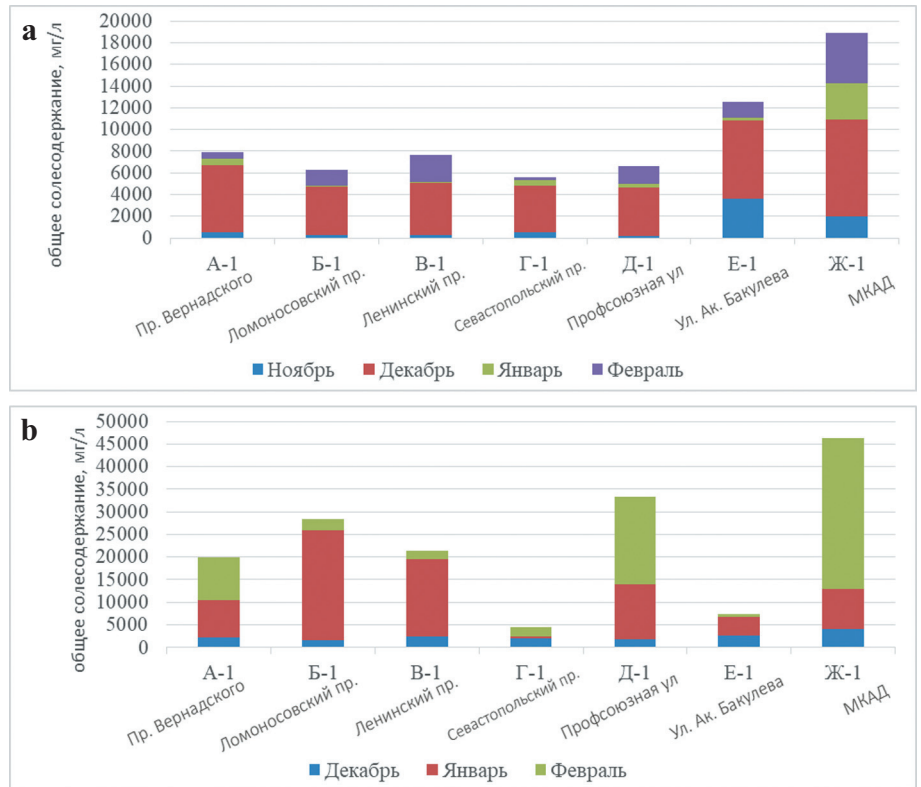


Рис. 3. Сравнение общего солевого содержания в пробах дорожных остатках ПГР, отобранных за периоды зимней уборки 2016–2017 (а) и 2017–2018 (б) гг. на обочинах дорог (точки «1»)



Рис. 4. Общий вид площадки опробования «Ж» у МКАД, январь 2018 г.: точка 1 (а), точка 2 (б)

остатков ПГР по отношению к металлическим частям автомобилей и металлическим конструкциям подземной инфраструктуры города, прежде всего трубопроводам.

Пробы снега и дорожных остатков ПГР на всех опробованных площадках имели слабощелочную или щелочную реакцию среды. В большинстве случаев величина pH убывала вместе с отдалени-

ем от проезжей части (рис. 6). В среднем подщелачивание снега на точках, расположенных у обочины составило 0,1–0,2 единиц pH. Максимальное увеличение pH относительно удаленных точек зафиксировано в январе 2018 года. К примеру, на площадке «Г» водородный показатель увеличился на 0,4 единицы.

Увеличение pH на точках у обочины особенно заметно в те месяцы, в тече-

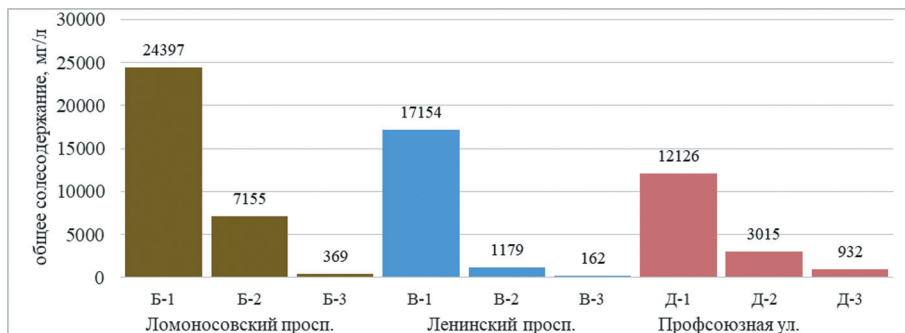


Рис. 5. Сравнение общего солесодержания в пробах снега с дорожными остатками ПГР, отобранного в январе 2018 г на площадках «Б», «В» и «Д»

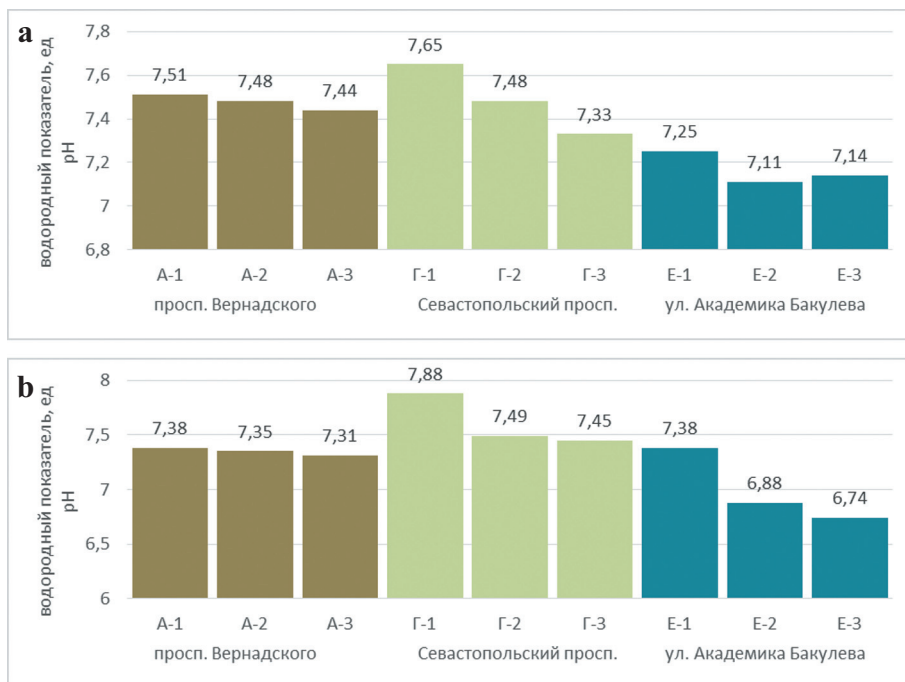


Рис. 6. Величина рН проб снега и дорожных остатков ПГР, отобранных в декабре 2017 г. (а) и январе 2018 г. (б) на площадках «А», «Г» и «Е»

ние которых были зарегистрированы сильные снегопады или же множественные переходы температур через 0°C , что может быть связано с интенсификацией применения ПГР в эти периоды.

Таким образом, внесение ПГР в целом способствует увеличению водородного показателя. Повышенная величина рН свидетельствует о наличии щелочной агрессивности дорожных остатков ПГР.

Значения окислительно-восстановительного потенциала проанализированных проб были, как правило, обратно пропорциональны полученным величинам рН. В большинстве случаев наименьшие показатели ОВП фиксировались на обочине дороги, тогда как наибольшие — на удалении 3–5 м (рис. 7). Величины Eh проб варьировали в пределах 142–255 мВ. По всей видимости, уменьшение величины Eh на обочинах дорог вызвано попаданием туда наи-

большего количества ПГР и свидетельствует о формировании восстановительной обстановки.

Результаты микронзондового анализа элементного состава твердой фазы дорожных остатков ПГР, отобранных на точках «1» и «2» на всех площадках в декабре 2016 г. приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, в отдельных пробах дорожных остатков ПГР обнаружено повышенное содержание алюмосиликатов, кальция и хлора. Главным источником хлора, безусловно, являются ПГР, основным компонентом которых служат хлориды натрия и кальция. Кроме того, в некоторых пробах наблюдается небольшое содержание серы. Одним из потенциальных источников серы являются автомобильные покрышки, в составе которых содержится около 1% серы. Помимо этого, сера входит в состав асфальтенов, которые широко

используются в дорожном строительстве (асфальт, мазут, битум).

Необходимо также отметить, что помимо химических противогололедных реагентов в состав противогололедной смеси входят также фрикционные ПГР, которые представлены в г. Москве гранитной крошкой фракции до 2–5 мм (рис. 8), именно она обуславливает содержание в пробах алюмосиликатов.

По всей видимости, полученные результаты элементного анализа обусловлены именно использованием гранитной крошки. В исходном материале крошки преобладают алюмосиликаты и окислы: SiO_2 — 68%, Al_2O_3 — 14%, K_2O — 5%, Na_2O — 3%. Кроме того, в составе гранитной крошки в небольшом количестве присутствуют оксиды кальция (2%), магния (1,5%) и титана (0,8%). Содержание железа (6,7%) может быть обусловлено истиранием металлических шипов автомобильных шин и микрочастицами ржавчины кузовов автомобилей. Безусловно, свой вклад в распределение элементов вносят хлориды натрия, кальция и калия, а также формиат натрия, входящие в состав применяемых ПГР.

Следует также отметить, что фрикционные ПГР, выступая в роли абразива, могут способствовать повышенному истиранию как автомобильных шин и кузовов, так и дорожного покрытия. На РЭМ-снимках отфильтрованной твердой фазы дорожных остатков (см. рис. 8) видно, что фрикционные частицы ПГР имеют размер 0,5–1 мм и более, некоторые обладают остроугольной формой. Кроме того, значительная часть твердой фазы дорожных остатков ПГР представлена высокодисперсными частицами — фракциями пыли, микрокристаллов солей ПГР и продуктов гидролиза, частицами асфальта и т.п.

Оценка воздействия противогололедных реагентов на почвы

Внесение ПГР способствует развитию засоления и солонцеватости почв по обочинам дорог. Входящие в состав ПГР смеси солей на основе CaCl_2 и NaCl и др. вызывают диспергацию и пептизацию почвенных коллоидов, которые под влиянием электролитов солей коагулируют, повышая содержание в них агрегатов [8].

Как известно, летом в Москве часто проводится рекультивация и замена почв путем внесения «свежего» торфопесчаного материала, что ведет за собой изменение гранулометрического состава и увеличение содержания гумуса. Это,

в свою очередь, приводит к увеличению суммы обменных катионов. Но параллельно с этим вследствие применения ПГР происходит увеличение щелочности, что обуславливает образование площадного щелочного барьера для катионных тяжелых металлов [6].

Городские почвы, как правило, наследуют химический состав снега, который является депонирующей средой для ПГР. Результатом этого является повышение минерализации и электрической проводимости почв [3, 4].

Проведенные исследования показывают, что в почвах, загрязненных ПГР, появляются химические соединения всех классов опасности. В микроагрегатах почвы уменьшается содержание кислорода и углерода вследствие снижения валового содержания гумуса. Вместо этих элементов микроагрегаты обогащаются Na^+ , Ca^{2+} и Cl^- [3, 4].

Структура почв также подвергается изменению. Почва при попадании в нее ПГР заметно уплотняется, межмикроагрегатные поры сужаются, а крупные поры заполняются солями. Выпадающие из порового раствора соли NaCl и CaCl_2 цементируют частицы и агрегаты, покрывают их «соляной коркой» [3].

Результатом загрязнения почв является последующее загрязнение как подпочвенных грунтов, так и подземных вод, что может повлечь за собой негативные последствия [4].

Попадание остатков ПГР в подпочвенные грунты обуславливает изменение их физико-механических свойств. Опыт показывает, что устойчивость сооружений, в основании которых находятся засоленные грунты, в ряде случа-

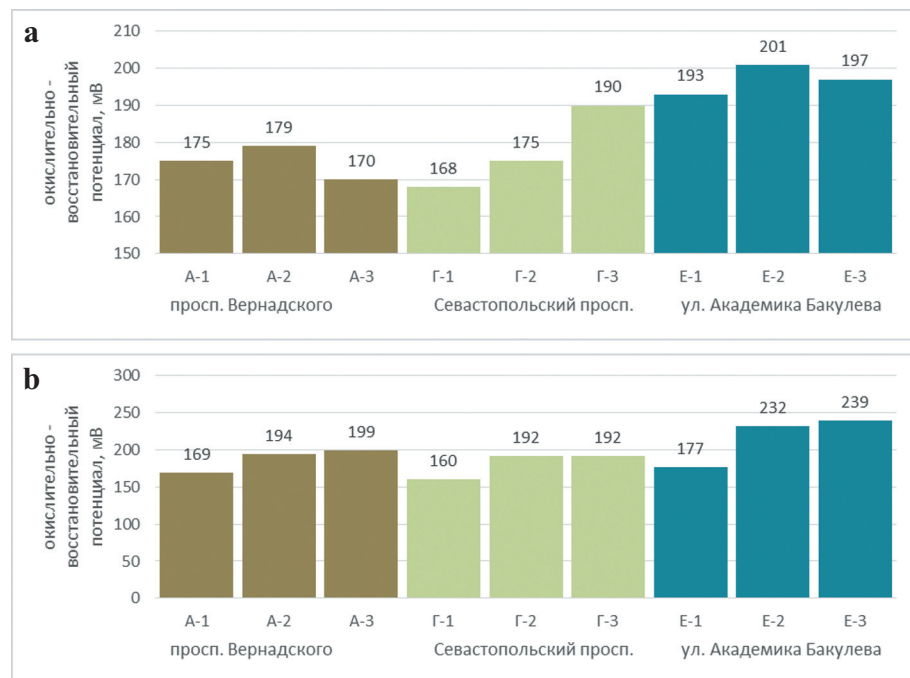


Рис. 7. Величина Eh (мВ) проб снега и дорожных остатков ПГР, отобранных в декабре 2017 г. (а) и январе 2018 г. (б) на площадках «А», «Г» и «Е»

ев не отвечает требованиям действующих нормативных технических документов. Несущая способность фундаментов, которые рассчитывались по данным незасоленных грунтов, значительно отличается от несущей способности для засоленных грунтов.

Вследствие изменения состава грунтов, увеличивается их химическая агрессивность по отношению к металлу и бетону. Кроме того, засоление грунтов способствует увеличению их электрической проводимости, что ведет за собой увеличение интенсивности блуждающих электрических токов, а это,

в свою очередь, обуславливает усиление подземной электрокоррозии [3, 4].

Под действием коррозии интенсивно разрушается подземная инфраструктура города, в результате чего, в частности, увеличиваются утечки вод и стоков из трубопроводов, что ведет к активизации ряда негативных инженерно-геологических процессов, таких как подтопление, внутрипластовые размывы, провалы поверхности и т.д. [4].

Засоление грунтов также способствует образованию в них крупных агрегатов и увеличивает размер пор, что ведет к росту фильтрационной способности

Таблица 1

Элементный состав твердой фазы дорожных остатков противогололедных реагентов, %

Точка	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	O	Cl
A-1	2,13	3,00	4,62	26,75	–	1,19	11,86	0,42	5,55	44,15	0,33
A-2	2,00	5,3	5,56	22,19	–	1,37	13,39	0,41	7,36	42,42	–
Б-1	1,49	2,47	5,88	21,69	0,54	1,64	15,11	0,31	8,49	41,91	0,47
Б-2	1,49	2,79	5,76	20,75	0,77	1,18	15,83	0,92	8,60	41,91	–
В-1	1,11	1,41	3,92	30,69	–	0,76	10,08	6,28	–	45,74	–
В-2	1,96	2,80	6,68	21,61	0,81	1,26	14,02	0,35	7,87	42,64	–
Г-1	1,86	2,73	6,28	22,65	–	1,63	13,41	0,41	8,45	42,22	0,35
Г-2	2,30	2,49	6,02	21,38	0,45	2,31	14,40	0,45	8,44	41,76	–
Д-1	2,14	2,46	5,90	21,02	0,47	1,53	15,68	0,61	8,49	41,68	–
Д-2	1,24	2,55	7,78	20,52	0,93	1,66	15,11	0,72	6,87	42,62	–
Е-1	1,62	2,59	5,36	23,00	0,85	1,70	15,06	0,37	6,48	42,97	–
Ж-1	1,96	2,92	7,12	21,41	0,97	2,22	12,60	0,48	7,57	42,75	–
Ж-2	1,94	3,20	6,28	21,67	–	1,61	14,04	0,84	8,48	41,96	–

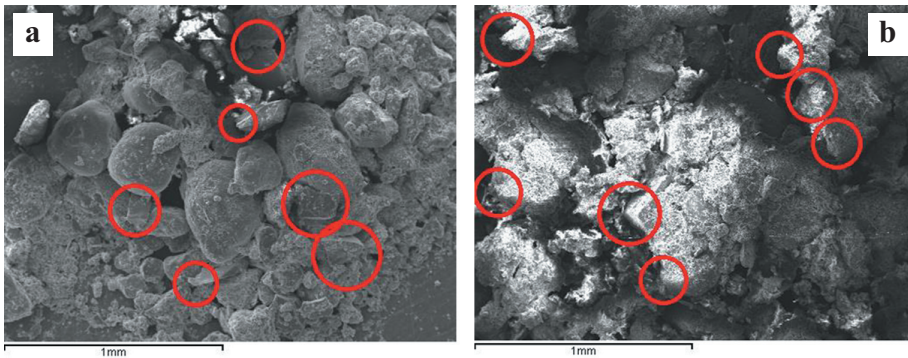


Рис. 8. РЭМ-фотографии твердой фазы дорожных остатков ПГР, отобранных на точках А-1 (а) и Б-1 (б) (фото М.С. Чернова): кругами отмечены остроугольные частицы фрикционных ПГР

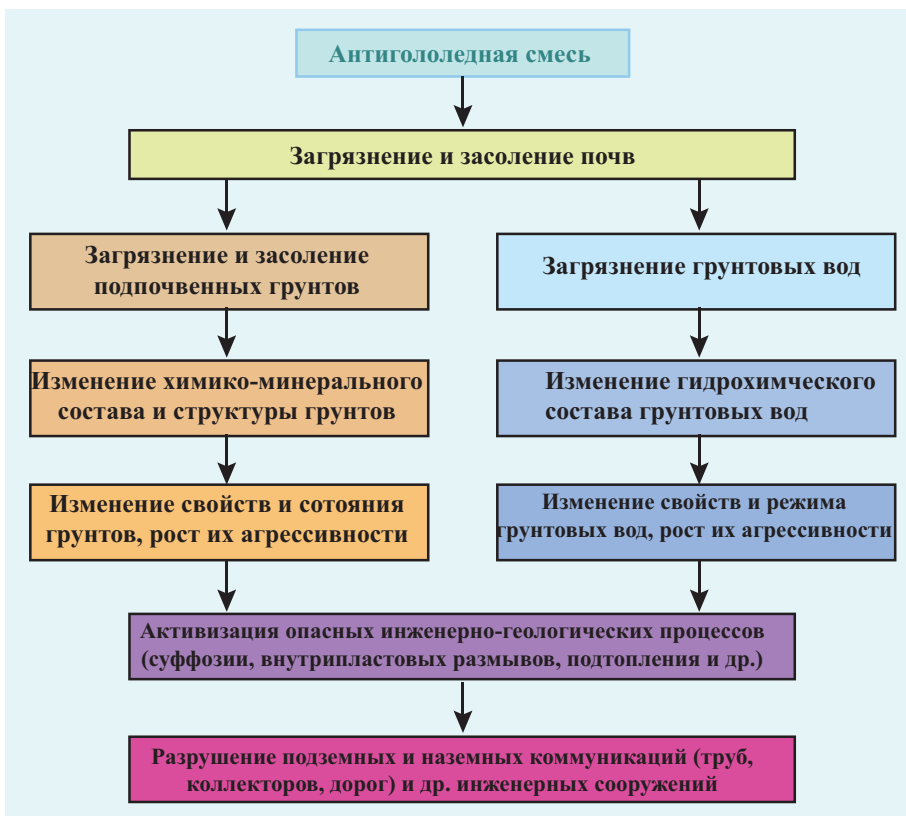


Рис. 9. Схема воздействия ПГР на геологическую среду города [4]

грунтов. В связи с этим появляется опасность проявления суффозионных процессов. Если суффозия обусловлена утечками воды из трубопроводов, то этот процесс может перерасти во внутрипластовый размыв, что чревато образованием провалов поверхности [4]. Как можно заметить, рассмотренная цепочка процессов является примером синергизма (рис. 9).

В результате проведенного исследования почв установлено, что весной величины рН водных вытяжек почв были значительно выше, чем осенью (рис. 10). Наименьшее значение (рН = 6,63) зафиксировано в вытяжке из почв, отобранных у Севастопольского проспекта (площадка «Г») на дальней от проезжей ча-

сти точке «3». Наибольшее же значение рН отмечено на ул. Профсоюзной, на точке «2», прилегающей к проезжей части. Весной 2017 г. ситуация несколько изменилась — минимальное значение рН выявлено вновь на площадке «Г», на дальней от проезжей части точке, но показатель составил уже 7,45. Наибольшее значение рН весной было достигнуто на площадке «Ж», у МКАД, на дальней от проезжей части точке. Это объясняется тем, что точка «3» на площадке у МКАД, несмотря на то, что находилась в 5 м от проезжей части, была загрязнена на том же уровне, что и точки «2» на остальных площадках. В целом, водородный показатель вытяжки из почв, отобранных по окончании периода зим-

ней уборки, выше, чем у вытяжки из почв, отобранных осенью (рис. 10, а). Кроме того, непосредственно на обочинах дорог значение рН почв было, как правило, выше, чем на расстоянии 3–5 м от обочины.

Увеличение рН почв весной составило 0,5–1 единиц рН относительно осенних проб, причем наибольшему защелачиванию подверглись точки «2», находящиеся на удалении 0,5 м от проезжей части.

Окислительно-восстановительный потенциал проанализированных проб почвенных водных вытяжек весной был ниже, чем осенью. Среднее значение Eh водных вытяжек почв, отобранных до периода зимней уборки, составило 199 мВ, тогда как среднее значение после периода зимней уборки — 130 мВ. Как осенью, так и весной значения ОВП на всех площадках увеличивались с удалением от проезжей части (рис. 10, б).

Повышение рН почв опасно появлением щелочной агрессивности, образованием площадного щелочного геохимического барьера, на котором осаждаются ряд тяжелых катионогенных металлов; сезонным химическим пучением глинистых оснований с деформациями, разрушением подземной техногенной сферы; снижением запасов гумуса и питательных элементов, подщелачиванием почвенных растворов, дезагрегацией и уплотнением почвы. При этом господствуют восстановительные процессы — в почвах накапливается ряд вредных для растений соединений; в процессе денитрификации утрачиваются нитраты, появляются метан и сероводород, повышается концентрация закисных соединений железа и марганца, развивается дефицит соединений фосфора, что в совокупности приводит к задержке развития растений, особенно корней, к их угнетению и гибели.

Содержание сухого остатка в водных вытяжках проб, отобранных после периода зимней уборки, увеличилось особенно сильно на точках, ближайших к магистралям (точки «2»). Содержание солей на этих точках значительно выше, чем на точках, располагающихся на удалении 3–5 метров от проезжей части (рис. 11).

В пробах, отобранных после периода зимней уборки, зафиксировано увеличение количества сухого остатка в среднем в 1,7 раза относительно осенних проб. Степень засоленности почв с обочины составила уже 0,1–0,4% (рис. 12).

На удалении от обочины содержание сухого остатка отличалось несуще-

ственно. Заметна разница лишь на точках «Б-3» и «Ж-3». Но если на площадке «Б» содержание сухого остатка увеличилось чуть менее, чем в два раза, то на площадке «Ж» (МКАД) содержание солей по весне повысилось в 3,5 раза, что является одним из самых высоких показателей даже для точек, находящихся у проезжей части. Это говорит о том, что остатки ПГР распространяются у обочины МКАД на более обширную область, чем у других автодорог, что объяснимо — МКАД является самой многополосной и «оживленной» трассой из всех изученных.

Таким образом, максимальные содержания сухого остатка зарегистрированы в почвах, находящихся непосредственно на обочинах дорог. За зимний период засоленность этих почв увеличивается в 1,5–2 раза. Увеличение содержания солей в почвах приводит к уменьшению их электрического сопротивления, что обуславливает их коррозионную активность по отношению к металлам.

По ионному составу исследованные водные вытяжки, как правило, относились к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому классу. До периода зимней уборки среди анионов преобладал HCO_3^- (рис. 13, а), однако после периода зимней уборки основным анионом становится хлор (рис. 13, б).

Примечательно, что содержание иона хлора в весенних пробах увеличилось в первую очередь на точках, находящихся у проезжей части. Вероятнее всего хлор поступает сюда в виде солей натрия и кальция (NaCl и CaCl_2), которые используются в Москве в качестве ПГР.

Среди катионов, как осенью, так и весной, доминируют Na^+ и K^+ , доля которых в вытяжке составляет более 80%. Как можно увидеть на рисунке 14, а, содержание натрия и калия увеличилось в пробах, отобранных по окончании периода зимней уборки. На точках, располагающихся у проезжей части, содержание этих катионов выросло более, чем в два раза. Очевидно, полученные данные обусловлены именно увеличением содержания иона натрия, ведь одним из основных компонентов ПГР является техническая соль NaCl согласно распоряжению Правительства Москвы от 28 сентября 2011 г. N 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 годов и далее)».

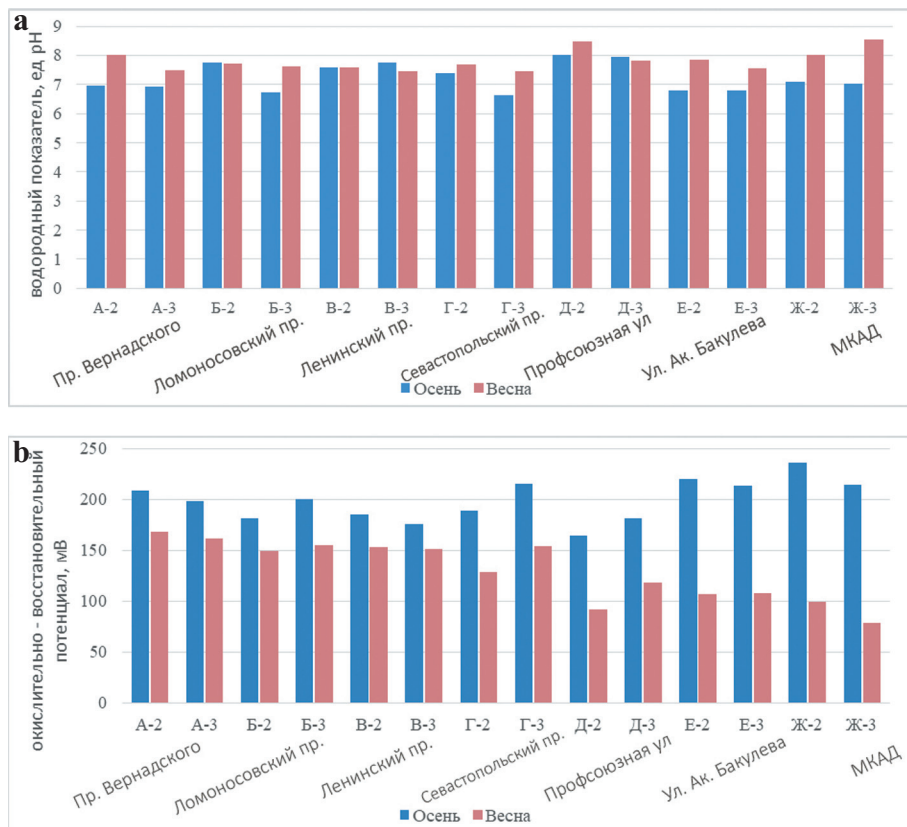


Рис. 10. Сравнение значений pH (а) и Eh (б) водных вытяжек почв, отобранных осенью 2016 г. и весной 2017 г.

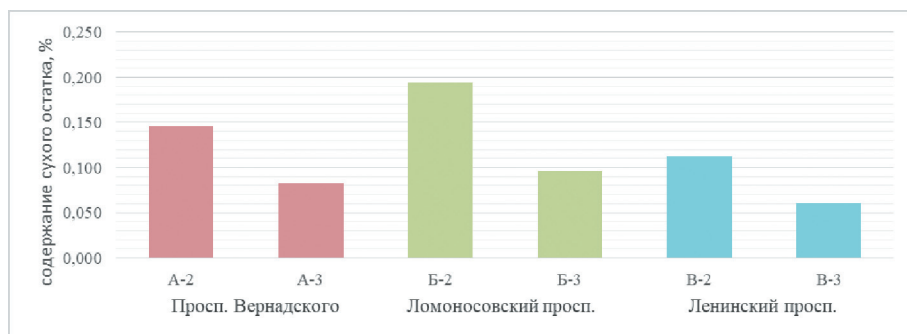


Рис. 11. Сравнение содержания сухого остатка в водных вытяжках почв, отобранных на точках «2» и «3» весной 2017 г.

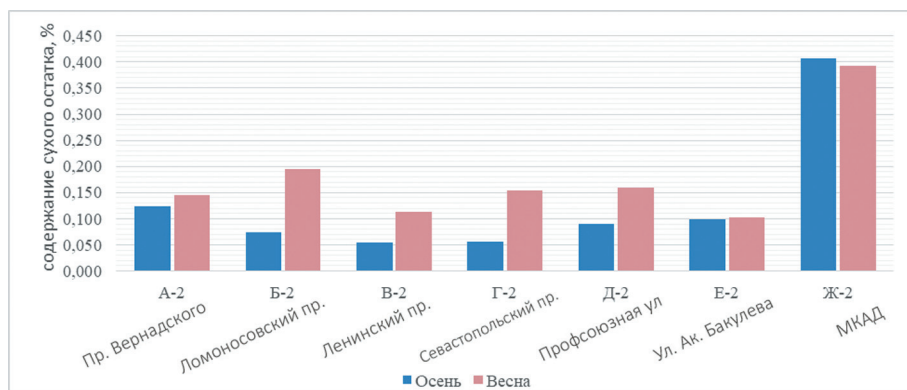


Рис. 12. Сравнение содержания сухого остатка в водных вытяжках почв, отобранных на точках «2» осенью 2016 г. и весной 2017 г.

Другим компонентом, активно применяющимся в качестве ПГР в Москве, является CaCl_2 . Данная соль является ос-

новной составляющей раствора жидких противогололедных реагентов. Динамику содержания аниона кальция можно

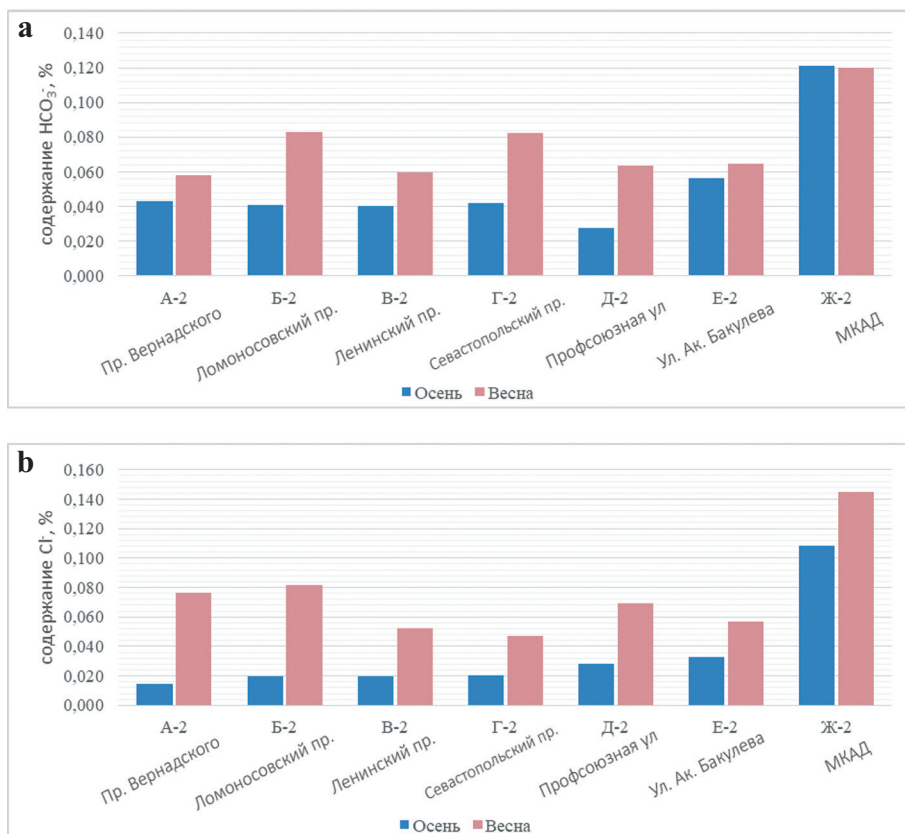


Рис. 13. Сравнение содержания ионов HCO_3^- (а) и Cl^- (б) в водных вытяжках почв, отобранных осенью 2016 г. и весной 2017 г. на точках «2»

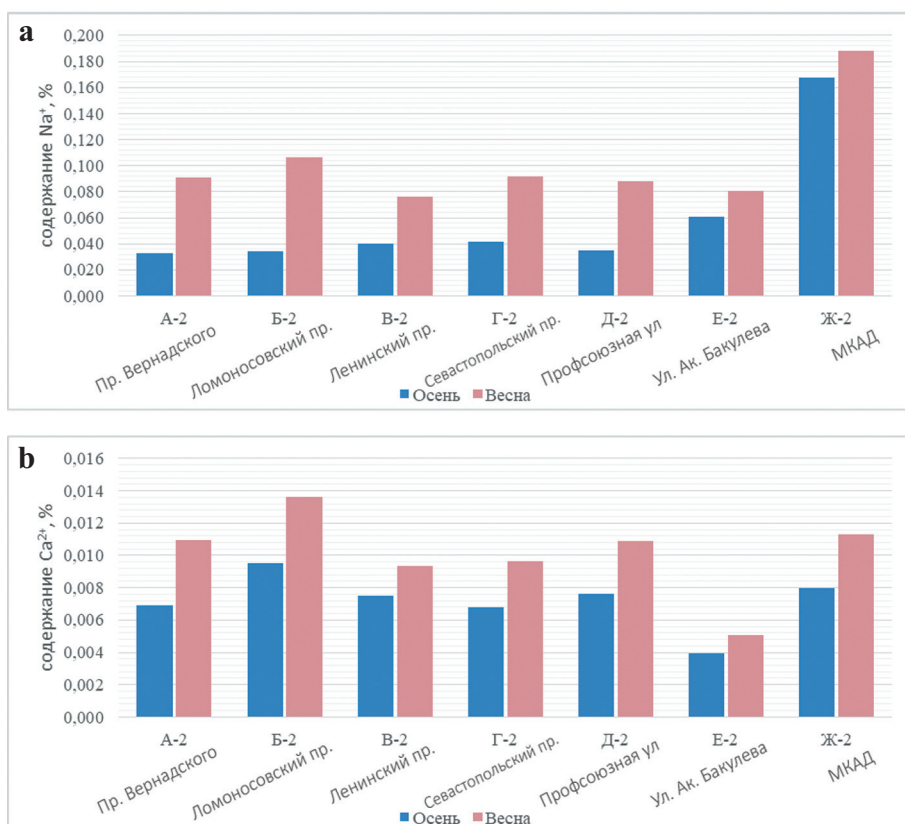


Рис. 14. Сравнение содержания ионов Na^+K^+ (а) и Ca^{2+} (б) в водных вытяжках почв, отобранных осенью 2016 г. и весной 2017 г. на точках «2»

увидеть на рисунке 14, б. Как можно заметить, наибольшие количества кальция наблюдаются на точках «2», в придорожной зоне, тогда как с удалением от проезжей части содержание данного катиона уменьшается. Стоит также отметить, что прирост ионов кальция за зимний период наблюдается на всех без исключения исследуемых площадках города.

Таким образом, в результате засоления реагентами почв, располагающихся в непосредственной близости от проезжей части, ионный состав почв изменился с гидрокарбонатно-натриевого на хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый.

Оценка воздействия противогололедных реагентов на фитоценозы

Как известно, под влиянием хлоридов происходит угнетение растений, обусловленное увеличением осмотического давления почвенного раствора сверх критических значений; токсичным действием хлорид-ионов на растения; нарушением условий их питания¹.

Увеличение общей засоленности замедляет рост различных растений и может привести к их гибели. Известно, что хлориды натрия, кальция и магния обладают высокой фитотоксичностью — при 1% засоления угнетение роста газонных трав составляет 50–60%.

Увеличение содержания солей в почве сопровождается поступлением их в крону деревьев и в листья, вызывая появление некрозов, усыхание побегов уже в начале вегетации, суховершинность стеблей, сокращение длительности вегетации и функционирования ассимиляционного аппарата растений. Нередко у древесных растений наблюдается «рак» — опухолевидные образования на стволах, ветвях и корнях [3].

В результате биотестирования, проведенного авторами, выяснилось, что ПГР угнетают растительность даже при концентрации в 1 г/л, при концентрации 8 г/л не взошло ни одно растение (образец № 4) (рис. 15). В ходе исследования выяснилось, что при концентрации ПГР в 2 г/л прорастаемость овсяницы тростниковой снижается на 30%, при концентрации в 4 г/л — на 55% (табл. 2).

Во всех образцах, для полива которых использовались растворы ПГР, наблюдалось усыхание стеблей. Даже при концентрации ПГР в 1 г/л растения заметно меняют цвет и теряют упругость, некоторые ростки спустя 10 дней опыта начинают полегать.

¹ Самофалова, И.А., 2009. Химический состав почв и почвообразующих пород: учебное пособие. Издательство ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», Пермь.

Оценка воздействия противогололедных реагентов на городскую инфраструктуру

Для изучения химической агрессивности жидких противогололедных реагентов по отношению к стали и асфальту были проведены соответствующие эксперименты.

За 12 недель, в течение которых стальные гвозди находились в растворе жидких ПГР, масса стали в каждой из трех параллельных партий уменьшилась на ~8,8%, что свидетельствует о значительной коррозионной активности дорожных остатков ПГР.

Наибольшая коррозионная активность была зарегистрирована спустя две недели после начала эксперимента, к восьмой неделе скорость уменьшения массы начала падать, что, вероятно, связано с тем, что ржавчина, которую не удавалось убрать с поверхности металла, препятствовала воздействию солевого раствора.

Коррозионная активность раствора ПГР по отношению к углеродистой стали составила в среднем $0,59 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{сут}$, что значительно больше коррозионной активности водопроводной воды или талого снега (рис. 16).

Наряду с влиянием ПГР на коррозионную активность изучалось их влияние на асфальтовое покрытие. Масса асфальта за шесть месяцев выдержки в растворе жидких ПГР уменьшилась на 2%. За время эксперимента раствор потемнел и помутнел. По всей видимости, полученный результат связан с растворением в щелочной среде нефтяных и ароматических кислот, содержащихся в асфальте.

Исходя из полученных данных, можно заключить, что часть битумных компонентов, входящих в асфальт, очевидно, растворяется в дорожных остатках ПГР.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Рекомендован состав работ по эколого-геологической оценке воздействия ПГР на городские экосистемы при инженерно-экологических изысканиях.
2. Агрессивные свойства дорожных остатков ПГР оказывают негативное воздействие на различные компоненты городских экосистем как в зимний период, так и в период весеннего снеготаяния, когда компоненты ПГР проникают в почвы, подпочвенные грунты и подземные воды.
3. Снег, при попадании в него дорожных остатков ПГР подщелачивается,

Сравнение результатов биотестирования при разных концентрациях солей

№ образца	Концентрация солей, г/л	Количество проросших семян	Наибольшая высота растений, мм	Биомасса, мг
К (контрольный)	0,5	69	42	140
1	1	63	34	111
2	2	47	16	100
3	4	32	12	40
4	8	0	0	0



Рис. 15. Вид образцов биотестирования по окончании эксперимента (на 11 день)

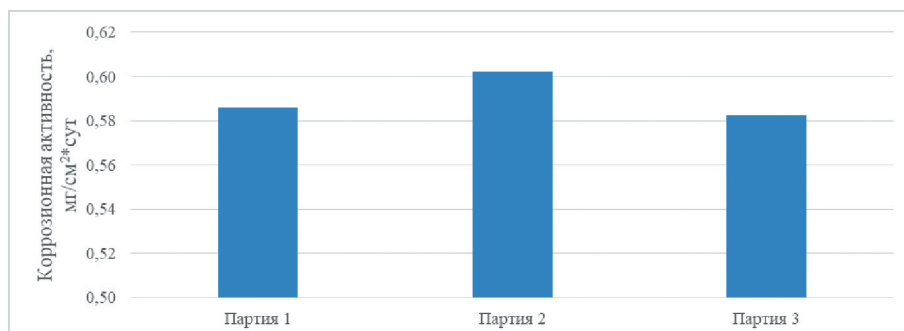


Рис. 16. Коррозионная активность жидких противогололедных реагентов по отношению к стали

формируется восстановительная обстановка. В периоды активных снегопадов общая минерализация талого снега с обочин магистралей возрастает до 25–30 г/л. При снеготаянии остатки ПГР попадают в почвы, которые приобретают все те же характеристики. Защелачивание почв опасно образованием площадного щелочного геохимического барьера, на котором осаждаются ряд тяжелых катионогенных металлов; сезонным химическим пучением глинистых оснований с деформациями, разрушением подземной техногенной сферы; снижением запасов гумуса и питательных элементов, подщелачиванием почвенных растворов, дезагрегацией и уплотнением почвы. Кроме того, вследствие

засоления увеличивается химическая агрессивность грунтов по отношению к металлу и бетону.

4. Засоление грунтов также способствует снижению их электрического сопротивления, что ведет за собой увеличение интенсивности блуждающих электрических токов, а это, в свою очередь, обуславливает усиление электрокоррозии, под действием которой разрушается подземная инфраструктура города, в результате чего, в частности, увеличиваются утечки вод и стоков из трубопроводов, что ведет к активизации ряда негативных инженерно-геологических процессов, таких как подтопление, внутрипластовые размывы и т.д. Повышение агрессивности дорожных остатков ПГР

- вызывает увеличение износа асфальтового покрытия дорог.
5. Попадание остатков ПГР в грунты обуславливает изменение их физико-механических свойств. Несущая способность засоленных грунтов зачастую не удовлетворяет действующим нормативам.
 6. Засоление подпочвенных грунтов также способствует образованию крупных агрегатов и увеличивает размер пор, что ведет к росту фильтрационной способности грунтов. В связи с этим появляется опасность проявления суффозионных процессов. Если суффозия обусловлена утечками воды из трубопроводов, то этот процесс может перерасти во внутривластовый размыв, что чревато образованием провалов поверхности.
 7. Вследствие укрупнения почвенных агрегатов затрудняется аэрация, что ускоряет формирование в почвах восстановительной обстановки, которая обуславливает накопление ряда вредных для растений соединений; происходит процесс денитрификации — утрачиваются нитраты, появляются метан и сероводород, повышается концентрация закисных соединений железа и марганца, развивается дефицит соединений фосфора, что в совокупности приводит к задержке развития растений, особенно корней, к их угнетению и гибели. 🔄

Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного по «Программе развития Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Список литературы

1. Аринушкина, Е.В., 1970. Руководство по химическому анализу почв. Издательство МГУ, М.
2. Королев, В.А., Свириденко, Т.С., Соколов, В.Н., Самарин, Е.Н., 2010. Методика изучения воздействия противогололедных реагентов на эколого-геологические условия городских территорий. Материалы годичной сессии Научного совета РАН, Сергеевские чтения, г. Москва, 2010 г. Вып. 7. Издательство ГЕОС, М. 2010, с. 352–356.
3. Королев, В.А., Соколов, В.Н., Самарин, Е.Н., 2009. Оценка эколого-геологических последствий применения противогололедных реагентов в г. Москве. Инженерная геология, № 1, с. 34–43.
4. Королев, В.А., 2009. Геологический риск применения антигололедных реагентов. Геориск, № 1, с. 42–45.
5. Королев, В.А., Горняков, А.К., 2016. Экологическая безопасность городских территорий в связи с применением противогололедных реагентов. Материалы III Международной научно-практической конференции Комплексные проблемы техносферной безопасности (Воронеж, 11–12 ноября 2016 г.). Т. 1. ВГТУ, Воронеж, 2016, с. 132–135.
6. Кошелева, Н.Е., Кузьминская, Н.Ю., Терская, Е.В., 2017. Засоление и осолонцевание городских почв из-за применения противогололедных реагентов (на примере Западного административного округа Москвы). Инженерные изыскания, № 6–7, с. 64–77.
7. Лысенко, В.Е., Гриневич, С.В., Подольский, Вл., 1997. Готовь сани летом. Автомобильные дороги, № 7, с. 14–15.
8. Никифорова, Е.М., Кошелева, Н.Е., Хайбрахманов, Т.С., 2016. Экологические последствия применения противогололедных реагентов для почв Восточного округа Москвы. Вестник Московского университета. Серия 5: География, № 3, с. 40–49.

References

1. Arinushkina, E.V., 1970. Guidance on the chemical analysis of soils. Moscow State University Publishing House, Moscow. (in Russian)
2. Korolev, V.A., Sviridenko, T.S., Sokolov, V.N., Samarin, E.N., 2010. Methodology for studying the impact of anti-icing reagents on the ecological and geological conditions of urban areas. Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences, Sergeevsky Readings, Moscow, 2010. Issue. 7. GEOS Publishing House, Moscow, 2010, pp. 352–356. (in Russian)
3. Korolev, V.A., Sokolov, V.N., Samarin, E.N., 2009. Assessment of the ecological and geological consequences of the use of anti-icing reagents in Moscow. Engineering Geology. No. 1, pp. 34–43. (in Russian)
4. Korolev, V.A., 2009. Geological risk of using anti-ice reagents. Georisk, No. 1, pp. 42–45. (in Russian)
5. Korolev, V.A., Gorniyakov, A.K., 2016. Ecological safety of urban areas in connection with the use of anti-ice reagents. Materials of the III International Scientific and Practical Conference Complex problems of technospheric security (Voronezh, November 11-12, 2016). Vol. 1. Voronezh, VSTU, 2016, pp. 132–135. (in Russian)
6. Kosheleva, N.E., Kuzminskaya, N.Yu., Terskaya, E.V., 2017. Salinization and solonchization of urban soils due to the use of deicing agents (by the example of the Western Administrative District of Moscow). Engineering Survey. No. 6–7, pp. 64–77. (in Russian)
7. Lysenko, V.E., Grinevich, S.V., Podolsky, V.I., 1997. Prepare a sleigh in the summer. Automobile roads, No. 7, pp. 14–15. (in Russian)
8. Nikiforova, E.M., Kosheleva, N.E., Khaybrakmanov, T.S., 2016. Ecological impact of antiglaze treatment on soils of the Eastern District of Moscow. Moscow University Bulletin. Series 5: Geography. No. 3, pp. 40–49. (in Russian)

Captions to figures

Fig. 1. Locations of samplings sites in South-West Administrative Area of Moscow (a) and site sampling scheme (b)

Fig. 2. Sampling points appearance on the location “Г” (Sevastopolsky Prospekt), February 2017: a — point 1; b — point 2; c — point 3

Fig. 3. Salinity comparison of the anti-icing reagents residues on points “1”, 2016/2017 (a) and 2017/2018 (b)

Fig. 4. Sampling location “Ж” appearance near MKAD, January 2018: sampling point 1 (a), sampling point 2 (b)

Fig. 5. Salinity comparison of the anti-icing reagents residues of locations “Б”, “В” and “Д” in January 2018

Fig. 6. Comparison of the snow and anti-icing reagents residues pH, December 2017 (a) and January 2018 (b), locations “А”, “Г” and “Е”

Fig. 7. Comparison of the snow and anti-icing reagents residues Eh (mV), December 2017 (a) and January 2018 (b), locations “А”, “Г” and “Е”

Fig. 8. Scanning electron microscope photos of the anti-icing reagents solid phase, sampling points “А-1” (a) and “Б-1” (b) (photos by M.S. Chernov): sharp particles are marked by red rounds

Fig. 9. The scheme of an impact of anti-icing reagents on geological environment in cities [4]

Fig. 10. pH (a) and Eh (b) comparison of soil-water extracts, autumn 2016 and spring 2017

Fig. 11. Evaporated residues comparison of soil-water extracts, sampling points “2” and “3”, spring 2017

Fig. 12. Evaporated residues comparison of soil-water extracts, sampling points “2”, autumn 2016 and spring 2017

Fig. 13. Comparison of HCO_3^- (a) and Cl^- (b) concentrations in soil-water extracts, sampling points “2”, autumn 2016 and spring 2017

Fig. 14. Comparison of Na^+K^+ (a) and Ca^{2+} (b) concentrations in soil-water extracts, sampling points “2”, autumn 2016 and spring 2017

Fig. 15. Biotesting objects appearance at the end of experiment (day 11)

Fig. 16. Corrosivity of liquid anti-icing reagents in relation to steel

Captions to tables

Table 1. Elemental composition of the solid phase of anti-icing reagents, December 2016, sampling points “1” and “2”

Table 2. Comparison of the biotesting results at different salt concentrations

Информация об авторах

КОРОЛЕВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, Россия

ГОРНЯКОВ А.К.

Магистрант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Information about the authors

KOROLEV V.A.

Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

GORNYAKOV A.K.

Candidate for a master's degree of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia



Фото А.К. Горнякова