

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Воронина Л.П.^{1,2}, Кеслер К.Э.^{1,2}, Балагур Л.А.¹, Донерьян Л.Г.¹, Ушакова О.В.¹, Карпенко Ю.Д.¹, Водянова М.А.¹**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЁДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ**¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва;²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва

Введение. Использование в зимний период противогололёдных материалов (ПГМ) наряду с полезными функциями сопровождается негативными последствиями их воздействия на объекты окружающей среды (ООС) и на здоровье человека. В настоящее время изучены токсические свойства многих противогололёдных реагентов (ПГР), входящих в состав ПГМ, и контролируется ряд позиций их воздействия на ООС. Основная утилизация снежной массы осуществляется через стационарные снегосплавные пункты (ССП). Именно это мероприятие связано с высокой нагрузкой на ООС, особенно на водные объекты, и требует сведений по токсичности, динамике поступления, составу загрязнителей, в том числе входящих в состав ПГМ.

Целью исследования явилось изучение роли ПГМ в характере загрязнения вод в очистных системах ССП и степени возможного загрязнения открытых водоёмов, в частности рек.

Материал и методы. Проанализированы образцы доставленного на стационарные снегосплавные пункты ГУП «Мосводосток» снега, собранного с территории г. Москвы; образцы воды из резервуаров, где проходит очистка; а также пробы сточной воды перед сбросом в реку. Использованы химико-аналитические методы и широкий спектр методов биотестирования.

Результаты. Через снегосплавные пункты в составе снежной массы противогололёдные материалы попадают в водоёмы и реки г. Москвы. Это сопровождается увеличением в них ряда сопутствующих элементов ($Zn > 1$ мг/л и др.) и легкорастворимых солей (значения минерализации достигают 4830 мг/л).

В водах рек уровень минерализации в ряде случаев достигает максимально допустимой величины (1000 мг/л) или незначительно превышает это значение (1125 мг/л). Устанавливается превышение по ряду элементов, как основных компонентов ПГМ, так и сопутствующих (Zn, Fe, Al и др.). Методы биологического контроля с привлечением биотестов подтверждают в ряде случаев наличие негативного действия.

Ключевые слова: противогололёдный материал (ПГМ); противогололёдный реагент (ПГР); стационарный снегосплавный пункт (ССП); солесодержание; снежная масса; вода рек; минерализация; биотестирование.

Для цитирования: Воронина Л.П., Кеслер К.Э., Балагур Л.А., Донерьян Л.Г., Ушакова О.В., Карпенко Ю.Д., Водянова М.А. Оценка влияния противогололёдных материалов на характеристику сточных вод централизованной системы водоотведения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(12): 1355-1362. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1355-1362>

Для корреспонденции: Воронина Людмила Петровна, доктор биол. наук, доцент, заведующая лабораторией эколого-гигиенической оценки отходов и почвы ФГБУ «ЦСП» Минздрава России, 119121, Москва. E-mail: luydmila.voronina@gmail.com; lab.pochva@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Воронина Л.П., Водянова М.А., Кеслер К.Э.; сбор и обработка материала – Балагур Л.А., Карпенко Ю.Д., Воронина Л.П., Донерьян Л.Г.; написание текста – Воронина Л.П., Кеслер К.Э., Донерьян Л.Г., Ушакова О.В.; редактирование – Донерьян Л.Г., Кеслер К.Э., Воронина Л.П., Водянова М.А.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 02.03.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: декабрь 2019

Voronina L.P.^{1,2}, Kesler K.E.^{1,2}, Balagur L.A.¹, Donerian L.G.¹, Ushakova O.V.¹, Karpenko Yu.D.¹, Vodyanova M.A.¹**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ANTI-ICING MATERIALS ON THE CHARACTERISTICS OF SEWAGE WATER DISPOSAL CENTRALIZED SYSTEM**¹Center for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119121, Russian Federation;²Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russian Federation

Introduction. The use of anti-icing materials (AIM) in winter, along with useful functions, is accompanied by negative consequences of their impact on environmental objects (EO) and indirectly on human health. At present, the toxic properties of many anti-icing agents (AIM) included in AIMS have been studied, and a number of positions of their impact on environmental protection are monitored. The main utilization of the snow mass is carried out through stationary snow-alloy points (SAP). This event is associated with a high load on environmental protection, especially on water bodies, and requires information on toxicity, intake dynamics, composition of pollutants, including those included in the AIM.

The aim of the study was to investigate the role of AIM in the nature of water pollution in SAP treatment systems and the degree of possible contamination of open water bodies, in particular, rivers.

Material and methods. The samples of the snow collected from the territory of the city of Moscow for further melting were delivered to the stationary snow-alloy points of the State Unitary Enterprise "Mosvodostok"; water samples from the tanks where the treatment takes place; and wastewater samples were taken before discharge into the river. Chemical analytical methods and a wide range of bio testing methods were used.

Results. Through the snow-alloy points as part of the snow mass, the anti-icing materials fall into the reservoirs and rivers of the city of Moscow. This is accompanied by an increase in the number of related elements ($Zn > 1.0$ mg/l, etc.) and easily soluble salts (the mineralization reaches 4830 mg/l).

In the waters of rivers, electrical mineralization in some cases reaches the maximum permissible value (1000 mg/l) or slightly exceeds this value (1125 mg/l). An excess is established for a number of elements, both the main components of the AIM and the associated components (Zn, Fe, Al, etc.). Methods of biological control with the involvement of biotests in some cases confirm the presence of a negative effect.

Key words: anti-icing material; de-icing product; stationary snow melter; salt content; snow-mass; water of rivers; salinity; bioassay.

For citation: Voronina L.P., Kesler K.E., Balagur L.A., Donerian L.G., Ushakova O.V., Karpenko Yu.D., Vodyanova M.A. 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): 1355-1362. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1355-1362>

For correspondence: Lyudmila P. Voronina, MD, Ph.D., DSci., Associate professor, Head of the Laboratory for Ecological and Hygienic Assessment of Waste and Soil of the Center for Strategic Planning, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: luydmila.voronina@gmail.com; lab.pochva@mail.ru.

Information about authors: Voronina L.P., <http://orcid.org/0000-0003-1917-7490>

Kesler K.E., <https://orcid.org/0000-0002-0518-0982>; Donerian L.G., <http://orcid.org/0000-0002-9718-0663>

Ushakova O.V., <http://orcid.org/0000-0003-2275-9010>; Vodyanova M.A., <http://orcid.org/0000-0003-3350-5753>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: Research concept and design – Voronina L.P., Vodyanova M.A., Kesler K.E.; collection and processing of material – Balagur L.A., Karpenko Yu.D., Voronina L.P., Donerian L.G.; writing a text – Voronina L.P., Kesler K.E., Donerian L.G., Ushakova O.V.; editing – Donerian L.G., Kesler K.E., Voronina L.P., Vodyanova M.A.; approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: March 02, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: December 2019

Введение

В период 2004–2011 гг. в Москве ежегодно использовалось около 150 тыс. тонн солей в качестве противогололёдных материалов и реагентов (ПГМ/ПГР), основная масса которых приходилась на твёрдые вещества (83 тыс. тонн). Начиная с зимнего периода 2011/2012 г. используется кардинально изменённая Технология¹ [1, 2]. Разрешительные документы на данную технологию сроком действия десять лет, утверждённые приказом Департамента Росприроднадзора по ЦФО от 12.09.2011 г. № 08-Э, были размещены на официальном сайте Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства г. Москвы.

Основным противогололёдным реагентом в Москве и других городах является хлорид натрия (твёрдый NaCl), который применяется с 1993 г. Стоит заметить, что в США и Европе эту соль применяют в дозировке 30 г/м², в России – до 150 г/м², что объясняется более суровыми климатическими условиями. При этом в Москве смеси солей на основе NaCl составляют 75–80%, а Ca/MgCl₂ – 20–25% от вносимой массы [3–5]. Учитывая, что составляющим веществом многих ПГР является технический хлорид натрия, который по степени воздействия на организм человека характеризуется как умеренно опасное вещество и относится к 3-му классу опасности, соответствующих мер безопасности по его применению на сегодняшний день не предусмотрено. Противогололёдные материалы, содержащие комплекс солей и сопутствующих веществ, могут быть экологически небезопасными. Они способствуют усилению загрязнения и росту общей солевой нагрузки на территорию. Использованное в Технологии-2011 положение по «допустимому содержанию химических веществ, не относящихся к действующему веществу в составе ПГР» допускает наличие особо опасных потенциальных загрязнителей окружающей среды: фтора, цинка, свинца, ртути, меди, молибдена, хрома, мышьяка, кадмия, селена, никеля и кобальта в высоких концентрациях (табл. 1). Негативные последствия от комплекса веществ, входящих в состав ПГМ, весьма ощутимы (увеличение содержания пылеватой фракции в атмосфере, угнетение солями роста зелёных насаждений, стекание солей и сбор их в водоразделах, миграция и накопление солей в почвенной толще и, как следствие, засоление и эвтрофикация) [3–5].

Предварительная обработка дорог ПГМ проводится до начала снегопада, предотвращая образование наледи и наката. Эта процедура существенно упрощает последующую уборку снега для вывоза на стационарные снегосплавные пункты (ССП). Ути-

лизация снега с введением в эксплуатацию ССП способствует эффективному увеличению пропускной способности автомагистралей; значительно сокращению объёма складирования снежной массы на газонах и других территориях; сокращению количества загрязняющих веществ, накапливающихся в снежной массе и попадающих с талыми водами в открытые водоёмы [5–7].

С начала зимы с городских улиц вывозится от 8 до 15 млн м³ снега. Его отвозят на 56 стационарных и 145 мобильных снегосплавных пунктов, перерабатывающих до 550 тыс. м³ снега в сутки [8–10]. Проблема загрязнения водоёмов и прибрежной зоны территорий крупных городов остаётся актуальной на сегодняшний день. Применение ПГМ, содержащих легкорастворимые соли и различные примеси, приводит к значительному увеличению содержания этих компонентов на данной территории. Важно отметить, что одним из прямых

Таблица 1*

Допустимое содержание химических веществ, не относящихся к действующему веществу в составе ПГР

Химический элемент	Форма	Допустимое содержание химического элемента в составе	
		твёрдых ПГР, мг/кг	жидких ПГР, мг/л
Фтор	Водорастворимая	Не более 25,0	Не более 25,0
Цинк	Валовое содержание	Не более 198,0	Не более 66,0
Свинец	Валовое содержание	Не более 65,0	Не более 21,0
Никель	Валовое содержание	Не более 70,0	Не более 23,0
Медь	Валовое содержание	Не более 117,0	Не более 39,0
Ртуть	Валовое содержание	Не более 2,0	Не более 0,66
Молибден	Валовое содержание	Не более 20,0	Не более 6,6
Кобальт	Валовое содержание	Не более 6,0	Не более 2,0
Кадмий	Валовое содержание	Не более 2,0	Не более 0,66
Хром	Валовое содержание	Не более 150,0	Не более 50,0
Селен	Валовое содержание	Не более 3,0	Не более 1,0
Мышьяк	Валовое содержание	Не более 10,0	Не более 3,3

Примечание. * – Распоряжение от 28 сентября 2011 г. № 05-14-650/1 «Об утверждении технологии зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололёдных реагентов и гранитного щебня фракции 2–5 мм (на зимние периоды с 2010–2011 гг. и далее)» с изменениями на 7 сентября 2017 г.

Таблица 2*

Нормативные показатели общих свойств сточных вод и допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованные общесплавные и бытовые системы водоотведения

Показатель	Значение
Реакция среды (рН), Ед.	6,0–9,0
Температура, °С	+40
Минерализация (плотный остаток), мг/дм ³	3000
Жиры (растворённые и эмульгированные), мг/дм ³	50
Нефтепродукты (растворённые и эмульгированные), мг/дм ³	10
Летучие органические соединения (ЛОС) (в том числе толуол, бензол, ацетон, метанол, бутанол, пропанол, их изомеры и алкилпроизводные по сумме ЛОС), мг/дм ³	20
Сульфиды (S-H ₂ S ⁺ S ²⁻), мг/дм ³	1,5
Кратность разбавления, при которой исчезает окраска в столбике 10 см, мг/дм ³	11
Хлор и хлорамины, мг/дм ³	5,0
Индекс токсичности, Ед.	50
Соотношение ХПК : БПК ₅ , Ед.	2,5
Взвешенные вещества, мг/дм ³	300
БПК ₅ , мг/дм ³	300
ХПК, мг/дм ³	500
Азот (сумма азота органического и азота аммонийного), мг/дм ³	50
Фосфор общий (Р), мг/дм ³	12
СПАВ анионные, мг/дм ³	10
Фенолы (сумма), мг/дм ³	0,25
Сульфаты (SO ₄ ²⁻), мг/дм ³	300
Хлориды (Cl ⁻), мг/дм ³	1000
Алюминий (Al), мг/дм ³	3
Железо (Fe), мг/дм ³	3
Марганец (Mn), мг/дм ³	1
Медь (Cu), мг/дм ³	0,5
Цинк (Zn), мг/дм ³	1
Хром общий (Cr(III) + Cr(VI)), мг/дм ³ /мг/дм ³	0,5
Хром Cr (VI), мг/дм ³	0,05
Никель (Ni), мг/дм ³	0,25
Кадмий (Cd), мг/дм ³	0,015
Свинец (Pb), мг/дм ³	0,25
Мышьяк (As), мг/дм ³	0,01
Ртуть (Hg), мг/дм ³	0,005
Стронций (Sr), мг/дм ³	2

П р и м е ч а н и е. * – Постановление правительства РФ от 29.07.2013 г. № 644 «Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации».

Определяли основные компоненты, входящие в состав ПГМ: K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ [14], а также возможные сопутствующие элементы, в том числе тяжёлые металлы (ТМ). Химические анализы образцов выполнены на приборе ICP-MS (определение валового содержания и потенциально подвижных форм элементов). Содержание основных анионов выполнено методом ионной хроматографии^{2,3}. Проводилось определение минерализации и рН среды. Полученные результаты сравнивали с допустимыми концентрациями веществ в сточной воде после очистки при использовании фильтрующего материала (табл. 2).

² 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.

³ ФР.1.31.2008.01724. Методика выполнения измерений массовой концентрации фторид-, хлорид-, нитрат-, фосфат- и сульфат-ионов в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии.

источников попадания легкорастворимых солей в водоёмы являются снегосплавные пункты, где концентрированные снежные массы подвергаются растапливанию и сбросу в водоёмы. Кроме того, масштабный сброс ПГМ вместе со снежной массой в окружающую среду может существенно изменить общую обстановку местности, привести к нехарактерному засолению воды и почвы, что впоследствии может отразиться на здоровье жителей мегаполисов.

Утилизация снежных масс происходит на ССП с различными принципами работы и осуществляется предприятиями по эксплуатации московских водоотводящих систем АО «Мосводоканал» и ГУП «Мосводосток». При температурах, близких к нулю, часть снега тает непосредственно на дорогах и в виде талой воды поступает в коллекторы городской водосточной сети. Таким образом, объёмы переработки снега зависят не только от количества осадков, но и от температурного режима. Принцип работы ССП «Мосводосток» заключается в использовании метода утилизации снега за счёт контакта его с горячей водой. Снег доставляется автосамосвалами и выгружается в снегосплавную камеру. Существует несколько технологий растапливания сваленного в камеру снега, чем определены основные типы работы ССП: на базе тепловых сетей, на сбросных водах ТЭЦ, на дизельном топливе. Подача воды осуществляется через распределительную камеру, после чего талая вода попадает в следующий резервуар, где проходит очистку, и только после очистки вода попадает в водоприёмные коллекторы. Снег плавится круглосуточно. За 12 ч смены такие пункты могут принять около 200 машин [8, 11–13].

Для того чтобы разработать свод рекомендаций по ограничению применения ПГМ и контролю за соблюдением установленных регламентов, необходимо оценить изменения, которые могут быть продиктованы непосредственно действием ПГМ при их поступлении в снежной массе на ССП.

Целью исследования являлось изучение роли ПГМ в характере загрязнения вод в очистных системах ССП и открытых водоёмов, в частности рек, протекающих по территории г. Москвы. Конкретное проявление данной опасности со стороны веществ, поступающих со снежной массой из ССП (после прохождения системы очистки из ССП) в реки, изучалось на примере рек г. Москвы (р. Битца, р. Яуза, р. Москва).

Материал и методы

Всего в хозяйственном ведении ГУП «Мосводосток» находятся 14 снегосплавных пунктов, расположенных в 8 административных округах г. Москвы. Данные ССП можно разделить на 4 группы по типу теплоносителя, за счёт которого осуществляется процесс плавления снега (ССП на энергии, вырабатываемой дизельным теплогенератором, ССП за счёт тепла стока природных рек, ССП за счёт тепла сбрасываемых вод ТЭЦ, ССП на энергии тепловых сетей). Объектами исследования в данной работе выбраны снегосплавные пункты, принцип работы которых заключается в плавлении снежной массы путём смешения со стоками природных рек.

Отобраны и проанализированы образцы доставленного на ССП ГУП «Мосводостока» снега, собранного с территории г. Москвы для последующего растапливания; образцы воды из резервуаров, где проходит очистка; а также пробы очищенных вод перед сбросом в реку. Кроме того, был проведён отбор воды из рек Битца и Яуза вблизи сброса (выше и ниже по течению). Отбор проб воды проводился согласно ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». Выполнены химический анализ и биотестирование воды на разных стадиях очистки следующих ССП: «Северное Бутово», «Хапиловка», «Золотой Рожок», «Ичка», «Городня-2».

Пробоподготовку снега проводили следующим образом: доставленный в лабораторию снег был растоплен при комнатной температуре и профильтрован через фильтр «Синяя лента». Результаты химического анализа проб представлены в виде среднего значения. Измерения выполнены с учетом точности метода.

Для выявления присутствия ПГМ в водах на этапах водоочистки на ССП и в сбросных водах использовали ряд стандартных химических показателей и методы биотестирования.

Таблица 3

Химические характеристики поступающей на стационарные снегосплавные пункты снежной массы

Стационарный снегосплавный пункт	Снежная масса								
	Na ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	HCO ³⁻ , мг/л	Zn ²⁺ , мг/л	Минерализация, мг/л	pH
«Северное Бутово»	18,9	0,3	12,1	0,8	41,5	73,2	49,8	1156	6,2
«Городня-2»	8	0,4	3,1	3,2	14,7	42,7	19,8	103	7,6
«Ичка»	16,3	0,3	16,8	0,3	24,9	292,8	14,4	4830	7,1
«Золотой Рожок»	39,6	0,4	25,9	0,4	79,9	30,5	21	56	8,2
«Хапиловка»	2,8	0,4	5,9	0,3	5,3	48,8	4,9	265	8,3

Таблица 4

Химические характеристики растопленной снежной массы, смешанной с речной водой

Стационарный снегосплавный пункт	Смесь (снег + речная вода) до очистки									
	Na ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	HCO ³⁻ , мг/л	Zn ²⁺ , мг/л	Sr ²⁺ , мг/л	Минерализация, мг/л	pH
«Северное Бутово»	15,1	0,3	10,5	0,4	27,6	109,8	8,2	0,02	1872	7,0
«Городня-2»	7,6	6,5	23,9	1,3	12,8	277,6	50,1	0,08	1163	7,8
«Ичка» (из ССК)	97,8	10,5	129,7	4,6	265,8	311,1	70,4	0,33	941	7,7
«Золотой Рожок»	16,6	0,4	14,4	0,3	28,4	274,5	5,6	0,03	931	7,1
«Хапиловка»	9	0,3	9,2	0,3	15,9	277,6	11,4	0,02	849	7,7

С гигиенических позиций объекты окружающей среды, подверженные антропогенному влиянию, должны исследоваться с помощью живых, общепринятых в системе экотоксикологической оценки организмов. Биотестирование выполнено в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отходам, сточным водам и воде открытых водоёмов (СанПиН 2.1.7.386-03). В этих исследованиях в качестве батареи тест-объектов использовались тесты на гидробионтах: *Poecillia reticulata* Peters, *Daphnia magna* Straus, *Tetrahymena pyriformis*, *Paramecium caudatum*; фитотестирование с тест-культурой – *Avena sativa* L.; исследования на культурах клеток млекопитающих.

Проявлением токсичности считается наличие статистически достоверного различия по величине тест-реакции между контрольной и опытными пробами. Установленным критерием для большинства биотестов, отражающим пороговое токсическое воздействие, является величина 50% изменений реакции тест-организма. Порог фитотоксичности 20% устанавливали в соответствии с величиной, указанной в методических рекомендациях МР 2.1.7. 2297–07 по описанию данного метода⁴.

Рыбы и дафнии, как представители многоклеточных организмов – гидробионтов, широко используются для оценки состояния вод различной этиологии. Установлено, что биотест с группы по своей информативности в отношении опасности загрязнения воды для человека не отличается от альтернативных моделей клеточного уровня. Выбор инфузорий для целей биотестирования обусловлен возможностью получения ответной тест-реакции со стороны организма и клетки одновременно. Кроме того, на очистных сооружениях в качестве активного ила используются консорциумы именно простейших организмов (бактерий, инфузорий) [15, 16].

Результаты

Поскольку утилизация снежной массы в г. Москве (и ряде крупных городов) пренебрежена через ССП, основная масса реагентов поступает непосредственно в водные источники, проходя несколько этапов очистки. С одной стороны, ССП является

местом концентрации поллютантов, с другой стороны – дополнительным барьером для их поступления с талыми водами в открытые водоёмы за счёт системы очистки.

Нами проанализированы образцы снежной массы, поступающей на ССП, образцы талого снега при смешивании с водой, образцы очищенной воды после прохождения очистных сооружений. Отбор образцов происходил в период минимальной нагрузки на ССП (конец февраля). В ходе химического анализа отобранных образцов снежной массы установлены концентрации веществ, входящих в состав противогололёдных реагентов (табл. 3).

Концентрация основных солей ПГМ в снежной массе колеблется по катионам Na⁺ от 2,8 до 39,6 мг/л и Ca²⁺ от 5,9 до 25,9 мг/л, а по аниону Cl⁻ от 5,3 до 79,9 мг/л. Максимальные концентрации указанных выше ионов не превышают допустимые нормативы для сточных вод. Однако, судя по высокой минерализации (4830 мг/л), концентрация солей в снежной массе достигает больших величин, что может быть обусловлено наличием других неучтённых ионов, в частности сульфатов, нитратов, ацетатов, формиатов, а также высоким содержанием сопутствующего элемента Zn до 49,8 мг/л. Реакция среды снежной массы варьирует от 6,2 до 8,3 (см. табл. 3).

После прохождения снегосплавной камеры растопленная снежная масса, смешанная с речной водой, проходит через ряд этапов системы очистки. Проанализированы образцы смеси снега с водой как до очистки, так и после очистки – перед поступлением в реку. В табл. 4 представлены результаты химического анализа проб растопленной снежной массы, смешанной с речной водой. Реакция среды (pH) данной смеси – 7,0–7,8. Минерализация – 849–1872 мг/л, не превышающая допустимого норматива 3000 мг/л (см. табл. 2). Основные элементы ПГР в смеси растопленной снежной массы и речной воды в среднем находятся в следующих пределах: Na⁺ – 7,6–16,6 мг/л; Mg²⁺ – 0,3–6,5 мг/л; Ca²⁺ – 9,2–23,9 мг/л; K⁺ – 0,3–1,3 мг/л; Cl⁻ – 12,8–28,4 мг/л. В табл. 4 также представлены результаты по следующим сопутствующим элементам: Sr²⁺ – 0,02–0,08 мг/л и Zn²⁺ – 5,6–70,4 мг/л, значение которого значительно превышает допустимую концентрацию в сточных водах – 1 мг/л (см. табл. 2). Превышение установлено только по этому элементу из 60 проанализированных.

В одном из объектов (ССП «Ичка») установлены существенные превышения по содержанию веществ – основных компонен-

⁴ МР 2.1.7. 2297–07. 2.1.7. Почва, очистка населённых мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. Методические рекомендации.

Таблица 5

Химические характеристики сточной воды после прохождения системы очистных сооружений

Стационарный снегосплавный пункт	Смесь (снег + речная вода) после очистки									
	Na ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	Zn ²⁺ , мг/л	Sr ²⁺ , мг/л	Минерализация, мг/л	pH
«Северное Бутово»	5,2	0,2	7,1	0,2	11,5	247,1	24,1	0,013	1292	7,2
«Городня-2»	27	0,3	16,2	0,4	41,3	274,5	9,2	0,029	1149	7,8
«Ичка»	109,6	19	77,6	6	150,2	359,9	12,4	0,91	734	8,1
«Золотой Рожок»	2,4	0,4	3,9	0,5	5,7	265,4	25	0,01	924	8,3
«Хапиловка»	0,8	0,1	2,9	0,1	2,7	274,5	16,4	0,01	726	8,1

тов ПГМ. Их концентрации в образцах с ССП («Ичка») превышают существующие нормативы по ряду элементов и достигают следующих величин: Na⁺ – 97,8 мг/л; Mg²⁺ – 10,5 мг/л; Ca²⁺ – 129,7 мг/л; K⁺ – 4,6 мг/л; Cl⁻ – 265,8 мг/л; Zn²⁺ – 70,4 мг/л; Sr²⁺ – 0,33 мг/л. Эти данные свидетельствуют о значительном поступлении солей из утилизируемой снежной массы в сточные воды.

Реакция среды (pH) сточной воды после прохождения системы очистных сооружений – 7,2–8,3. Величина минерализации колеблется от 726 до 1292 мг/л и снижается по сравнению с минерализацией растопленной снежной массы, смешанной с речной водой (см. табл. 4). Количества основных компонентов ПГМ в среднем составляют: Na⁺ – 0,8–27 мг/л; Mg²⁺ – 0,1–0,4 мг/л; Ca²⁺ – 2,9–16,2 мг/л; K⁺ – 0,1–0,5 мг/л; Cl⁻ – 2,7–41,3 мг/л и снижаются по сравнению с концентрациями, установленными в растопленной снежной массе, смешанной с речной водой перед прохождением системы очистки.

В табл. 5 также представлены результаты по следующим сопутствующим элементам: Zn²⁺ – 9,2–25 мг/л; Sr²⁺ – 0,01–0,03 мг/л, содержание которых снижается по сравнению с концентрацией в растопленной снежной массе, смешанной с речной водой. На объекте ССП «Ичка» высокая минерализация снежной массы (4830 мг/л) в дальнейшем после прохождения системы очистных сооружений уменьшилась до 734 мг/л, что сопровождалось изменением концентрации Ca²⁺ и Cl⁻ соответственно с 129,7 до 77,6 мг/л; с 265,8 до 150,2 мг/л.

Конечным этапом исследований влияния ПГМ на состояние сточных вод централизованных систем водоотведения явилась оценка речных вод на территории г. Москвы. Были отобраны речные воды в местах сброса стоков с изученных ССП (табл. 6). Результаты сопоставлялись с величинами предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Реакция среды (pH) речных вод находится в пределах нормы. По основным компонентам ПГМ отмечаются следующие уровни их содержания: Na⁺ – 22,3–162 мг/л; Mg²⁺ – 0,4–23,3 мг/л;

Ca²⁺ – 13,3–121,8 мг/л; K⁺ – 0,5–6,6 мг/л, Cl⁻ – 33–313 мг/л, что свидетельствует о привнесении данных элементов извне. Для сопутствующих элементов превышения установлены по Mn²⁺ – до 0,5 мг/л, по Fe_{общ} – до 1,3 мг/л (ПДК в.в. превышены в 4–5 раз). Показатели минерализации речных вод колеблются в пределах 596–1125 мг/л при норме пресных вод региона 1000 мг/л.

Изученные сточные воды представляют собой поликомпонентный объект, и при определении в них только элементов, входящих в состав ПГМ, не создается полного представления о содержащихся в них химических соединениях и возможных процессах их трансформации; в связи с этим используются интегральные методы исследования, в частности биотестирование [17].

Выбор альтернативных методов в гигиенических исследованиях продиктован их положительными характеристиками: чувствительностью, интегральностью, доступностью. Несомненно, одним из важных аргументов в пользу применения биотестов служит соблюдение этических норм, то есть отказ в ряде исследований от экспериментов на лабораторных животных и замена их организмами низшего уровня [16].

Результаты анализа снежных проб, поступающих на ССП, обладали токсичностью по отношению к ростовой функции тетрахимен. Реакция среды (pH) всех исследуемых проб укладывалась в интервал требуемых величин для данного метода (6–8). При отсутствии негативного действия индекс токсичности (Кт, %) должен превышать значение 50%. Данный показатель соответствовал норме лишь по двум объектам – «Золотой рожок» и «Хапиловка» – после прохождения всех этапов очистки. В большинстве случаев показатель токсичности проб ухудшался на этапах ССП (табл. 7).

По остальным использованным биотестам не было получено значимых результатов негативного воздействия проб со снегосплавных пунктов.

Для речных вод также была проведена экотоксикологическая оценка методами биотестирования с использованием тех же тест-организмов. Пробы речных вод были взяты выше и ниже

Таблица 6

Химические характеристики поверхностных вод (рек) г. Москвы

Стационарный снегосплавный пункт	Поверхностные воды (рек)											
	pH	Минерализация, мг/л	Na ⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	Mn ²⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	Fe _{общ} , мг/л	Al ³⁺ , мг/л	Sr ²⁺ , мг/л
«Северное Бутово» (р. Битца ниже по течению)	7,5	1029	162,0	20,0	121,8	4,2	0,3	313	253,2	0,5	0,03	0,30
«Городня-2» (р. Москва ниже по течению)	7,5	1125	22,3	0,4	13,3	0,5	0	33	298,9	<0,0	0,03	0,02
«Ичка» (р. Яуза ниже по течению)	7,4	596	71,4	23,3	99,7	5,9	0,5	82	356,9	1,3	0,03	1,20
«Золотой Рожок» (р. Яуза ниже по течению)	7,7	690	89,7	22,0	108,9	6,6	0,3	150	305	0,7	0,08	0,60
ПДК* в.в., мг/л	–	1000	200	20	–	–	0,1	350	–	0,3	0,2	7

Примечание. * – Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. Минздрав России. Москва. 2003.

Таблица 7

Результаты определения индекса токсичности (Кт) в пробах со снегосплавных пунктов с помощью генеративной функции инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, %

Стационарный снегосплавный пункт	Снег	Река при входе в ССП	Река + снег (смесь)	Смесь после очистки (выход)
«Северное Бутово» (р. Битца)	42	33	14	26
«Городня-2» (р. Москва)	29	0	0	0
	Снег	Снег талый		
		смесь	после очистки	сброс после очистки
«Ичка» (р. Яуза)	0	0	0	0
«Золотой Рожок» (р. Яуза)	0	–	0	57
«Хапиловка» (р. Яуза)	46	–	36	68

по течению рек относительно расположения ССП и сброса растопленных снежных масс, прошедших систему очистки. Результаты тестирования представлены в табл. 8.

Анализ полученных результатов позволяет оценить воды всех изученных рек как не оказывающие токсического воздействия на большинство тест-организмов. Однако установлены единичные отрицательные эффекты по хемотаксической (поведенческой) функции парameций (41%) для воды из р. Яузы вблизи ССП «Ичка» выше по течению. Анализ проб проводили в соответствии с классификацией по определению степени токсичности, в которой предусмотрены следующие группы: допустимая степень токсичности ($0 < T < 40$) и умеренная степень токсичности ($41 < T < 70$). Результаты фитотестирования подтверждают токсичность вод р. Яуза не только вблизи ССП «Ичка» (29%), но и вблизи ССП «Хапиловка» (30 и 21%). Уровень минерализации данных речных вод находится практически в пределах нормы (1000 мг/л).

Обсуждение

Известно, что в 2010 г. на снижение гололёда в городе было израсходовано 150 тыс. тонн реагентов, при этом в зимний период 2012/2013 г. – 450 тыс. тонн, и эта цифра с каждым годом растёт [17–19].

Количество машин, доставляющих снежную массу на ССП, составляет около 200 единиц в сутки, превышая норму обслужи-

вания [11, 18]. Количество поступающих на ССП ПГМ зависит от объёма утилизируемой снежной массы. В связи с этим очевидно, что содержание входящих в состав ПГМ солей и сопутствующих веществ в утилизируемой снежной массе и в объектах окружающей среды увеличивается.

Стоит отметить, что полученные в работе результаты не могут полностью охарактеризовать состав всей утилизируемой снежной массы в связи с неоднородностью объекта и его колоссальным объёмом. Это касается также смеси талой воды с речной и самой речной воды вблизи сброса с ССП.

Через снегосплавные пункты в составе снежной массы основное количество ПГМ попадает в водоёмы и реки г. Москвы, что может приводить к увеличению в них легкорастворимых солей (минерализация может достигать 4830 мг/л) и ряда сопутствующих элементов. При этом важно подчеркнуть, что часть элементов, входящих в состав ПГР, не нормируется (например, Na^+ , K^+ и др.), что может впоследствии привести к повышению минерализации пресных вод и нарушению устойчивости водных и иных экосистем [20–23]. Об этом свидетельствуют многочисленные материалы отечественных и зарубежных исследователей [24–28].

Существующие нормативы «Допустимого содержания химических веществ, не относящихся к действующему веществу в составе ПГР» превышают «Нормативные показатели общих свойств сточных вод и допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, допущенных к сбросу в централизованные общесплавные и бытовые системы водоотведения», например, норматив содержания Zn^{2+} в составе твёрдых ПГМ – 198 мг/кг (см. табл. 1), а нормы его содержания в сточных водах – 1 мг/дм³ (см. табл. 2). Во всех изученных водах норматив содержания Zn^{2+} был превышен в десятки раз.

Наблюдаемое отсутствие превышений нормативов по ряду сопутствующих соединений не может являться свидетельством безопасности использования всего спектра ПГМ в применяемых количествах.

Технологическая схема снегосплавного пункта предусматривает процессы растапливания снега, сбора мусора, крупнодисперсных примесей и нефтепродуктов, извлекаемых из снега. Однако растворимые соли, входящие в состав ПГМ, могут проходить через фильтры и присутствуют во всех исследованных водах.

Особенность информации, получаемой с помощью методов биотестирования, состоит в интегральном характере отражения всех токсических воздействий, содержащихся в воде токсикантов и комплексных факторов их совместного присутствия [29–31]. С помощью одного из методов биотестирования (генеративной функции *Tetrahymena pyriformis*) обнаружена токсичность снежных масс и талых вод с ССП. Установлено отсутствие токсического воздействия на все использованные биотесты со стороны речных вод.

Таблица 8

Экотоксикологическая оценка речных вод

Река	<i>Poecillia reticulata</i> Peters, выживаемость %	<i>Daphnia magna</i> Straus, выживаемость %	<i>Tetrahymena pyriformis</i> , пророст клеток Кт %	<i>Paramecium caudatum</i> хемотаксис, %	<i>Avena sativa</i> L., ингибирование роста корней, %	КБС, It, %	Минерализация, мг/л	pH
Битца (выше по течению)	100	100	79	33	7	101	999	7,4
Битца (ниже по течению)	100	100	75	16	7	100	1029	7,5
Москва (вход)	100	71	66	26	10	101	1125	7,5
Яуза (выше по течению) ССП «Ичка»	100	77	69	41	–8	105	587	7,5
Яуза (ниже по течению) ССП «Ичка»	100	100	65	20	29	114	596	7,4
Яуза (выше по течению) ССП «Хапиловка»	100	100	71	32	30	76	681	7,6
Яуза (ниже по течению) ССП «Хапиловка»	100	100	77	–1	21	82	690	7,7

Примечание: знак «–» обозначает стимуляцию роста корней *Avena sativa*.

На данный момент состояние изученных речных вод не представляет реальной опасности превышения норматива по показателю минерализации, но выявлена тенденция к постоянному ежегодному поступлению в течение зимнего периода легкорастворимых солей, входящих в состав практически всех видов ПГМ.

Заключение

1. Основное количество ПГМ в составе снежной массы, утилизируемой через снегосплавные пункты, попадает в водоёмы и реки г. Москвы, что приводит к увеличению в данных объектах содержания легкорастворимых солей (значение минерализации может достигать 4830 мг/л) и ряда сопутствующих элементов, содержащихся в ПГМ.

2. Существующие нормативы по допустимому содержанию сопутствующих веществ в составе ПГМ должны быть гармонизированы с нормативными показателями для сточных вод, допущенных к сбросу в централизованные системы водоотведения.

3. Тестирование с использованием генеративной функции инфузорий *Tetrahymena pyriformis* позволило выявить совокупное токсическое воздействие всех изученных вод снегосплавных пунктов. При этом отобранные пробы речных вод токсичностью не обладали.

4. Проведённые исследования подтверждают необходимость пересмотра рекомендаций по применению ПГМ в зимний период с учётом выявленных особенностей.

Литература

(пп. 2, 3, 5, 20, 21, 23, 26, 27 см. References)

- 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.
- Хомяков Д.М. Противогололёдные реагенты на объектах дорожного хозяйства Москвы. Опыт прошедшего десятилетия. *Дорожная держава*. 2013; 47: 92.
- Примин О.Г., Тэн А.Э. Экологическая оценка использования противогололёдных реагентов в зимний период в г. Москве. *Экология и промышленность России*. 2018; 22 (4): 4–10.
- Тувалябаев Б.Г., Моисеев В.И. Утилизация снего-ледовой массы – одна из перспективных муниципальных задач, решаемых городской ТЭЦ. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2014; 1 (87): 8–13.
- Примин О.Г., Пупырев Е.И., Варюшина Г.П. Системное решение проблемы уборки и утилизации снега в Москве. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2015; 4: 37–8.
- Лагунов А.Я. Снеготаялки: московский опыт эксплуатации. *Строительные и дорожные машины*. 2010; 1: 1–7.
- Пигалков А.А., Щербakov В.И. Инновационная конструкция снегосплавильного пункта на базе аварийной карты очистных сооружений. *Инженерные системы и сооружения*. 2010; 2 (3): 169–72.
- Кудлошина В.В., Жогаль А.В., Лупунчук М.Ю. Современные подходы к решению проблем утилизации снега. *Международный технико-экономический журнал*. 2018; 5: 79–84.
- Храменков С.В., Пахомов А.Н., Богомолов М.В., Данилович Д.А., Ромашкин О.В., Пупырев Е.И. и соавт. Системы удаления снега с использованием городской канализации. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2008; 10: 19–30.
- Официальный сайт мэрии Москвы Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/5940073/>.
- Дрябинский О.Е., Зубкова В.М., Пугачёва Т.Г. Мониторинг содержания в снеговой воде компонентов противогололёдных реагентов и подвижных форм тяжёлых металлов. *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2017; 28 (5): 56–69.
- Касаткин А.В., Селицкая О.В. Использование микроорганизмов в биотехнологиях очистки поверхностного стока с автострад. *Известия ТСХА*. 2007; 1: 142–7.
- Донерьян Л.Г., Водянова М.А. Биологические методы контроля объектов окружающей среды как дополнение токсикологических исследований. В кн.: *Экологические проблемы современности: выявление и предупреждение неблагоприятного воздействия антропогенно детерминированных факторов и климатических изменений на окружающую среду и здоровье населения. Материалы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды*. Воронеж; 2017. С. 144–6.
- Водянова М.А., Ушакова О.В., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С. Проблема применения и оценки противогололёдных препаратов в условиях мегаполиса. *Современные проблемы науки и образования*. 2018; 5: 53.

- Дьячков Р. Тактика выжженной земли. *Аргументы и факты*. 2013; 13: 54.
- Королев В.А., Горняков А.К. Оценка влияния противогололёдных реагентов на городские территории при инженерно-экологических изысканиях. *Инженерные изыскания*. 2018; 12 (1–2): 66–78. URL: <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-1-2-66-78>.
- Жолдакова З.И., Манаева Е.С., Беляева Н.И., Голландцева А.И., Мамонов Р.А., Полторацкий А.Ю. и соавт. Научное обоснование приоритетных показателей для оптимизации контроля за химическим загрязнением р. Москва. В сб.: *Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека. Материалы Международного форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвящённого 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина» Минздрава России*. В 2 ч. М.; 2016: 209–11.
- Терехова В.А. Мотивация к применению биотестов и востребованность знаний по экспресс-контролю объектов окружающей среды. В сб.: *Экология речных бассейнов Труды IX Международной научно-практической конференции*. 2018: 456–9.
- Мальшева А.Г., Шелепова О.В., Водянова М.А., Донерьян Л.Г., Ушакова О.В., Юдин С.М. Эколого-гигиенические проблемы применения противогололёдных реагентов в условиях крупного мегаполиса (на примере территории города Москвы). *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (11): 1032–7.
- Прожорина Т.И., Куролап С.А., Якунина Н.И. Эколого-геохимическая диагностика состояния городской среды по загрязнению снежного покрова г. Воронежа. *Самарский научный вестник*. 2015; 4 (13): 121–6.
- Жарников В.Б., Пасько О.А., Ушакова Н.С., Макарецова Е.С. О содержании мониторинга снежных отвалов и подверженных их влиянию земель северных городов (на примере города Томска). *Вестник СГУ-ГИТ*. 2019; 24 (1): 174–91. DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-174-191.
- Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы. *Почвоведение*. 2011; 2: 190–8.
- Долгов В.А., Лавина С.А., Никитченко Д.В. Оценка и взаимосвязь параметров токсичности различных веществ для инфузорий тетрахимена пириформис и белых крыс. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство*. 2014; 2: 58–65.

References

- 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. (in Russian)
- Glushko A., Bessarabov A., Priorov G. CALS-system of Ecological Monitoring of Road Anti-icing Materials on the Major Environmental Components. *Chem Eng*. 2018; 70: 451–6.
- Soundararajan P. et al. Evaluation of relative toxicity caused by deicing agents on photosynthesis, redox homeostasis, and the osmoregulatory system in creeper-type plants. *Hortic Environ Biote*. 2019; 60 (2): 175–86.
- Khomayakov D.M. Anti-icing reagents at the Moscow road facilities. The experience of the past decade. *Dorozhnaya derzhava [Road Power]*. 2013; 47: 92. (in Russian)
- Lacey J.P., Kerr J.G., Zhu D., Chung C., Situ Q., Abbasi S. Chloride inputs to the North Saskatchewan River watershed: the role of road salts as a potential driver of salinization downstream of North America's northern most major city (Edmonton, Canada). 2019; 688: 1056–68. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.208>.
- Primin O.G., Tan A.E. Environmental assessment of the use of anti-icing agents in the winter in Moscow. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*. 2018; 22 (4): 4–10. (in Russian)
- Tuvalbaev B.G., Moiseev V.I. Utilization of the snow-ice mass is one of the most promising municipal tasks solved by the city's CHP. *Energosberezheniye i vodopodgotovka [Energy Saving and Water]*. 2014; 1 (87): 8–13. (in Russian)
- Primin O.G., Pupyrev E.I., Varyushina G.P. A systematic solution to the problem of cleaning and disposal of snow in Moscow. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water Supply and Sanitary Equipment]*. 2015; 4: 37–8. (in Russian)
- Lagunov A. Ya. Snegotayalki: Moscow operation experience. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny [Construction and Road Machines]*. 2010; 1: 1–7. (in Russian)
- Pigalkov A.A., Shcherbakov V.I. Innovative construction of snow-melting facility based on emergency area of wastewater treatment plant. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*. 2010; 2 (3): 169–72. (in Russian)
- Kuldoshina V.V., Zhogal A.V., Lupunchuk M.Yu. Modern approaches to solving the problems of snow disposal. *Mezhdunarodnyy tekhniko-*

- ekonomicheskij zhurnal [International Technical and Economic Journal]*. 2018; 5: 79–84. (in Russian)
12. Khramenkov S.V., Pakhomov A.N., Bogomolov M.V., Danilovich D.A., Romashkin O.V., Pupyrev E.I. et al. Snow removal systems using urban sewage. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water Supply and Sanitary Engineering]*. 2008; 10: 19–30. (in Russian)
 13. The official website of the mayor of Moscow. URL: <https://www.mos.ru/news/item/5940073/>.
 14. Dryabzhinsky O.E., Zubkova V.M., Pugacheva T.G. Monitoring the content in the snow water of the components of anti-icing agents and mobile forms of heavy metals. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem [Problems of Environmental Monitoring and Modeling of Ecosystems]*. 2017; 5: 56–69. (in Russian)
 15. Kasatkin A.V., Selitskaya O.V. The use of microorganisms in biotechnology cleaning surface runoff from highways. *Izvestiya TSKhA [Proceedings of the TAA]*. 2007; 1: 142–7. (in Russian)
 16. Donerian L.G., Vodianova M.A. Biological methods of monitoring environmental objects as an addition to toxicological studies. In: *Ecological problems of our time: the identification and prevention of the adverse effects of anthropogenic determinants and climate change on the environment and public health. Proceedings of the International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental health Proceedings [Ekologicheskiye problemy sovremenosti: vyavleniye i preduprezhdeniye neblagopriyatnogo vozdeystviya antropogennogo determinirovannykh faktorov i klimaticheskikh izmeneniy na okruzhayushchuyu sredyu i zdorov'ye naseleniya. Materialy Mezhdunarodnogo foruma Nauchnogo sojeta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiyene okruzhayushchey sredy]*. Voronezh; 2017: 144–6. (in Russian)
 17. Vodianova M.A., Ushakova O.V., Donerian L.G., Evseeva I.S. The problem of the use and evaluation of anti-icing drugs in megacities. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]*. 2018; 5: 53. (in Russian)
 18. Dyachkov R. Tactics of a scorched earth. *Argumenty i Fakty [Arguments and Facts]*. 2013; 13: 54. (in Russian)
 19. Korolev V.A., Gornyakov A.K. Evaluation of the effect of anti-icing agents on urban areas during engineering and environmental surveys. *Inzhenernyye izyskaniya*. 2018; 12 (1–2): 66–78. URL: <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2018-1-2-66-78>. (in Russian)
 20. Brown B.R., Bell M.M., Thompson G. Improvements to the snow melting process in a partially double moment microphysics parameterization. *J Adv Model Earth Sy*. 2017; 9 (2): 1150–66.
 21. Hrefna Run Vignisdottir, Babak Ebrahimi, Gaylord Kabongo Booto, Reyn O'Born, Rolf André Bohne. A review of environmental impacts of winter road maintenance. *Cold Reg Sci Technol*. 2019; 158: 143–53. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2018.10.013>.
 22. Zholdakova Z.I., Manaeva E.S., Belyaeva N.I., Dutchtseva A.I., Mamonov R.A., Poltoratsky A.Yu. et al. Scientific substantiation of priority indicators to optimize the control of chemical pollution p. Moscow In: *Modern methodological problems of studying, assessing and regulating environmental factors affecting human health. Proceedings of the International Forum of the Scientific Council of the Russian Federation on Human Ecology and Environmental Hygiene, dedicated to the 85th anniversary of the Research Institute of Ecological Physics and GOS named after A.N. Sysina of Ministry of Health of Russia [Sovremennyye metodologicheskiye problemy izucheniya, otsenki i reglamentirovaniya faktorov okruzhayushchey sredy, vliyayushchikh na zdorov'ye cheloveka. Materialy Mezhdunarodnogo Forumu Nauchnogo sojeta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiyene okruzhayushchey sredy, posvyashchennogo 85-letiyu FGBU «NII ECh i GOS im. A.N. Sysina» Minzdrava Rossii]*. In 2 parts. 2016: 209–11. (in Russian)
 23. Osada K., Shido Y., Iida H., Kido M. Deposition processes of ionic constituents to snow cover. *Atmos Environ*. 2010; 44 (3): 347–53. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv>.
 24. Terekhova V.A. Motivation for the use of biotests and the requirement of knowledge on express control of the environment. In: *Ecology of river pools. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference [Ekologiya rechnykh basseynov. Trudy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. 2018: 456–9. (in Russian)
 25. Malysheva A.G., Shelepova O.V., Vodyanova M.A., Donerian L.G., Ushakova O.V., Yudin S.M. Ecological and hygienic problems of anti-ice reagents in a large metropolis (for example, the territory of the city of Moscow). *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2018; 97 (11): 1032–7. (in Russian)
 26. David J. Fairbairn, Sarah M. Elliott, Richard L. Kiesling, Heiko L. Schoenfuss, Benjamin M. Westerhoff. Contaminants of emerging concern in urban stormwater: Spatiotemporal patterns and removal by iron-enhanced sand filters (IESFs). *Water Res*. 2018; 145: 332–45. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.020>.
 27. Zhengjun Hu, Yali Shi, Hongyun Niu, Yaqi Cai. Synthetic musk fragrances and heavy metals in snow samples of Beijing urban area, China. *Atmospheric Res*. 2012; 104–105: 302–5. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.09.002>.
 28. Prozhorina T.I., Kurolap S.A., Yakunina N.I. Ecological and geochemical diagnostics of the state of the urban environment due to pollution of the snow cover of the city of Voronezh. *Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara Scientific Herald]*. 2015; 4 (13): 121–6. (in Russian)
 29. Zharnikov V.B., Pasko O.A., Ushakova N.S., Makartsova E.S. On the content of monitoring of snow dumps and the lands of northern cities subject to their influence (on the example of the city of Tomsk). *Vestnik SGUGIT*. 2019; 24 (1): 174–91. DOI: 10.33764 / 2411-1759-2019-24-1-174-191. (in Russian)
 30. Terekhova V.A. Soil biotesting: approaches and problems. *Pochvovedenie*. 2011; 2: 190–8. (in Russian)
 31. Dolgov V.A., Lavina S.A., Nikitchenko D.V. Comparative evaluation and relationship of toxicity parameters of different substances to Tetrahymena pyriformis and white rats. *Vestnik rossiysskogo universiteta druzhby narodov. Series: agronomy and livestock*. 2014; 2: 58–65. (in Russian)