

Воронина Л.П.^{1,2}, Донерьян Л.Г.¹, Сбитнев А.В.¹, Водянова М.А.¹

Определение показателей контроля и уровней безопасности применения противогололёдных материалов для гигиенической оценки объектов окружающей среды

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Существует опасность накопления солей, поступающих с противогололёдными реагентами (ПГР), и их негативного влияния на объекты окружающей среды. В связи с этим необходим постоянный контроль содержания солей по установленным индикационным показателям.

Цель работы — выбор комплекса показателей и определение их допустимого уровня.

Материалы и методы. Оценку воздействия противогололёдных материалов (ПГМ) проводили по образцам снежной массы и почвы, отобраным из 20 реперных точек в различных районах Москвы. Выполнен анализ отобранных проб по содержанию ионов Na^+ , Cl^- , общему солесодержанию, определяемому по удельной электропроводности (ЕС), показателю суммарного загрязнения тяжёлыми металлами (Zc) и содержанию адсорбируемого натрия (SAR). Экоотоксикологическая оценка проведена интегральными методами, использовано биотестирование с батареей тест-организмов. Статистическая обработка данных включала кластерный и регрессионный анализ.

Результаты. В результате применения ПГМ, как показали химико-аналитические и биологические методы исследований, вместе со снежной массой на поверхность почвы поступает большое количество солей. Концентрации Na^+ в снеге составляла от 28,3 до 3232,8 мг/л, Cl^- — от 278,7 до 3965,3 мг/л. В почвенных образцах среднее содержание Na^+ составляло 1084 мг/кг, а содержание в контрольном образце — 101,5 мг/кг. Максимальные значения ЕС для снежных проб — 1–5 мСм/см, для почвенных проб — 0,420–0,605 мСм/см. Показатели индекса загрязнения (Zc) почвы соответствовали низкому уровню, образцы снежной массы соответствовали категории умеренно загрязнённых. Более 50% водных вытяжек из исследуемых образцов почвы оказали негативное воздействие на жизненно важную (генеративную) функцию тест-организмов *Tetrahymena pyriformis*.

Ограничения исследования связаны со временем отбора проб (при наличии снегового покрова и после полного снеготаяния). Результаты исследования могут быть применены к городским территориям, на которых в течение нескольких лет использовали содержащие водорастворимые соли щелочных и щёлочноземельных металлов ПГР.

Заключение. Контроль воздействия ПГР на почвенный покров должен проводиться по следующим максимально допустимым величинам в образцах снежной массы: ЕС — 5 мСм/см; Na^+ — 4000 мг/л. Почвенные образцы должны контролироваться по показателю SAR, отражающему концентрацию солей. Дополнительные исследования образцов на содержание не выявленных загрязнителей могут проводиться интегральными методами биотестирования.

Ключевые слова: противогололёдные материалы; электропроводность; ионы натрия; хлориды; тяжёлые металлы; суммарный показатель загрязнения (Zc); показатель адсорбируемого натрия в почвенном растворе (SAR); биотестирование

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Воронина Л.П., Донерьян Л.Г., Сбитнев А.В., Водянова М.А. Определение показателей контроля и уровней безопасности применения противогололёдных материалов для гигиенической оценки объектов окружающей среды. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(10): 1080–1088. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1080-1088> <https://elibrary.ru/oyujxp>

Для корреспонденции: Воронина Людмила Петровна, e-mail: LVoronina@cspmz.ru

Участие авторов: Воронина Л.П., Донерьян Л.Г. — сбор и обработка материала, статистический анализ, написание текста, редактирование; Сбитнев А.В. — сбор и обработка материала, редактирование; Водянова М.А. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Оценка риска воздействия противогололёдных материалов на здоровье человека и объекты окружающей среды при их применении на урбанизированных территориях» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 16.07.2024 / Принята к печати: 02.10.2024 / Опубликовано: 19.11.2024

Ludmila P. Voronina^{1,2}, Larisa G. Donerian¹, Anton V. Sbitnev¹, Mariya A. Vodyanova¹

Detection of control indices and safety levels for the use of anti-icing materials for the hygienic assessment of environmental objects

¹Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation;²Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. There is a potential danger of long-term accumulation of salts and, as a consequence, their adverse impact on the environment. The desire to prevent this danger dictates the need to detect indices that will be in demand for measures to control the use of deicing materials (DIM).

The purpose of the work is to select a set of indicators and determine their acceptable level.

Materials and methods. The assessment of the impact of de-icing materials (DIM) was carried out using samples of snow mass and soil selected from twenty reference points located in various areas of the Moscow city. An analysis was performed to characterize the selected samples according to the following indices: the content of Na^+ , Cl^- ions, total salt content determined by the specific electrical conductivity (EC), the total heavy metal contamination (Zc) and the content of adsorbed sodium (SAR). For ecotoxicological assessment, the work used integral research methods — bioassay using a battery of test organisms. Statistical data processing included cluster and regression analysis.

Results. As shown by chemical-analytical and biological research methods, with the use of DIM, a large amount of salts enters the soil surface along with the snow mass. The concentrations of Na^+ in the snow mass ranged from 28.3 to 3232.8 mg/L, Cl^- from 278.7 to 3965.3 mg/L. In soil samples, the average Na^+ content was 1084 mg/kg, while the content in the control sample was 101.5 mg/kg. The maximum EC values for snow samples were 1–5 mS/cm, and for soil samples – 0.420–0.605 mS/cm. The pollution index (Zc) of the soil corresponded to a low level; the snow mass samples fell into the category of moderately polluted. More than 50% of water extracts from the studied soil samples had an adverse impact on the vital (generative) response function of the test organisms *Tetrahymena pyriformis*.

Limitations. The limitations of the research are that sampling should take place during the period of snow cover and after complete snowmelt, that is, in the winter-spring period. These studies can be recommended for urban areas where the use of DIM, which contain water-soluble salts of alkali and alkaline earth metals, has been practiced for a number of years.

Conclusion. Monitoring the impact of DIM on the soil cover should be carried out by detecting the following maximum permissible values in snow mass samples: EC – 5.0 mS/cm; Na^+ – 4000 mg/L. Soil samples should be monitored according to the SAR index, which reflects the salts concentration present in the soil. Additional characteristics of the studied samples for the content of undetected pollutants can be carried out using integral biotesting methods.

Keywords: de-icing materials (DIM); electrical conductivity (EC); concentration of Na^+ ions; concentration of Cl^- ions; heavy metals (HM); total pollution indicator (Zc); indicator of sodium adsorbed in soil solution (SAR); bioassay

Compliance with ethical standards. The study does not require the presentation of the conclusion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Voronina L.P., Doneryan L.G., Sbitnev A.V., Vodanova M.A. Selection of indices for hygienic control of soil under influence of anti-icing reagents. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(10): 1080–1088. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1080-1088> <https://elibrary.ru/oyujxp> (In Russ.)

For correspondence: Luydmila P. Voronina, e-mail: LVoronina@cspmrz.ru

Contribution: Voronina L.P., Doneryan L.G. — the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing text, editing; Sbitnev A.V. — collection and processing of material, writing text, editing; Vodanova M.A. — editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: July 16, 2024 / Accepted: October 2, 2024 / Published: November 19, 2024

Введение

Для предотвращения негативного воздействия, связанного с загрязнением окружающей среды, наряду с классическими методами оценки риска используют определение пороговых величин поллютантов [1–3]. К факторам, оказывающим негативное влияние на здоровье человека и объекты окружающей среды, относится воздействие различных по качественным и количественным характеристикам противогололёдных материалов. Их использование существенно увеличивает нагрузку на почву, воду, воздух и растения [4–6]. Почва является универсальной депонирующей средой для поступающих в неё химических соединений различного происхождения. Возможна миграция веществ из почвы в контактирующие среды, в частности в поверхностные и подземные водоисточники. Не менее важны санитарно-гигиенические свойства почвы, такие как самоочищающая способность, то есть освобождение от патогенных микроорганизмов и разложение органических остатков. Антропогенные нарушения почвенного покрова приводят к серьёзным изменениям и деградации живого природного комплекса, что создаёт угрозу здоровью и жизни человека [7, 8]. Использование ПГМ в зимний период часто становится причиной засоления почв, поскольку до 50% химических веществ с дорожного полотна проникает со снегом на прилегающие участки почвы. Основным компонентом солевых смесей является NaCl, поэтому накопление натрия в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) может вызывать пептизацию илистой части почвы и приводить к развитию засоления. Наблюдение за городскими почвами обеспечивают экологические организации, контролируемые уровни общего техногенного загрязнения, засоления, в том числе насыщенных почв вдоль автомагистралей [9, 10].

Для прогнозирования возможного засоления городской почвы необходимо совершенствовать принципы экологического контроля, устанавливать причинно-следственную связь использования ПГР с выраженностью процесса. Интенсивная деятельность человека в пределах крупных городов, приводящая к деградации и часто необратимому изменению почвенного покрова, может влиять и на сопредельные среды [11–13]. Несомненно, любые защитные меры будут препятствовать почвенной деградации, сохранять здоровый режим функционирования окружающей среды и оберегать здоровье человека. Индексы качества почвы, функционирующей в пределах городской экосистемы, остаются наиболее распространёнными и информативными

показателями их количественной оценки. Суммарный показатель должен представлять совокупное действие (физическое, химическое и экотоксикологическое) и включать все индексы, отражающие влияние различных изменений свойств почвы [14, 15]. С учётом достоверной корреляции степени загрязнения почв с показателями, отражающими влияние используемых концентраций солей (ЕС, Na^+ , Ca^{2+} , Cl^-), указанные почвенные показатели могут рассматриваться как экологические характеристики городской территории в условиях применения ПГМ.

Цель настоящего исследования — обоснование критических величин загрязнения городской почвы (культуроёма) и снежной массы вследствие многолетней аккумуляции солей (основных компонентов ПГМ) и совершенствование принципов оценки их воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

На основе собственных экспериментальных исследований и анализа данных литературы предложены алгоритмы контроля применения ПГМ.

Материалы и методы

В реперных точках Москвы (более 20) отобраны образцы снежного покрова как транзитного источника, из которого поллютанты поступают в другие объекты. В этих же точках после полного снеготаяния отобраны образцы почвы, являющейся депонирующей средой. В образцах определяли рН, удельную электропроводность (ЕС), концентрации ионов Na^+ , Cl^- , тяжёлых металлов (ТМ) в разных вытяжках (подвижные, потенциально подвижные и валовые формы элементов)^{1,2,3}.

Проведены расчёты коэффициента концентрации (формула 1), суммарного показателя загрязнения (формула 2) в соответствии с методическими рекомендациями, а также

¹ ГОСТ Р 56219–2014 (ИСО 17294–2:2003) Вода. Определение содержания 62 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115431> (дата обращения: 07.05.2020 г.).

² РД 52.24.495. Руководящий документ. Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом (утв. Росгидрометом 15.06.2005 г.).

³ ФР.1.31.2008.01738. Методика выполнения измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция и стронция в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. (Свидетельство об аттестации МВИ № 18–08 от 04.03.2008 г.)

показателя адсорбируемого натрия почвенного раствора (SAR) (формула 3) [16].

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}}, \quad (1)$$

где K_c — коэффициент концентрации i -химического элемента; C_i — концентрация i химического элемента в образце; $C_{\text{фон}}$ — концентрация i химического элемента в контрольном образце.

$$Z_c = \left(\sum_{i=1}^n K_c \right) - (n - 1), \quad (2)$$

где Z_c — суммарный показатель загрязнения; n — число, равное количеству элементов.

В формуле (2) используются коэффициенты концентрации при условии $K_c > 1,5$.

Процессы почвенного осолонцевания принято характеризовать показателем адсорбируемого натрия почвенного раствора SAR, для расчёта которого используют величины содержания ионов Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} с учётом их соотношения. Формула (3) для расчёта SAR, мг-экв/л:

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \sqrt{0,5(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}, \quad (3)$$

Для определения химического состава и физических свойств сложных многокомпонентных объектов используют физико-химические методы. В связи с невозможностью определения всех химических соединений, присутствующих в исследуемых объектах, возникает потребность в интегральных методах, к которым относится биотестирование. В комплекс биотестов входят гидробионты, что позволяет контролировать загрязнение почв и сопредельной водной среды (рек, снега, грунтовых вод и др.). В настоящем исследовании экотоксикологическая оценка снега и почвы выполнена методом биотестирования образцов, отобранных из тех же реперных точек Москвы. Батарея использованных тест-организмов для аналитических проб включала три вида организмов: представители низших ракообразных, активные фильтраторы ветвистосусе рачки *Daphnia magna Straus*, представители простейших организмов ресничные инфузории *Tetrahymena pyriformis*, представители бактерий, метаболические процессы которых сопровождаются свечением в видимой части спектра (биосенсор «Эколюм») [4,5,6]. Статистическая обработка данных включала кластерный и регрессионный анализ.

Результаты

Наравне с почвой снег может быть хорошим диагностическим материалом для оценки динамики поступления солей в объекты окружающей среды в связи с сезонным использованием ПГМ в течение зимы.

1. Перечень и пороговые концентрации основных компонентов ПГМ в образцах снежной массы

В ходе многолетних исследований образцов почв и снежной массы, подверженных воздействию ПГМ в мегаполисе (Москва), установлено, что в качестве основных показателей контроля могут быть использованы изменяющиеся характеристики, информативные и селективные для данного вида нагрузки: содержание аниона хлора (Cl^-), катиона натрия (Na^+) и удельная электропроводность.

1.1. Информативные показатели

Установлено, что в снежном покрове чаще других обнаруживались катионы натрия (Na^+), кальция (Ca^{2+}) и анион хлора (Cl^-), содержание которых бывало высоким. Например,

⁴ Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР.1.39.2001.00283.

⁵ Методические рекомендации по применению отходов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения МР № ЦОС ПВ Р 005–95.

⁶ ПНД ФТ 14.1:2.3:4.11–04. Токсикологические методы контроля. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой ЭКОЛЮМ.

хлористый натрий и кальций вдоль отдельных магистралей определялись на уровне 2–3 г/л. Необходимо отметить, что увеличение содержания солей в образцах подтверждается и ростом показателя ЕС.

Статистическая обработка результатов определения электропроводности, содержания натрия и хлоридов в образцах позволила разделить массив данных на четыре основных кластера с выделением группы с максимальным значением показателей [6].

Статистически установлена и выделена из всего массива проанализированных образцов снежной массы группа значений с высокой концентрацией ионов Na^+ , Cl^- и ЕС (рис. 1).

Максимальные значения ЕС в образцах (от 1070 до 8700 мкСм/см) совпадают и с самыми высокими показателями концентрации Na^+ (от 28,3 до 3232,8 мг/л), Cl^- (от 278,7 до 3965,3 мг/л). В группе высоких значений средние концентрации ионов Na^+ и Cl^- соответствуют величинам $3232,8 \pm 940,1$ и $2451,5 \pm 267,7$ мг/л, которые обусловлены присутствием ПГМ с основным композиционным веществом хлоридом натрия (NaCl). В ходе исследований выявлена корреляция между концентрацией ионов Na^+ , Cl^- и ЕС в образцах снежной массы: $r = 0,84$ ($\text{ЕС} - \text{Na}$); $0,98$ ($\text{ЕС} - \text{Cl}$); $0,75$ ($\text{Na} - \text{Cl}$).

Поскольку данные, характеризующие биологические объекты, не всегда описываются нормальным распределением, стоит обратиться к установленным значениям медианы: для катиона натрия (Na^+) ≥ 2000 мг/л, для аниона хлора (Cl^-) ≥ 3000 мг/л, для электропроводности (ЕС) ≥ 5000 мкСм/см. Именно эти величины, установленные в ходе анализа большого массива данных, рассматриваются в качестве критических показателей содержания Na^+ и Cl^- , подтверждающих негативное действие ПГМ.

1.2. Показатель суммарного загрязнения

С учётом специфики применения ПГМ (привязанность к автострате) следует ввести показатель суммарного загрязнения (Z_c). Данный интегральный показатель будет отражать агрегирующее влияние ПГМ в совокупности с уже присутствующими в среде ТМ, основным источником которых является автотранспорт. Необходимо подчеркнуть высокую степень загрязнения придорожных территорий ТМ [6], что подтверждают результаты наших исследований. Отметим, что для определения этого показателя необходимо учитывать содержание ТМ не только в фильтрате, но и в сухом остатке на фильтре.

В настоящем исследовании по показателю Z_c в фильтрате только два образца снежной массы из всей совокупности могут быть отнесены к группе с опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 64–256$), тогда как в образцах, загрязнённых свинцом, основное количество этого элемента обнаруживается в сухом остатке. Приведём два примера. Содержание свинца в одном из образцов в фильтрате составляло $6,1 \pm 4,4$ мг/кг, а на фильтре — $67,5$ мг/кг; в фильтрате другого образца — $1,5 \pm 0,1$ мг/кг, а на фильтре — $33,1$ мг/кг. До 15% всех исследованных проб попадают в категорию с опасным уровнем загрязнения ($Z_c = 64–256$). Образцы с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения ($Z_c \geq 256$) отсутствовали. Основная масса образцов снега попала в категорию умеренно загрязнённых ($Z_c = 32–64$) или не загрязнённых.

Интегральным показателем, отражающим уровень концентрации солей в растворе, является удельная электропроводность. В России этот показатель в снежной массе и почве не нормируется, однако присутствует в документах Европейского союза (предельное значение для почвы указано как 2500 мкСм/см). Кроме того, установлено, что именно талые воды влияют на ЕС почвы. Результаты анализа образцов, сгруппированных в верхнем кластере, обусловленном применением ПГМ, показывают, что величина ЕС в них колеблется от 4840 до 8700 мкСм/см (рис. 2). Метод выделения кластеров и определение медианы в группе высоких значений (см. рис. 2, б) позволяет считать величину ЕС 5 мСм/см границей, выше которой уровень становится опасным.

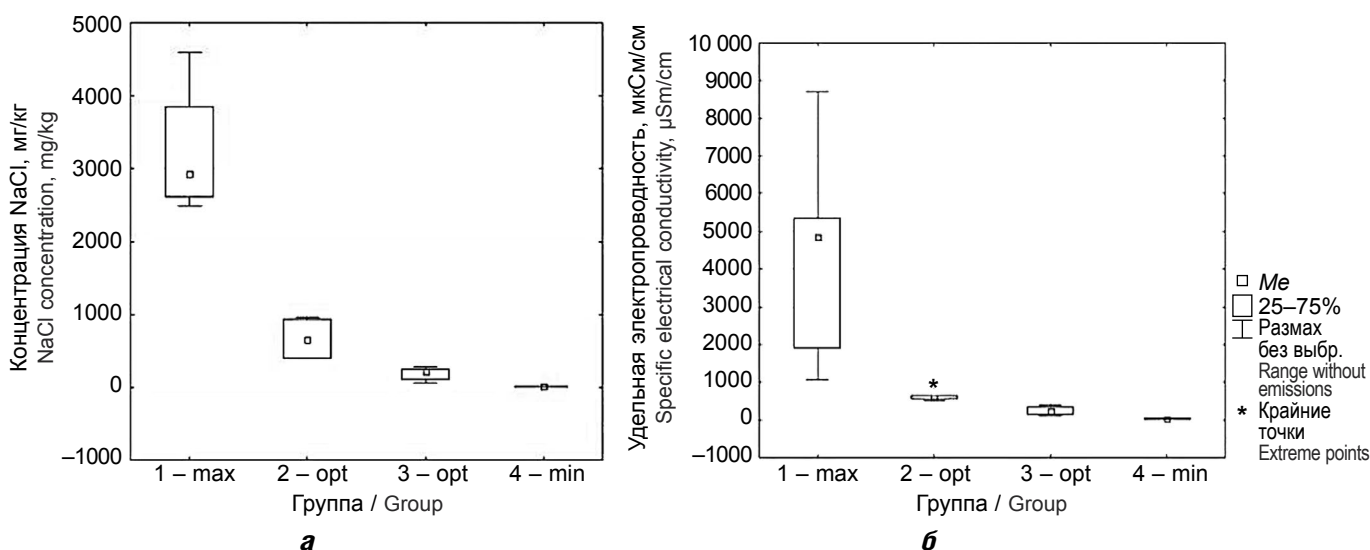


Рис. 1. Диаграмма размаха данных по концентрации NaCl (а) и удельной электропроводности (б) в образцах снежной массы.

Fig. 1. Diagram of the data range on NaCl concentration (a) and electrical conductivity (b) in snow samples.

Важно сравнить установленные критерии с показателями контрольных образцов, отобранных с территории, где ПГР не применяли (55,197°, 37,872°). В контрольных образцах уровень рН был равен 7,0; концентрация ионов натрия и хлора — 1,1 и 4,6 мг/кг соответственно; ЕС — 8,2 мкСм/см; Zc — 7,0.

Таким образом, установленные в настоящем исследовании характеристики снежных масс можно рассматривать как критические для оценки нагрузки ПГМ в транзитной среде.

1.3. Биотестирование

Экотоксикологическая оценка снеговых проб по влиянию на выживаемость рачков *Daphnia magna Straus* (общепринятого биотеста) не выявила физиологических различий между особями в исследуемых образцах и контроле (вода для культивирования). В ранее проведенных нами экотоксикологических исследованиях [6, 14] генеративная тест-функция одноклеточных организмов (инфузорий *Tetrahymena pyriformis*) часто проявлялась как более информативный показатель. В настоящей работе деление клеток простейших, помещенных в растворы снеговых проб, отставало от контрольного образца более чем в 50% случаев. В 35% снеговых образцов была выявлена слабая токсичность по изменению интенсивности свечения генно-инженерного штамма «Эколюм».

Сопоставляя полученные результаты с физико-химическими характеристиками снеговых проб (см. рис. 1), отметим, что наблюдаемые ответные реакции тест-организмов могут быть обусловлены как низким содержанием солей (талые воды), так и высоким (группа 1; см. рис. 1). Можно предположить, что низкий показатель прироста инфузорий, полученный в 50% проведенных исследований, является результатом воздействия вод с недостаточным количеством необходимых ионов, то есть вод физиологически неполноценных, не обеспечивающих рост и развитие чувствительных организмов.

2. Пороговые концентрации основных компонентов ПГМ в почвенных образцах

При определении необратимых изменений, происходящих в почве, основное внимание уделяли блоку химических характеристик, отражающих воздействие не только ПГМ, но и сопутствующих загрязнителей. Рост химического загрязнения обуславливает снижение самоочищающейся способности почвы, повышение её токсичности и негативного влияния на окружающую среду. В функциональных зонах

Москвы с разной антропогенной нагрузкой максимальное загрязнение наблюдалось в почвах транспортной зоны. Выявлено расширение аномалий запасов солей и усиление солевого процесса, протекавшего преимущественно по хлоридно-натриевому типу. При оценке засоления почв, как правило, определяют анионы и катионы легкорастворимых солей. Основное отрицательное воздействие легкорастворимых солей проявляется в повышении осмотического давления почвенного раствора и снижении его доступности для растений. Это приводит к нарушению минерального питания растений, дефициту элементов питания и влаги в целом [17]. Легкорастворимые соли в засоленных почвах содержатся в почвенном растворе и твердых фазах (как в виде минералов, так и в виде ионов в составе ППК). В исследованных нами почвах основными компонентами засоления были NaCl (галит, хлорид натрия) и сопутствующие катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые не рассматривались нами как индикаторные в связи с их относительно невысокой (по сравнению с Na^+) концентрацией. Наибольшей токсичностью для растений обладают карбонаты натрия, затем хлориды. Смесь различных солей всегда безвреднее, чем одна соль.

Обобщение аналитических данных позволило определить индикаторные величины по следующим характеристикам: содержание обменного натрия, электропроводность фильтратов, показатель адсорбируемого натрия почвенного раствора (SAR), содержание тяжелых металлов (ТМ) и суммарный показатель загрязнения (Zc).

2.1. Обменный натрий

К категории засоленных (Salt-affected soils) относят почвы, содержащие хотя бы в одном горизонте профиля легкорастворимые соли или их ионы в количествах, превышающих порог токсичности — максимально допустимое количество солей, которое не вызывает угнетения растений [18].

Обработка результатов определения содержания ионов натрия в почвенных образцах выявила аналитическую группу, которая характеризуется высокими значениями, обусловленными, очевидно, применением ПГР. Содержание натрия для четырех выделенных по результатам кластерного анализа групп представлено на рис. 2, а. Среднее содержание ионов натрия равно 1084 ± 346 мг/кг (контрольный образец — $101,5 \pm 50,3$ мг/кг) (табл. 1). Для определения индикаторной величины использована медиана — 1000 мг/кг. Пороговый индикаторный уровень может быть немного скорректирован в сторону увеличения (использование значения верхнего квартиля — 1835 мг/кг), поскольку образцы отбирали

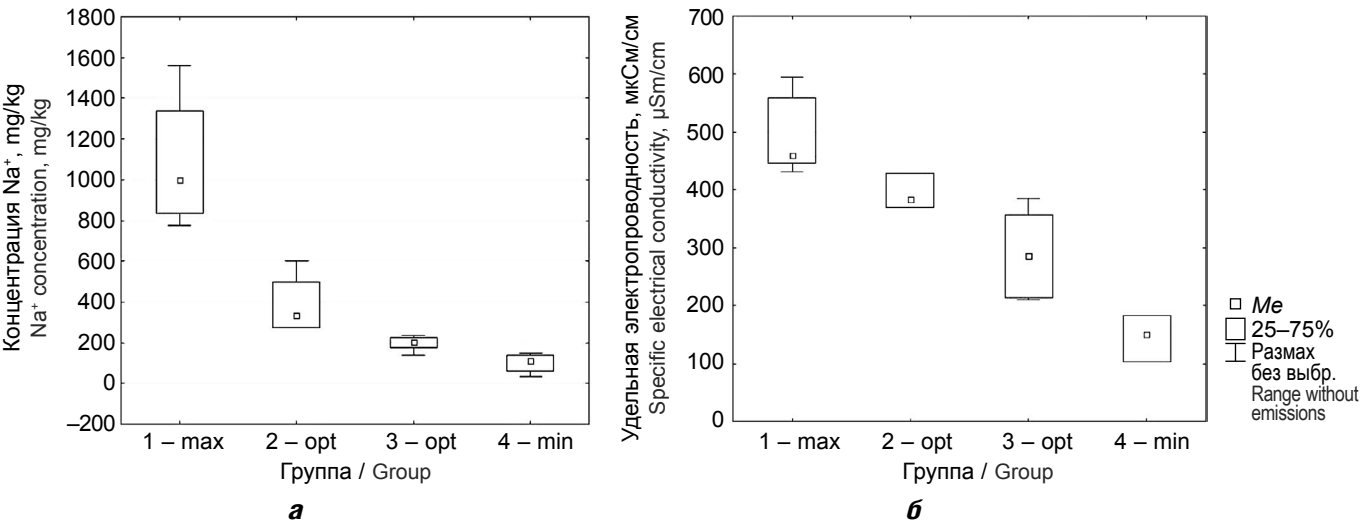


Рис. 2. Диаграмма размаха для ионов Na⁺ (а) и удельной электропроводности (б) в почвенных образцах.
Fig. 2. Peak-to-peak diagram for Na⁺ ions (a) and conductivity (b) in soil samples.

Таблица 1 / Table 1

Результаты содержания ионов Na⁺ в образцах почвы и снежной массы по кластерам
Results of Na⁺ ion content in soil and snow mass samples by clusters

Ранжирование по группам Ranking by groups	Среднее Average	Стандартное отклонение Standard deviation	Коэффициент вариации Variation coefficient	25%	Медиана Median	75%
Образцы снежной массы / Snow mass samples (n = 20)						
1	3232.8	940.9	29.1	2615.5	2920.0	3850.0
2	669.5	302.5	45.2	408.5	659.5	930.5
3	183.4	81.2	44.3	105.0	216.0	255.0
4	28.3	2.1	15.0	6.0	19.0	29.0
Почвенные образцы / Soil samples (n = 20)						
1	1084.0	346.3	31.9	833.0	1000.0	1835.0
2	386.8	152.8	39.5	276.0	336.5	527.5
3	197.3	36.6	18.5	177.0	205.5	253.0
4	101.5	50.3	49.5	63.0	110.0	140.0

из верхнего горизонта ранней весной (возможно вымывание в нижние горизонты, что обусловлено промывным режимом данной климатической зоны).

При применении ПГМ, как показали химико-аналитические исследования, вместе со снежной массой на поверхность почвы поступает большое количество солей. Содержание хлорида натрия в верхнем почвенном горизонте, из которого отбирались почвенные образцы, коррелирует ($r = 0,8$) с его содержанием в образцах снежной массы. Это подтверждается результатами статистической обработки (рис. 3).

Таким образом, индикаторным уровнем высокого содержания обменного натрия по сравнению с контрольной почвой можно считать величину, близкую к 2000 мг/кг.

2.2. Электропроводность

Электропроводность (ЕС) или обратно пропорциональная ей величина электрическое сопротивление (ЕР) – постоянные почвенные характеристики: $ЕС = 1/ЕР$. В России и за рубежом потенциометрические методы определения ЕС используются в качестве основных для определения территорий засоленных почв [19–21].

При сопоставлении удельной электропроводности (ЕС) почвенных образцов с ЕС образцов снежной массы, отобранных предварительно с этих же участков в зимний период, установлена корреляционная зависимость ($r = 0,78$), что указывает на взаимосвязь этих двух факторов. В табл. 2 представлены основные группы, определённые по результатам анализа, и результаты их обработки статистическими методами. Установлено, как и по другим показателям, наличие группы образцов с высокими характеристиками ЕС.

Величина ЕС в почвенных пробах колеблется от ~ 0,1 до 0,5 мСм/см. Значение ЕС контрольного образца соответствует 0,083 мСм/см (~ 0,1). Согласно нормативным геоэкологическим показателям почвогрунтов, показатель электропроводности < 2 мСм/см характеризует незасоленные почвы, а показатель электропроводности в интервале 2–4 мСм/см – очень слабо засоленные. В таких случаях угнетается рост чувствительных к засолению видов растений (луковичные, зонтичные, плодовые деревья и т. д.) [22]. Концентрации ионов, обуславливающие повышение электропроводности от 4 до 8 мСм/см, характеризуют сильно засоленные почвы. Данная градация разработана для ана-

2.4. Суммарный показатель загрязнения (Zc)

Суммарную оценку накопления ТМ в почве провели по результатам химического анализа с последующим расчётом коэффициента концентрации химических элементов (K_c) и индекса загрязнения (Z_c), полученного при сопоставлении концентрации ТМ в почве с их фоновым содержанием, косвенно учитывающего полиэлементное загрязнение. В качестве фона использовали показатели региональной почвы данного типа, расположенной вне зоны антропогенного загрязнения. Таким образом, были реализованы основные требования, предъявляемые к фоновому образцу: одинаковый набор определяемых элементов и одинаковые методы их определения. Для анализа содержания ТМ использовали и санитарно-гигиенические критерии, то есть ПДК и ОДК для почв с учётом валовых и подвижных форм. При сопоставлении полученных результатов анализа содержания ТМ в исследуемых образцах с ПДК (валовые формы) отмечено превышение нормативов для некоторых элементов на разных участках. Установлено превышение по Cd ($K_{Cd} = 1,8$), Pb ($K_{Pb} = 1,23$), Zn ($K_{Zn} = 0,88-1,95$) и As ($K_{As} = 0,81-1,4$). По остальным элементам содержание ТМ в пробах не превышало нормативов. Анализ элементов загрязнителей показал, что на первом месте находится цинк, далее проявляется действие свинца и меди; превышение содержания кадмия не столь существенно; загрязнение мышьяком и стронцием является специфическим для отдельных территорий. Результаты анализа Z_c для расчёта которого учитывают лишь те элементы, коэффициент концентрации которых K_c превышает 1,5, свидетельствуют о преимущественно низком уровне опасности. Лишь единичные образцы имели высокое и очень высокое загрязнение. Необходимо подчеркнуть, что установленные уровни загрязнения, очевидно, не связаны с применением ПГМ, а обусловлены близким расположением к автодороге, что не представляет опасности по суммарному показателю загрязнения (Z_c).

2.5. Биотестирование

Проведённое биотестирование почв показало, что со стороны генеративной функции тетрахимен слабая токсичность обнаружена только для одной почвенной пробы. Остальные пробы не проявили негативного влияния на тест-организмы и даже оказали некоторый стимулирующий эффект, вероятно, за счёт наличия органических веществ в почве. При использовании дафний в качестве тест-организма токсичность образцов почв не выявлена.

После полного снеготаяния были отобраны пробы почвы в тех же точках, где отбирали снеговые пробы, для эко-токсикологической оценки состояния почв, претерпевших возможную нагрузку противогололёдных реагентов. Полученные экстракты из некоторых почвенных образцов имели яркую окраску от оранжевой до коричневой, что может объясняться переходом в водную вытяжку гумусовых составляющих гуминовых и фульвокислот. Ни в одном из экстрактов не отмечено гибели рачков, но в окрашенных образцах дафнии к концу срока экспозиции (48 ч) также имели коричневую окраску вследствие фильтрации через организм испытуемых растворов. Вполне вероятно, что при большем сроке экспозиции можно было бы наблюдать гибель тест-организмов.

Для экотоксикологической оценки испытуемых проб почвы был выбран биотест, проявивший более высокую чувствительность при оценке снеговых проб, а именно инфузории *Tetrahymena pyriformis*. В результате более половины исследованных экстрактов отрицательно повлияли на генеративную функцию инфузорий. Относительный прирост клеток тетрахимен в этих образцах почвы был меньше, чем в контрольном, и величина K_t была ниже нормы ($< 50\%$). Использование батареи биотестов позволило выбрать наиболее чувствительный и информативный тест-организм (*Tetrahymena pyriformis*) для экотоксикологической оценки как транзитных (снежная масса), так и депонирующих (почва) сред.

Обсуждение

Использование противогололёдных материалов в зимний период существенно увеличивает нагрузку химических веществ на почву, воду, воздух и растения в городской среде [4–6]. Некоторые авторы отмечают увеличение в реках концентрации солей, и одной из причин, несомненно, является поступление их из снежной массы при сбрасывании её в открытые водоисточники. Также возможно предположить миграцию в период снеготаяния в нижние почвенные горизонты [6, 23, 24]. При этом содержание солей увеличивается в почве, что ведёт к изменению физико-химических почвенных характеристик и, как следствие, снижению их санитарно-гигиенических функций [25]. Основной солевой смесью применяемых ПГР остаются хлориды. NaCl, накопление которого в почвенно-поглощающем комплексе способно вызывать пептизацию илистой части почвы и приводить к осмотическим нарушениям, негативно влияет на развитие растений и на озеленение городской среды в целом. Контроль состояния городских антропогенно изменённых почв — техногенных урбанозёмов (Uteh) или агрогенных урбанозёмов (Uagro) [7] — проводится непрерывно, однако целесообразно выделить показатели, отражающие именно негативное воздействие антигололёдных реагентов, в частности хлорида натрия. Для контроля этого фактора воздействия на почву необходимо анализировать и снежную массу, то есть выполнять превентивный контроль, что подтверждается другими исследователями [4, 26]. При оценке накопления хлорида натрия в комплекс основных показателей наряду с очевидными [14] рекомендуется включать и интегральные, такие как биотестирование (комплекс биотестов с представителями гидробионтов и бактерий (биосенсор «Эколюм») для анализируемых водных растворов снежной массы и для водных вытяжек из почвенных образцов. Кроме того, для характеристики почвенных образцов необходимо рассчитывать суммарное загрязнение (Z_c), учитывающее все поступившие в почву токсиканты, а также показатель адсорбируемого натрия почвенного раствора (SAR). Итак, необходимо определять содержание натрия, хлора и уровень электропроводности.

В нашем исследовании выделение критериев как показателей (индексов) существенного негативного действия ПГР выполнено на массе проб с высокими значениями этих показателей. Установленные достоверные корреляции между этими величинами в пробах снега и почвы подтверждают их взаимосвязь с применением ПГР. В изученных пробах не было выявлено очевидного синергизма влияния присутствия ТМ в комплексе с содержанием ионов Na^+ , Cl^- . Возможно, воздействие ТМ в большей степени отражают интегральные показатели, такие как биотестирование [10, 26]. Нами не установлены достоверные изменения почвенного показателя SAR, однако в перечне определяемых он необходим. Именно SAR отражает степень сорбции натрия в почвенном поглощающем комплексе, следовательно, указывает на функциональные изменения в почве и возможность осолонцевания [27]. Использование указанных показателей и представление об их критических уровнях позволит своевременно разработать и применить комплекс мер для предотвращения необратимых негативных последствий воздействия на окружающую среду.

Заключение

По результатам многолетних исследований воздействия ПГМ на объекты окружающей среды установлены индикаторные и критические значения показателей (табл. 3), которые помогут определить оптимальные условия применения реагентов и будут способствовать ограничению их нерационального использования на урбанизированных территориях.

Таблица 3 / Table 3

Сводные данные индикационных параметров для оценки негативного воздействия ПГМ на объекты окружающей среды
Summary of indicator parameters for assessing the negative impact of Anti-icing materials (AIM) on environmental objects

Показатель Index	Объект исследования Object of study	Максимально безопасный уровень Maximum secure level
Удельная электропроводность (мСм/см) / Electrical conductivity	Снежная масса / Snow mass	5
	Почва / Soil	0.5
Содержание ионов Na ⁺ (мг/л) / Content of Na ⁺ ions (mg/L)	Снежная масса / Snow mass	4000
Содержание ионов Cl ⁻ (мг/л) / Content of Cl ⁻ ions (mg/L)	Снежная масса / Snow mass	3000
Содержание обменного Na ⁺ (мг/кг) / Exchangeable Na ⁺ content (mg/kg)	Почва / Soil	2000
Показатель адсорбируемого натрия (SAR) / Sodium Adsorbed Ratio (SAR)	Почва / Soil	> 4

Поскольку ПГМ применяются преимущественно на территориях, расположенных вблизи автомагистралей и подверженных дополнительному воздействию выбросов автотранспорта, считаем необходимым использовать для

комплексной гигиенической оценки объектов окружающей среды интегральные методы биотестирования, в частности показатели генеративной функции инфузорий *Tetrahymena pyriformis*.

Литература
(п.п. 7, 15, 21, 25, 26 см. References)

1. Васильев А.В., Заболотских В.В., Терешенко Ю.П., Терешенко И.О. Комплексная система оценки рисков здоровью человека с учётом сочетанного воздействия физических и химических факторов на урбанизированных территориях. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015; 17(6–2): 342–9. <https://elibrary.ru/wdcuuh>

2. Фрумин Г.Т., Малышева Н.А. Эколого-токсикологический подход к комплексной оценке загрязнённости поверхностных вод суши. *Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития»*. СПб.: ХИМИЗДАТ; 2019: 894–9. <https://elibrary.ru/khvhqhw>

3. Прохорова Н.В., Матвеев Н.М. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза. *Вестник Самарского государственного университета*. 1996; (S): 125–48. <https://elibrary.ru/zbpvtd>

4. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2012; (4): 14–24. <https://elibrary.ru/pjqder>

5. Азовцева Н.А., Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Кириченко А.В. Физико-химические предикторы загрязнения почв мегаполиса. В кн.: *Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы*. М.; 2019: 652–4. <https://elibrary.ru/cplpzy>

6. Воронина Л.П., Трибис Л.М., Поногайбо К.Э., Амелянчик О.А., Антропова Н.С. Характеристика снежной массы для индикации нагрузки применения противогололёдных реагентов. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(12): 25–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1330-1338> <https://elibrary.ru/cmufte>

8. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. *Антропогенные почвы: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры*. М.: Юрайт; 2019.

9. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Экологические последствия применения противогололёдных реагентов для почв Восточного округа Москвы. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2016; (3): 40–9. <https://elibrary.ru/xhfhwf>

10. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л., Мягкова А.Д., Курбатова А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий. *Почвоведение*. 2006; (11): 603–15. <https://elibrary.ru/hthwzj>

11. Кульбачевский А.О., ред. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году». М.; 2018.

12. Еремина И.Д., Григорьева А.В. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмоскowie за период 1999–2006 гг. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2010; (3): 55–60. <https://elibrary.ru/mvxlph>

13. Николаев Ю.Н., Шестакова Т.В., Бычкова А.Ю., Маркова Ю.Л., Лубкова Т.Н., Яникиева О.Е. Солевое загрязнение почв и растительности в НП «Лосинный остров». *Новые идеи в науках о Земле*. 2001; (4): 44–54.

14. Донерьян Л.Г., Водянова М.А. Обоснование места альтернативных биологических методов в гигиенических исследованиях. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(11): 1093–7. <https://elibrary.ru/urpxhv>

16. Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Кирюшин А.В. *Химический анализ почв. Вопросы и ответы*. М.; 2011.

17. Панкова Е.И., Воробьева Л.А., Гаджиев И.М., Горохова И.Н., Елизарова Т.Н., Королюк Т.В. и др. *Засоленные почвы России*. М.: Академкнига; 2006. <https://elibrary.ru/yhnjjh>

18. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов. *Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева*. 1972; (5): 36–40. <https://elibrary.ru/rnsuuy>

19. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв. *Почвоведение*. 2003; (3): 328–41. <https://elibrary.ru/ooiszf>

20. Толпешта И.И. Активности ионов и электропроводность водной вытяжки целинных и мелиорированных почв Джаньбекского стационара. *Почвоведение*. 2000; (11): 1365–7. <https://elibrary.ru/rxkcj>

22. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости. *Успехи современной биологии*. 2007; 127(5): 482–93. <https://elibrary.ru/ibbtdr>

23. Воронина Л.П., Кеслер К.Э., Балагур Л.А., Донерьян Л.Г., Ушакова О.В., Карпенко Ю.Д. и др. Оценка влияния противогололёдных материалов на характеристику сточных вод централизованной системы водоотведения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1355–62. <https://elibrary.ru/tevrhv>

24. Вострикова М.А., Шкода В.В. Основные виды загрязнений водных объектов. *Инновационная наука*. 2016; (4–5): 10–1. <https://elibrary.ru/vstzuv>

27. Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендяева Н.В. Современный гидро-морфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири. *Почвоведение*. 2020; (12): 1451–9. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120059> <https://elibrary.ru/skigtm>

References

1. Vasilyev A., Zabolotskikh V., Tereshchenko Ju., Tereshchenko I. Complex system of the assessment of public health risks taking into account the combined influence of physical and chemical factors in urban territories. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*. 2015; 17(6–2): 342–9. <https://elibrary.ru/wdcuuh> (in Russian)

2. Frumin G.T., Malysheva N.A. Environmental toxicological approach to integrated assessment of surface waters. *Proceedings of the III All-Russian Conference «Hydrometeorology and Ecology: achievements and development prospects» [Trudy III Vserossiiskoi konferentsii «Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya»]*. St. Petersburg: KHIMIZDAT; 2019: 894–9. <https://elibrary.ru/khvhqhw> (in Russian)

3. Prokhorova N.V., Matveev N.M. Heavy metals in soils and plants during technogenic conditions. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 1996; (S): 125–48. <https://elibrary.ru/zbpvtd> (in Russian)

4. Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geochemistry of snow cover within the eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2012; (4): 14–24. <https://elibrary.ru/pjqder> (in Russian)

5. Azovtseva N.A., Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V. Physico-chemical predictors of pollution of megalopolis soils. In: *Fundamental Concepts of Soil Physics: Development, Modern Applications and Prospects [Fundamental'nye kontseptsii fiziki pochv: razvitie, sovremennye prilozheniya i perspektivy]*. Moscow; 2019: 652–4. <https://elibrary.ru/cplpzy> (in Russian)

6. Voronina L.P., Tribis L.I., Ponogaybo K.E., Amelyanchik O.A., Antropova N.S. Snow mass characteristics for the indication of the ice-melting products application load. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(12): 25–31. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1330-1338> <https://elibrary.ru/cmufte> (in Russian)

Gigiena i Sanitariya / HYGIENE & SANITATION, RUSSIAN JOURNAL • Volume 103 • Issue 10 • 2024

1087

7. FAO UN. World reference base for soil resources 2014, update 2015. Available at: <http://fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
8. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokof'eva T.V. *Anthropogenic Soils: A Textbook for Undergraduate and Graduate Studies [Antropogennyye pochvy: uchebnoe posobie dlya bakalavriata i magistratury]*. Moscow: Yurait; 2019. (in Russian)
9. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaibrakhmanov T.S. Ecological impact of antiglaze treatment on soils of the eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2016; (3): 40–9. <https://elibrary.ru/xhflwf> (in Russian)
10. Smagin A.V., Stepanov A.L., Azovtseva N.A., Smagina M.V., Myagkova A.D., Kurbatova A.S. Criteria and methods to assess the ecological status of soils in relation to the landscaping of urban territories. *Pochvovedenie*. 2006; 39(5): 539–51. <https://doi.org/10.1134/S1064229306050115> <https://elibrary.ru/lkbbkx>
11. Kulbachevskii A.O., ed. Report «On the state of the environment in Moscow in 2017». Moscow; 2018. (in Russian)
12. Eremina I.D., Grigoriev A.V. Acidity and chemical composition of snow cover in the city of Moscow and the Moscow region during 1999–2006. *Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2010; (3): 56–60. <https://elibrary.ru/mvxlph> (in Russian)
13. Nikolaev Yu.N., Shestakova T.V., Bychkova A.Yu., Markova Yu.L., Lubkova T.N., Yanikieva O.E. Salt pollution of soils and vegetation in NP «Losiny Ostrov». *Novye idei v naukah o Zemle*. 2001; (4): 44–54. (in Russian)
14. Donerian L.G., Vodyanova M.A. Substantiation of the place of alternative biological methods in hygienic research. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(11): 1093–7. <https://elibrary.ru/ypxhvx> (in Russian)
15. Voronina, L.P., Morachevskaya E.V., Akishina M.M., Kozlova O.N. Evaluation of environmental health of the Kolomenskoye Park under anthropogenic pressure from Moscow City. *J. Soils Sediments*. 2019; 19: 3226–34. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-1985-4>
16. Vorobyova L.A., Ladonin D.V., Lopukhina O.V., Rudakova T.A., Kiryushin A.V. *Chemical Analysis of Soils. Questions and Answers [Khimicheskii analiz pochv. Voprosy i otvety]*. Moscow; 2011. (in Russian)
17. Pankova E.I., Vorobeva L.A., Gadzhiev I.M., Gorokhova I.N., Elizarova T.N., Korolyuk T.V., et al. *Saline Soils of Russia [Zasolennyye pochvy Rossii]*. Moscow: Akademkniga; 2006. <https://elibrary.ru/yhnljh> (in Russian)
18. Bazilevich N.I., Pankova E.I. Experience in classifying soils according to the content of toxic salts and ions. *Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 1972; (5): 36–40. <https://elibrary.ru/rnsuyq> (in Russian)
19. Smagin A.V. Theory and methods of evaluating the physical status of soil. *Pochvovedenie*. 2003; (3): 328–41. <https://elibrary.ru/lhrsor> (in Russian)
20. Tolpeshta I.I., Sokolova T.A., Sizemskaya M.L. Ion activities and the electric conductivity of water extracts from virgin and ameliorated soils of the Dzhanybek research station. *Pochvovedenie*. 2000; (11): 1365–7. <https://elibrary.ru/izmutj> (in Russian)
21. Kanzari S., Hachicha M., Bouhlila R., Battle-Sales J. Simulation of water and salts dynamics in Bouhajla (Central Tunisia): exceptional rainfall effect. *Soil Water Res*. 2012; (7): 36–44. <https://doi.org/10.17221/17/2011-SWR>
22. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. The reaction of plants to salinization and the formation of salt resistance. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2007; 127(5): 482–93. <https://elibrary.ru/ibbttr> (in Russian)
23. Voronina L.P., Kesler K.E., Balagur L.A., Donerian L.G., Ushakova O.V., Karpenko Yu.D., et al. Assessment of the impact of anti-icing materials on the characteristics of sewage water disposal centralized system. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(12): 1355–62. <https://elibrary.ru/tevrhv> (in Russian)
24. Vostrikova M.A., Shkoda V.V. The main types of pollution of water bodies. *Innovatsionnaya nauka*. 2016; (4–5): 10–1. <https://elibrary.ru/vstzuv> (in Russian)
25. Egamberdieva D., Davranov K., Wirth S., Hashem A., Abd Allah E.F. Impact of soil salinity on the plant-growth – promoting and biological control abilities of root associated bacteria. *Saudi J. Biol. Sci.* 2017; 24(7): 1601–8. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.07.004>
26. Klimbal D. *Methods for monitoring and mitigating the use of chloride deicers*. Diss. University of Minnesota; 2020.
27. Elizarov N.V., Popov V.V., Semendyaeva N.V. Modern hydromorphism of solonchets in the forest-steppe zone of western Siberia. *Pochvovedenie*. 2020; (12): 1451–9. <https://doi.org/10.1134/S1064229320120054> <https://elibrary.ru/zdmmb1> (in Russian)

Сведения об авторах

Воронина Людмила Петровна, доктор биол. наук, вед. науч. сотр. отд. физико-химических исследований и экотоксикологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия; вед. науч. сотр., доцент факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия. E-mail: Voronina@cspmrz

Донерьян Лариса Григорьевна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. отд. физико-химических исследований и экотоксикологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: LDonerian@cspfmbr.ru

Сбитнев Антон Владиславович, науч. сотр. отд. физико-химических исследований и экотоксикологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: ASbitnev@cspmrz

Водянова Мария Александровна, канд. биол. наук, учёный секретарь ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: MVodyanova@cspfmbr.ru

Information about the authors

Ludmila P. Voronina, DSc (Biology), Associate Professor, leading researcher of the Laboratory of physical and chemical research and ecotoxicology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation; DSc, Associate Professor, Soil Science Faculty of the Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1917-7490> E-mail: Voronina@cspmrz

Larisa G. Donerian, PhD (Biology), leading researcher of the Laboratory of physical and chemical research and ecotoxicology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9718-0663> E-mail: LDonerian@cspfmbr.ru

Anton V. Shitnev, Researcher of the Laboratory of physical and chemical research and ecotoxicology, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4406-4287> E-mail: ASbitnev@cspmrz

Mariya A. Vodyanova, PhD (Biology), Scientific secretary of the Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3350-5753> E-mail: MVodyanova@cspfmbr.ru